

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Объект авторского права

УДК 622.276.6+620.22+549.69

АНТУСЁВА
Анастасия Викторовна

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ
НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНОГО ГИДРОСИЛИКАТА НАТРИЯ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности
05.16.09 – материаловедение (химическая промышленность)

Минск 2023

Научная работа выполнена в государственном научном учреждении «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси».

Научный
руководитель

Кудина Елена Федоровна,
доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой «Водоснабжение, химия и экология»
учреждения образования «Белорусский государствен-
ный университет транспорта»

Официальные
оппоненты:

Струк Василий Александрович,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры
материаловедения и ресурсосберегающих технологий
учреждения образования «Гродненский государствен-
ный университет имени Янки Купалы»;

Неверов Александр Сергеевич,
доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой «Общетехнические и специальные
дисциплины» учреждения образования «Белорусский
государственный университет транспорта»

Оппонирующая
организация

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»


Защита состоится «27» декабря 2023 г. в 12.00 ч на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.04 при учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова 13а, ауд. 240, корп. 4.

E-mail: uss@belstu.by, тел.: 8-(017)-379-65-62.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «22» ноября 2023 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций



Е.П. Усс

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время крупнейшие разрабатываемые нефтяные месторождения, и в частности в Республике Беларусь, выходят на поздние этапы производства, а их остаточные запасы нефти классифицируются как трудноизвлекаемые. Эффективным способом проведения работ для увеличения нефтедобычи является применение гелеобразующих материалов. Разработан широкий перечень составов материалов, но практическое применение нашла небольшая часть. Причиной является низкая эффективность, высокая стоимость материалов и их дефицитность. Наиболее перспективными являются материалы на основе неорганического связующего – силиката натрия. Широкие возможности применения силикатов щелочных металлов обусловлены стабильностью свойств их водных растворов при высоких давлении и температуре. К их достоинствам также относятся низкие значения вязкости, в результате чего достигается глубокое проникновение в пласт, высокие термостойкость и экологичность, а к недостаткам – сложности при обращении со связующим композиции при отрицательных температурах, а также хрупкость и низкая прочность образованных гелей и необходимость регулирования времени образования геля при нагревании.

Для устранения недостатков перспективным представляется применение в качестве силикатсодержащего связующего силиката натрия в дисперсном товарном виде, обладающего более высокой технологичностью, доступностью, невысокой стоимостью, обеспечивая упрощение работы при транспортировке и хранении, в том числе в зимнее время года.

В связи с этим являются актуальными теоретические и экспериментальные исследования гелеобразующих композиционных материалов, полученных с использованием дисперсного гидросиликата натрия (ДГСН), в которых процесс гелеобразования композиционного раствора происходит при участии добавок функционально активных модификаторов с образованием гелей с прочными силоксановыми связями и установление зависимостей физико-химических свойств композиции от состава, концентрационного соотношения компонентов, а также методов приготовления композиций.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами. Диссертационная работа выполнена на основе теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в рамках научно-исследовательских работ: № 40.2018 «Обоснование применения химических методов повышения нефтеотдачи пластов на объектах РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» (2018 г.); № 42.2016–2021 «Мониторинг разработки месторождений и залежей нефти и газа РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» (2016–2021 гг.);

№ 43.2016–2021 «Инженерно-технологическое обеспечение ГТМ РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» (2016–2021 гг.); № 44.2018–2021 «Обоснование применения химических методов повышения нефтеотдачи пластов на объектах РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» (2018–2021 гг.).

Цель, задачи, объект и предмет исследования. *Цель исследования* – разработать агрегативно-устойчивые композиции на основе модифицированного водного раствора гидросиликата натрия, способные при определенных температурно-временных условиях формировать гели для повышения нефтеотдачи пластов, обладающие улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Для достижения поставленной цели определены следующие *задачи*:

- изучить влияние химической структуры и физико-химических свойств модификаторов на их эксплуатационную совместимость с водным раствором гидросиликата натрия и процессы гелеобразования композиционных растворов;
- установить зависимость концентрационных соотношений исходных реагентов и условий формирования гелей с их структурой и свойствами;
- оптимизировать составы композиций для получения гелей с повышенными эксплуатационными характеристиками;
- провести модельные и опытно-промышленные испытания разработанных материалов;
- определить области рационального использования разработанных гелеобразующих материалов.

Объект исследования – композиции на основе водного раствора гидросиликата натрия, модифицированного органическими, минеральными кислотами, полиакриламидом, и гели, образующиеся на их основе.

Предмет исследования – процессы физико-химических взаимодействий водных растворов гидросиликата натрия с модификаторами, приводящие к образованию органосиликатных гелей с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Научная новизна. Научно обоснован выбор базового компонента гелеобразующих композиций на основе ДГСН – крупнотоннажного продукта, выпускаемого в Республике Беларусь, с учетом экспериментально проведенного сравнения с аналогами по критериям технологичности (морозоустойчивость, постоянство состава в зависимости от колебания температуры), обеспечивающего упрощение условий транспортировки, хранения и приготовления композиций.

Разработаны технологические приемы растворения в воде ДГСН.

Получены многокомпонентные составы гелеобразующих материалов. Впервые проведено модифицирование водного раствора гидросиликата натрия метансульфоновой кислотой, что позволило при оптимизированном содержании

компонентов 2,0÷9,0/0,7÷5,0 (связующее/кислотный модификатор, масс. %) получить композиционные растворы с улучшенными эксплуатационными показателями (время гелеобразования – 50–390 мин, механическая прочность геля – 945–1150 Па) для применения в диапазоне температур 50–90 °С.

Установлено влияние химического состава воды затворения на физико-химические свойства гелеобразующих композиций, а также влияние минералогического и фракционного состава породы, контактирующей с раствором композиции, на процессы гелеобразования. Установлен эффект селективного действия композиционного материала на основе ДГСН, заключающийся в избирательной способности композиции к упрочнению геля в зависимости от состава и концентрации солей воды затворения.

Разработаны составы гелеобразующих композиций на основе гидросиликата натрия, кислот и полимерного модификатора полиакриламида, оказывающего пластифицирующее действие, обеспечивающего формирование гелей с эластичными свойствами.

Положения, выносимые на защиту.

1. Рецептурно-технологические принципы получения композиционных гелеобразующих материалов на основе промышленно выпускаемого дисперсного гидросиликата натрия, включающие двухстадийный способ приготовления водного агрегативно-устойчивого низкоконцентрированного раствора гидросиликата натрия с последующим введением органических и неорганических модификаторов, обеспечивающих формирование гелей с эластичными свойствами при температуре 20–90 °С.

2. Экспериментально установленные физико-химические закономерности формирования гибридного геля из композиционного раствора на основе гидросиликата натрия, кислот и полиакриламида, включающие эффект увеличения времени гелеобразования с 0,8 до 4,5 ч при снижении степени минерализации воды затворения с 1,0 до 0,2 г/л или на 60% при введении нитрилотриметилфосфоновой кислоты; а также повышение прочности геля до 40% при увеличении дисперсности контактирующей породы с 1,0–2,0 мм до 0,07–0,25 мм, что обеспечивает селективное структурирование композиции и упрочнение геля в зависимости от состава и типа контактирующей среды.

3. Новые составы гелеобразующих материалов ДГСН/сульфаминовая кислота и ДГСН/сульфаминовая кислота/полиакриламид AN125, обеспечивающие получение растворов низкой вязкости и коррозионной активности, с временем гелеобразования до 460 мин, с формированием прочных (до 3910 Па) гибридных гелей с эластичными свойствами.

4. Эффект защитного действия разработанных материалов при нанесении на стальные поверхности нефтепромыслового оборудования, заключающийся в образовании защитного пленочного покрытия, обеспечивающего ингибирование

процессов коррозии к воздействию минерализованной воды на 63,9–90,9% и соляной кислоты на 59,7–78,9%, что препятствует разрушающему действию агрессивных сред.

Личный вклад соискателя ученой степени. Автор принимал непосредственное участие в постановке задач исследований, планировании и проведении экспериментов, разработке составов новых гелеобразующих материалов на основе водных растворов гидросиликата натрия, анализе и обобщении полученных данных, подготовке публикаций, обсуждении результатов работы на международных и региональных конференциях. При непосредственном участии автора проведены модельные и промысловые испытания разработанного гелеобразующего материала на месторождениях РУП «Производственное объединение «Белоруснефть».

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные результаты исследований представлены и обсуждены на международной научно-практической конференции «Эффективные технологии разработки залежей углеводородов» (Гомель, 2013); VI Всероссийской научно-практической конференции «Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа» (Томск, 2013); международной научно-практической конференции «Проблемы и инновационные решения в химической технологии» (Воронеж, 2016); всероссийской конференции с международным участием «Проблемы и инновационные решения в химической технологии» ПИРХТ-2019 (Воронеж, 2019); IV Республиканской научно-технической конференции молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования» (Гомель, 2016); международных научно-технических конференциях «Полимерные композиты и трибология» «ПОЛИКОМТРИБ-2017» и «ПОЛИКОМТРИБ-2019» (Гомель, 2017, 2019); пятой международной конференции стран СНГ «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем» (Санкт-Петербург, 2018); XX International Sol-Gel conference «Next Generation» (Санкт-Петербург, 2019); II Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕХИМИЯ-2019» (Минск, 2019); III Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕХИМИЯ-2020» (Минск, 2020); VIII Международной (XVI Всероссийской научно-практической конференции «Нефтепромысловая химия» (Москва, 2021).

Разработанные композиционные материалы показали свою эффективность по результатам промышленной апробации на пяти месторождениях РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» в технологиях увеличения нефтеотдачи: проведены опытно-промышленные испытания материала ДГСН/сульфаминовая кислота в количестве 3465 м³ и ДГСН/сульфаминовая кислота/полиакриламид AN125 в количестве 20 м³.

Опубликованность результатов диссертации. По результатам выполненных исследований опубликована 21 печатная работа, в том числе 9 статей в журналах, из них 5 статей в журналах, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, 1 статья в зарубежном рецензируемом научном журнале (всего в изданиях из списка ВАК 6,5 авторских листа), 6 статей в сборниках материалов конференций, 6 тезисов докладов. Получен 1 патент Республики Беларусь. Общий объем опубликованных материалов по теме диссертации составляет 9,9 авторских листа.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 213 страниц, из них 39 страниц занимают 59 иллюстраций и 41 таблица, 17 страниц – список использованных источников из 227 наименований (включая 21 публикацию соискателя и 1 патент) и приложения на 57 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе приведена классификация современных методов повышения нефтеотдачи, проведен анализ технологий и методов, применяющихся для наиболее полного нефтеизвлечения, которые позволяют выделить потокоотклоняющие и водоограничивающие технологии в качестве наиболее эффективных физико-химических методов увеличения нефтеотдачи пластов на позднем этапе разработки месторождений.

Анализ применяемых водоизолирующих композиций показал, что наиболее перспективным методом воздействия на залежи, содержащие трудноизвлекаемые запасы, является обработка их гелеобразующими составами на основе модифицированного водного раствора гидросиликата натрия, обладающего совокупностью свойств, обеспечивающих постоянство состава продукта, достижение оптимальных затрат ресурсов при его транспортировке и хранении по сравнению с известными аналогами.

Во второй главе приведены методы исследований, даны характеристики приборов, оборудования, установок и обоснование выбора реагентов, использованных при проведении исследований.

Основным компонентом для создания гелеобразующих композиций выбран ДГСН (ТУВУ200101299.003; ОАО «Домановский ПТК», Республика Беларусь).

В качестве модификаторов неорганического связующего использовали:

– водные растворы органических и неорганических кислот (кислотные модификаторы, КМ) – адипиновой (АК), бензойной (БК), метансульфоновой (МСК), соляной ингибированной (СК), сульфаминовой (САК), уксусной (УК), янтарной (ЯК) кислот;

– соли угольной кислоты – диамид угольной кислоты, гидрокарбонат натрия, карбонат натрия;

– водорастворимые полимеры – среднемолекулярный карбоксилированный полиакриламид (ПАА) марки FP307; высокомолекулярный карбоксилированный ПАА марки FP107; сульфонируемый ПАА марки AN125.

Для получения агрегативно-устойчивого водного раствора связующего гидросиликата натрия процесс приготовления проводили поэтапно. В полученный раствор связующего вводили полимерную добавку при непрерывном перемешивании до получения однородного раствора. Затем органосиликатный раствор совмещали с модификатором кислотного типа. Реагенты совмещали при температуре 20 ± 2 °С в определенных концентрационных соотношениях. Для формирования гелей полученные растворы ДГСН/ПАА/КМ помещали в термостат и выдерживали при температурах 20–90 °С в течение 24 ч.

Временем гелеобразования считали промежуток времени от смешивания компонентов в получаемом составе до момента, когда композиция полностью теряет подвижность. За технологически приемлемый период гелеобразования принимали время агрегативной устойчивости композиции (не менее 50 мин), обеспечивающее закачивание требуемого объема раствора в пласт. Плотность (ρ) и показатель кислотности (рН) раствора композиции измеряли с помощью автоматического плотномера DMA 5000 (Anton Paar, Австрия) и рН-метра SevenMulti S50 (Mettler Toledo, Швейцария), соответственно.

Поверхностно-активные свойства растворов гелеобразующих композиций оценивали по значениям межфазного натяжения на границе раздела раствор гелеобразующей композиции/нефть методом вращающейся капли с использованием оптического тензиометра SVT 20N (Data Physics, Германия). Реологические свойства растворов гелеобразующих композиций исследовали на реометре Physica MCR 301 (Anton Paar, Австрия). Прочность полученных многокомпонентных гелей (σ) измеряли через 24 ч после их образования в исследуемых температурных режимах (от 20 до 90 °С) методом пенетрации в соответствии с ISO 9665 при помощи текстурометра TA.XT.plus (Stable MicroSystems, Великобритания). Исследование молекулярных структур растворов исходных реагентов и полученных композиций при 20 °С, а также гелей, образующихся при 20 °С и 70 °С, проводили методом ИК Фурье-спектроскопии на спектрометре Nicolet 5700 (Thermo Electron Corporation, США). Структурные особенности гелей на основе ДГСН и КМ исследовали методом оптической микроскопии с помощью поляризационного микроскопа VX-51 (Olympus, Япония).

Коррозионное воздействие растворов композиционных материалов на металлы оценивали согласно ГОСТ 9.908 по потере массы стальных пластин (сталь марки 20, размер 37×23×2 мм) с измеренными геометрическими характеристиками после их выдержки в течение 24 ч в испытуемом составе при 20 °С и 70 °С.

Защитное действие композиций на стальные поверхности определяли по снижению разрушающего действия агрессивных сред после предварительного воздействия гелеобразующих композиций и образующихся гелей, оценивая качественные и количественные изменения поверхности стальных пластин после формирования на поверхности образцов геля ДГСН/КМ в течение 24–72 ч при 20 °С.

Фильтрационные испытания водоизолирующей способности гелеобразующих композиций проводили на моделях пласта. Опытно-промышленные испытания выполнены на месторождениях РУП «Производственное объединение «Белоруснефть».

Результаты проведенных экспериментов представлены в виде графиков, диаграмм, таблиц. Для математической обработки полученных данных использовали пакет программ Statistica 6.0.

Третья глава посвящена изучению влияния физико-химических характеристик реагентов и их соотношения на агрегативную устойчивость, процессы структурообразования композиций и прочность образующихся гелей на основе водного раствора гидросиликата натрия.

Экспериментально установлена агрегативная неустойчивость водного раствора связующего на основе низкоконцентрированного раствора гидросиликата натрия, заключающаяся в том, что растворы гидросиликата натрия характеризуются уменьшением концентрации гидроксил-ионов и величины рН (менее 11,5). В результате молекулярные ассоциаты силиката натрия выступают как зародыши, на которых осаждается кремнезем. И, как следствие, происходит образование коллоидных частиц с последующими процессами коагуляции и седиментации.

Впервые использован двухстадийный способ приготовления водного раствора связующего на основе гидросиликата натрия. Разработаны технологические приемы растворения ДГСН в пресной воде с общим содержанием двухвалентных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} не более 0,15 г/л, заключающиеся в получении раствора связующего в два этапа, на первом из которых получают однородный раствор гидросиликата натрия с концентрацией не менее 10%, а на втором этапе – стабильный гомогенный раствор связующего требуемой концентрации, состоящий из силикат- и гидросиликат-ионов. При этом содержащиеся в исходном растворе коллоидные частицы в результате процесса диссолюции медленно переходят в разбавленный раствор.

Исследован механизм гелеобразования в растворе гидросиликата натрия при введении КМ, способных устранить эффект электростатического отталкивания между заряженными частицами силикатов, в том числе путем инициирования образования новых силоксановых химических связей.

В качестве модификаторов водного раствора гидросиликата натрия исследованы вещества из разных классов органических и неорганических соединений,

которые определяют образование гелей и обеспечивают улучшение структурно-механических характеристик формируемых гелей (рисунок 1).

Экспериментально установлено, что использование солей угольной кислоты в качестве модификаторов раствора гидросиликата натрия не позволяет получать однородные стабильные гели с высокими деформационно-прочностными характеристиками в течение технологически приемлемого времени.



Рисунок 1 – Модификаторы раствора гидросиликата натрия

Установлено, что наиболее эффективными структурирующими реагентами ДГСН для получения агрегативно-устойчивых композиций за технологически приемлемое время и высокой прочностью формируемых гелей являются кислоты. Установлено, что концентрация как раствора связующего, так и модификатора определяет скорость гелеобразования растворов композиций и прочность образованных гелей (рисунок 2).

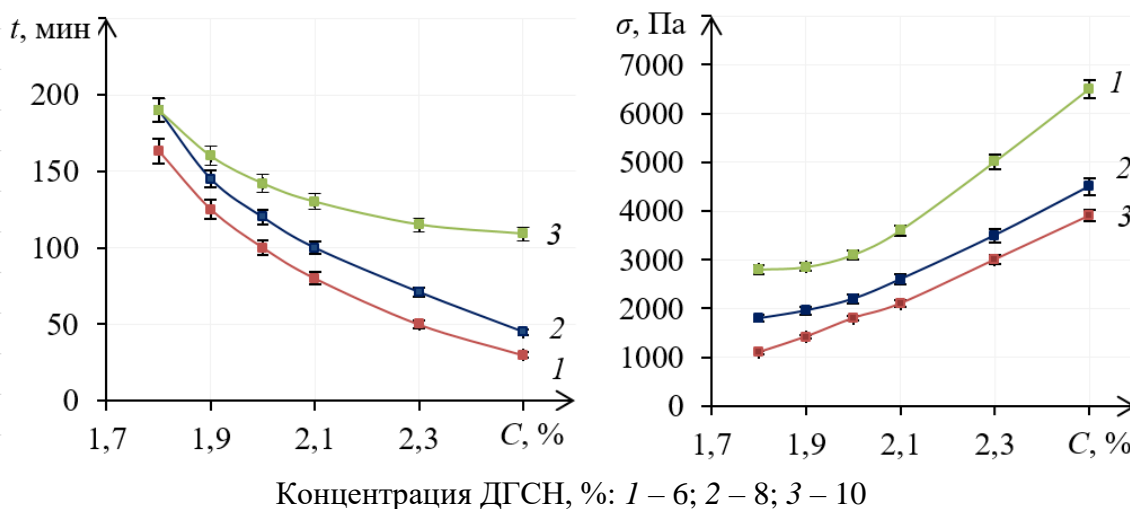


Рисунок 2 – Влияние концентрации САК на время гелеобразования раствора композиции ДГСН/САК (а) и прочность геля (б)

Определено, что использование 2–6% раствора связующего позволяет обеспечить наиболее высокие технико-экономические показатели композиции.

Установлено, что при использовании исследуемых кислот в качестве модификаторов гелеобразования композиционных растворов на основе гидросиликата натрия образование геля происходит при всех температурных режимах в диапазоне 20–90 °С. При этом параметр «время гелеобразования» находится в обратно пропорциональной зависимости от значений температуры и концентрации вводимой кислоты. Определены минимальные концентрации модификаторов и соотношения компонентов ДГСН/КМ (где КМ – АК, БК, МСК, СК, САК,

УК, ЯК), обеспечивающие при оптимальном времени гелеобразования (не более 460 мин при 50 °С и не менее 50 мин при 90 °С) формирование наиболее прочного геля на основе раствора гидросиликата натрия.

Показано, что введение 0,3–0,6% МСК позволяет увеличить время гелеобразования до 360 мин (при 50 °С) и до 50 мин (90 °С). Для системы ДГСН/СК оптимальное содержание кислоты – 0,2–0,25%, позволяющее обеспечить гелеобразование композиции в течение 60–360 мин (в диапазоне температур 50–70 °С). Снижение концентрации САК с 0,8% до 0,3% замедляет процесс гелеобразования композиции на основе раствора гидросиликата натрия при 60 °С с 60 мин до 425 мин (в 7 раз). Экспериментально установлено, что введение 0,3–0,6% УК позволяет получать гель в течение 370 мин (50 °С) и 50 мин при 80 °С. Введение 0,3–0,4% АК в раствор гидросиликата натрия приводит к формированию геля при 50 °С и 75 °С в течение 300 мин и 50 мин, соответственно. Содержание в композиции ЯК в количестве 0,3–0,4% обеспечивает формирование геля при 50 °С в течение 430 мин, а при 90 °С – 60 мин. Оптимальным содержанием БК является 0,4–0,8%, обеспечивающее образование геля в течение 45–240 мин при 80–50 °С, соответственно.

Методом электронной микроскопии установлена тенденция увеличения пористости геля ДГСН/КМ при уменьшении количества растворителя, необходимого для образования наиболее прочных гелей в течение технологически приемлемого периода.

Результаты пенетрометрических исследований показали (рисунок 3), что КМ по влиянию на повышение прочности образуемых гелей при сопоставимых концентрациях ДГСН можно расположить в следующей последовательности: БК → ЯК → АК → УК → МСК → СК → САК. Анализ механических свойств полученных композиционных гелей показал, что формирование наиболее прочных гелей в течение 80–310 мин при 70 °С обеспечивается введением САК, СК и МСК. Наиболее высокая прочность геля, содержащего САК, возможно, связана с участием в образовании дополнительных новых связей атома азота молекулы САК.

Показано, что после завершения процессов гелеобразования структура геля ДГСН/САК представлена кремнекислородным каркасом неорганической матрицы, характеризующейся хрупким разрушением. Для снижения хрупкости геля исследовано влияние полимерных модификаторов ПАА (таблица 1).

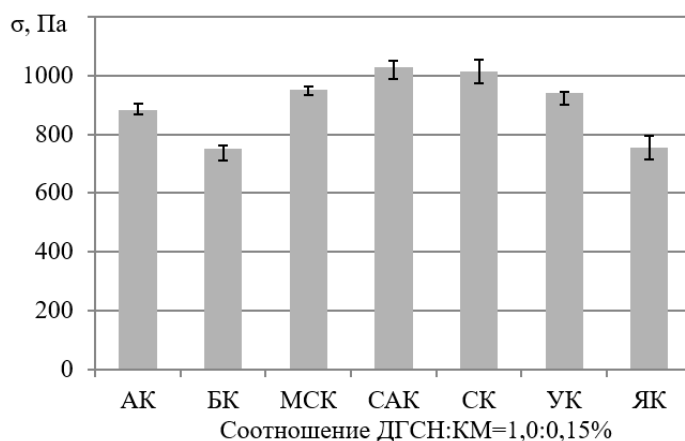


Рисунок 3 – Влияние типа модификатора на прочность геля

Таблица 1 – Характеристика ПАА

Показатель	Марка ПАА		
	FP107	FP307	AN125
Внешний вид	Дисперсный продукт белого цвета		
Молекулярная масса, млн дальтон	~ 15	~ 11	~ 6–8
Степень анионности, мол. %	13–18	5–10	25

Введение в состав композиции ДГСН/САК полимерного модификатора позволило получить гель, обладающий эластичными свойствами, вследствие образования в объеме сформированного ма-

териала дополнительной органической полимерной матрицы.

Установлено, что формирование наиболее прочных гелей, устойчивых при повышенных температурах, обеспечивает введение сульфонированного ПАА марки AN125 в количестве 0,1%. Модифицирование гелеобразующей композиции ДГСН/САК позволяет при обеспечении эластичности увеличить прочность сформированного геля до 3910 Па, что на 5% выше прочности исходного бинарного геля (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние ПАА на свойства материала ДГСН:САК=1,0:0,3

ПАА марки AN125, %	Физико-химические показатели					
	Плотность раствора, г/см ³	рН раствора	Вязкость гелеобразующей композиции (мПа·с) при $\dot{\gamma}$ (с ⁻¹)			Прочность геля, Па
			$\dot{\gamma}=1$ с ⁻¹	$\dot{\gamma}=10$ с ⁻¹	$\dot{\gamma}=100$ с ⁻¹	
0,0	1,045	10,94	1,51	1,07	1,01	3770
0,05	1,045	11,01	3,08	2,41	2,21	3830
0,1	1,047	11,03	5,17	4,53	3,84	3910
0,2	1,048	11,05	10,5	10,2	7,23	3070
0,3	1,050	11,05	24,2	20,3	12,2	1280

Примечание – * Гель сформирован при 60 °С в течение 24 ч

Анализ реодинамических кривых показал (рисунок 4), что при скоростях сдвига ($\dot{\gamma}$) 1–100 с⁻¹ эффективная вязкость (η) растворов в зависимости от концентрации полимера варьируется от 1,01 до 24,2 мПа·с. Использование полученных составов оказывает положительное влияние на технологичность приготовления и закачивания рабочих растворов вследствие низкой вязкости, что обеспечивает хорошую фильтруемость в

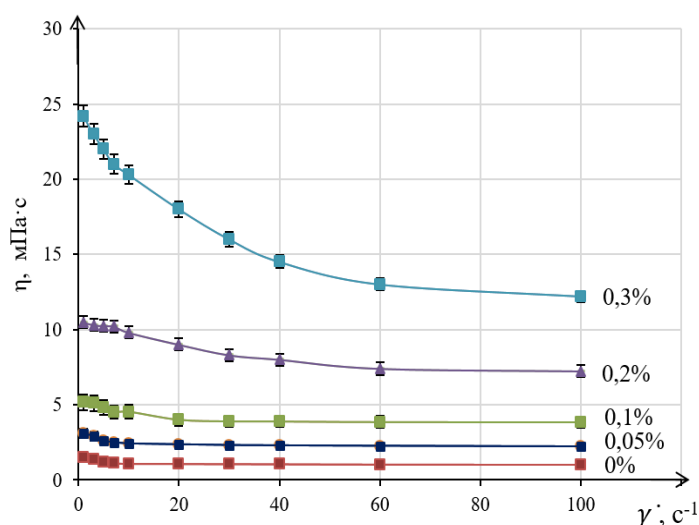


Рисунок 4 – Зависимость эффективной вязкости композиции ДГСН:САК=1,0:0,3 от скорости сдвига и концентрации ПАА AN125 (0-0,3%)

пористую среду, в том числе низкопроницаемую.

Разработана базовая композиция ДГСН/САК/АН125 с наиболее высокими технологическими показателями растворов ($\rho = 1,01 \div 1,05 \text{ г/см}^3$; $\eta = 1,1 \div 3,0 \text{ мПа}\cdot\text{с}$; $\text{pH} = 10\text{--}11$; время гелеобразования – не менее 50 мин), обеспечивающая формирование прочного водоизолирующего материала с однородной равномерной структурой (прочность геля до 3910 Па).

Разработана базовая композиция состава ДГСН/МСК с улучшенными техническими показателями (время гелеобразования 50–390 мин, прочность геля 945–1150 Па) для применения в диапазоне температур 50–90 °С при оптимизированном содержании компонентов, масс. %: 2,0÷9,0/0,7÷5,0 (связующее/КМ).

Установлено значительное снижение механических свойств формируемых гелей, полученных при использовании в качестве силикатсодержащего связующего раствор натриевого жидкого стекла в сравнении с составами на основе ДГСН.

В четвертой главе рассмотрены физико-химические процессы, протекающие при введении модификаторов в водный раствор гидросиликата натрия при фазовом переходе композиций в гели, и свойства гелеобразующих композиций.

Определена пороговая концентрация ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в воде, при которой не происходит нарушение агрегативной устойчивости водного раствора гидросиликата натрия, составляющая 0,15 г/л. Установлен эффект увеличения времени гелеобразования композиционных материалов на основе ДГСН с 0,8 ч до 4,5 ч при пятикратном снижении степени минерализации воды затворения с 1,0 г/л до 0,2 г/л.

Показано, что при введении в состав композиции на основе гидросиликата натрия нитрилотриметилфосфоновой кислоты (НТФ) время гелеобразования увеличивается на 60% (с 30 мин до 48 мин при 70 °С). Установлены оптимальные концентрации НТФ (0,15–0,2%), что позволяет использовать в качестве растворителя для композиции техническую воду с увеличенным значением пороговой концентрации катионов двухвалентных металлов в 6,7 раз – до 1,0 г/л.

Изучено влияние минералогического состава породы, контактирующей с раствором композиции, на процессы гелеобразования. Установлено, что при контакте с карбонатной или терригенной породой одинаковой фракции образуются гели с практически идентичными структурно-механическими свойствами; увеличение дисперсности породы с 1,0–2,0 мм до 0,07–0,25 мм одного минералогического состава, имитирующее снижение проницаемости пласта при фильтрации композиции в пластовых условиях, приводит к повышению прочности гелей до 40% – от 243 Па до 387 Па, что обусловлено увеличением площади межфазного взаимодействия породы с гелеобразующей композицией (рисунок 5).

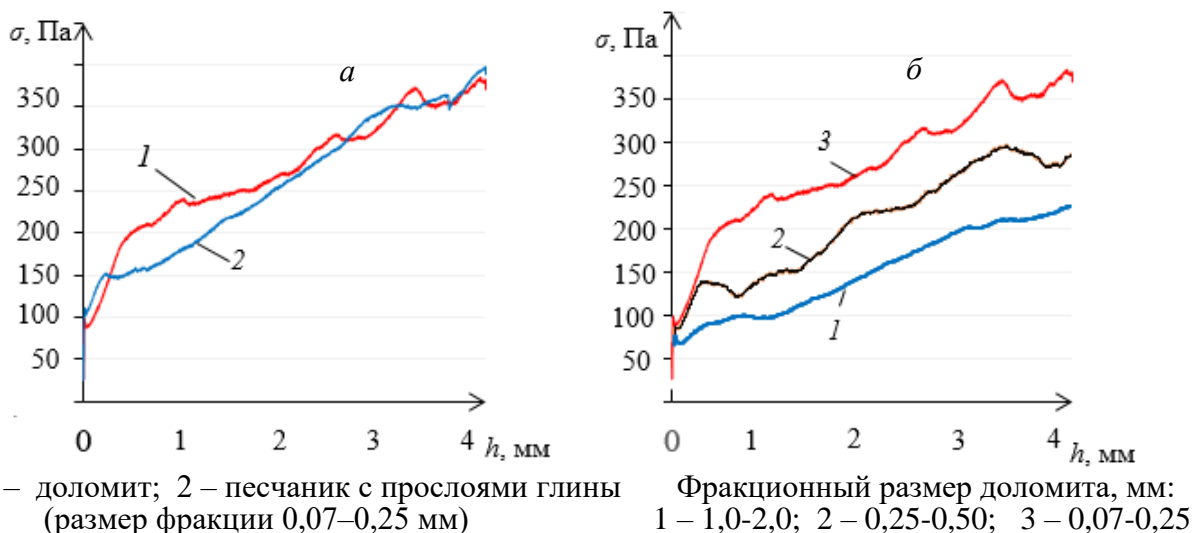


Рисунок 5 – Зависимость прочности геля от глубины внедрения индентора в гидрогели ДГСН/САК, сформированные при температуре 70 °С в контакте с породой в зависимости от: *a* – минералогического состава породы фракции 0,071–0,25 мм; *б* – фракционного состава молотого доломита

Определено, что разработанный композиционный материал ДГСН/САК характеризуется высокой поверхностной активностью и способностью к нефтеотмыву. Показано, что межфазное натяжение разработанных композиций на границе с нефтью изменяется от 1,78 до 2,17 мН/м, что значительно ниже значения для системы пресная вода/нефть (20,53 мН/м).

Установлено, что термическая обработка растворов композиций при формировании гелей в течение 100 ч при 60 °С приводит к увеличению пенетрометрической прочности геля с 645 Па до 6560 Па. Наибольшая интенсивность роста прочности композиционного материала на основе ДГСН наблюдается при экспозиции в течение 5–30 ч при 60 °С. При увеличении времени термостатирования с 15 до 30 ч при температуре 60 °С прочность геля увеличивается в 3,8 раза с 1530 Па до 5810 Па, что обусловлено продолжением формирования неорганической матрицы после образования геля.

Методом ИК-спектроскопии показано, что выдержка гелей состава ДГСН/САК ведет к уменьшению полосы поглощения $\sim 3360 \text{ см}^{-1}$, характерной для спектра колебаний поверхностных групп –ОН при увеличении времени экспозиции геля. Расширение полосы поглощения $1046,8 \text{ см}^{-1}$ свидетельствует об увеличении степени структурирования системы, обусловленное продолжением протекания процесса полимеризации силикат-анионов после образования геля, а также образование более длинных цепей полимера и дополнительных водородных связей между тетраэдрами $[\text{SiO}_4]^{4-}$, что приводит к повышению прочности геля во времени (рисунок б).

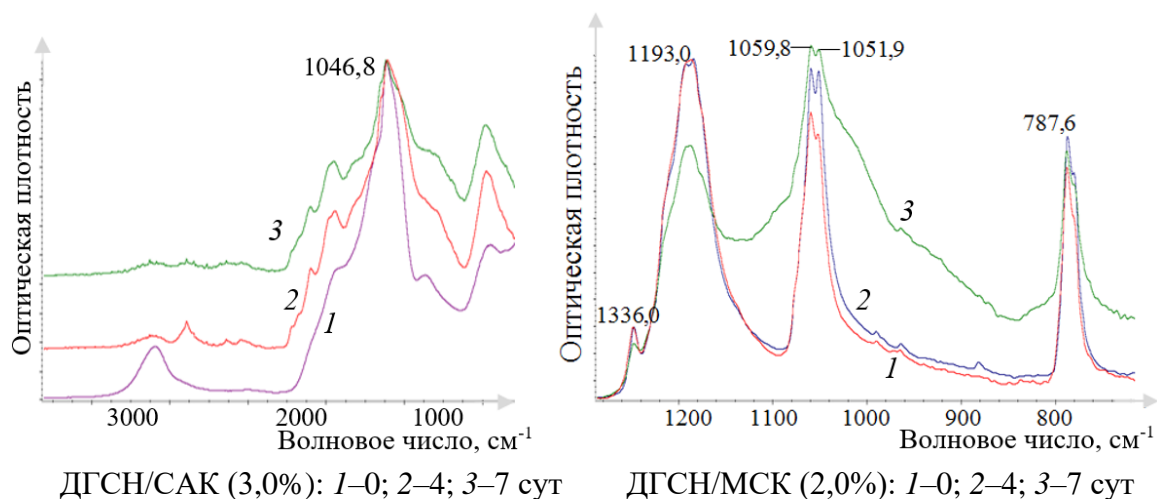


Рисунок 6 – ИК-спектры гелей

В ИК-спектре геля состава ДГСН/МСК отмечается максимум полосы поглощения в области деформационных колебаний CH_3 -группы ($1336,0 \text{ см}^{-1}$), характерный для МСК. Увеличение времени выдержки кремнегелей на основе ДГСН/МСК приводит к уменьшению полосы в этой области, что свидетельствует о более полном химическом взаимодействии компонентов композиции. В спектре геля отмечается расщепление полосы поглощения ($1059,8 \text{ см}^{-1}$ и $1051,9 \text{ см}^{-1}$), связанное с образованием цепей Si-O-Si разной длины при формировании кремнекислородной матрицы.

Установлено, что коррозионная активность разработанных гелеобразующих композиций по отношению к стали марки 20 при температурах 20 и 70 °C от 95,0 до 98,5% ниже нормируемых значений (не более $0,2 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$), предъявляемых к составам, применяемым на нефтяных месторождениях Республики Беларусь.

Установлен эффект защитного действия стальных поверхностей за счет формирования композиционного покрытия на основе ДГСН/КМ, препятствующего процессу коррозионного разрушения металлических изделий в результате воздействия агрессивных сред на границе раздела фаз: пресной воды – на 63,6 – 90,9%; пластовой воды плотностью $1,15 \text{ г}/\text{см}^3$ – на 60,9–90,0%; 22% раствором СК – на 59,7–78,9% при воздействии соответственно в течение 72–24 ч при 20 °C в сравнении со стальной поверхностью без защитного покрытия.

В пятой главе представлены сравнительные характеристики разработанных гелеобразующих композиционных материалов и аналогов. Рассмотрены технологические особенности получения гелеобразующих материалов составов ДГСН/САК и ДГСН/САК/AN125. Приведены результаты модельных и опытно-промысловых испытаний водоизолирующей способности материалов.

Сравнение характеристик, разработанных гелеобразующих материалов ДГСН/САК и ДГСН/САК/AN125 с аналогами представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Сравнительные характеристики композиций и материалов

Показатель (раствора и геля на его основе)	ДГСН/САК (патент РБ № 23797)	Аналог* «SPMI-1» (патент РФ 2456439)
Внешний вид	Однородная прозрачная жидкость	
pH	10–11	10–11,5
Вязкость при 20 °С, мПа·с	1,225	1,180
Время гелеобразования при 70 °С, мин	180	10–160
Скорость коррозии стали 20 при 20 °С, г/(м ² ·ч)	0,01	0,06
Структурно-механические показатели геля	Образуется во всем объеме; водонепроницаемый; прочный	

Примечание –* Гелеобразующий состав на основе водных растворов силиката натрия и ацетата хрома

Таблица 4 – Сравнительные характеристики композиций и материалов

Показатель	ДГСН/САК/AN125	Аналог* «Пласт-СТ» (РФ) ТУ 2458-002-91222887
Внешний вид	Прозрачная жидкость	Жидкость коричневого цвета
pH	10,9 – 11,1	1,5 – 3,0
Вязкость при 20 °С, мПа·с	4,50	2,13
Время гелеобразования при 70 °С, мин	80 – 310	60 – 270
Скорость коррозии стали 20 при 20 °С, г/(м ² ·ч)	0,01	1,23
Структурно-механические показатели геля	Образуется во всем объеме, с эластичными свойствами, во- донепроницаемый, прочный	Хрупкий, не восстанавли- вает целостность после разрушающих сдвиговых нагрузок
Стоимость 1 м ³ материала, бел. рублей (2019 г.)	140	2182

Примечание – * Кремнийорганический состав

Показано, что разработанный гелеобразующий материал ДГСН/САК (таблица 3) характеризуется увеличением времени гелеобразования (на 11%) и низким значением скорости коррозии, что позволяет применять разработанный состав без добавок ингибиторов коррозии.

Высокие эксплуатационные характеристики материала ДГСН/САК/AN125 (таблица 4), наличие эластичных свойств образующегося геля в отличие от хрупкого аналога с учетом, что стоимость композиции в 15,6 раз ниже стоимости аналога, позволяет при практическом применении разработанного материала значительно повысить производительность проводимых работ по повышению нефтеотдачи пластов. В результате проведения модельных фильтрационных испытаний установлено, что материал на основе ДГСН/САК эффективен при воздействии на пласты с проницаемостью 0,02 мкм² и более на залежах с пластовой температурой в диапазоне 50–90 °С. По результатам лабораторных и модельных фильтрационных исследований

разработаны программы проведения опытно-промышленных испытаний композиционных материалов на основе ДГСН на месторождениях РУП «Производственное объединение «Белоруснефть». Новые гелеобразующие материалы на основе ДГСН успешно прошли опытно-промышленные испытания, внедрена технология двухстадийного приготовления раствора гидросиликата натрия.

Для опытно-промышленных испытаний приготовлено 3465 м³ материала ДГСН/САК и 20 м³ материала ДГСН/САК/АН125. Объем закачиваемого материала на одну скважино-операцию составляет от 20 м³ до 560 м³. Нагнетание материалов в скважину сопровождалось ростом давления, что свидетельствует о формировании в пласте водоизолирующего экрана, оказывающего сопротивление фильтрации воды. По результатам промышленных испытаний составлены акты о проведении работ, протоколы опытно-промышленных испытаний и акты внедрения технологии повышения нефтеотдачи с использованием материалов на основе ДГСН и модификаторов. Эффект от внедрения технологии увеличения нефтеотдачи с использованием впервые разработанных композиционных материалов на основе ДГСН составил при введении 1 м³ композиции 9 т дополнительно добытой нефти, экономический эффект при закачивании 2660 м³ разработанной органосиликатной композиции через три нагнетательные скважины составил 15823,6 тыс. бел. руб. (по курсу 2014 г. – 1610 долл. США). Разработка композиционных материалов на основе ДГСН позволяет расширить номенклатуру материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами для увеличения нефтеотдачи пластов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработан способ получения агрегативно-устойчивого водного раствора гидросиликата натрия, обеспечивающий гомогенность разработанному многокомпонентному композиционному материалу. Установлена причина агрегативной неустойчивости раствора связующего на основе низкоконцентрированного раствора гидросиликата натрия. Впервые применен двухстадийный способ получения стабильного водного раствора связующего на основе гидросиликата натрия. Установлено, что для получения гелеобразующих композиций на основе водного раствора гидросиликата натрия с высокой прочностью гелей, необходимо использовать реагенты класса кислот. Показано, что формирование наиболее прочных гелей в композициях на основе гидросиликата натрия в течение 80–310 мин при 70 °С обеспечивается введением САК и МСК. Установлено, что образование геля происходит при всех исследуемых

температурных режимах (20–90 °С). Определены минимальные концентрации модификаторов, приводящие к формированию геля в композициях, а также оптимальные концентрационные соотношения компонентов ДГСН/кислота, обеспечивающие наиболее медленный процесс гелеобразования композиции (до 460 мин) при 20–90 °С. Показана эффективность введения в состав гелеобразующей композиции полимерного модификатора – сульфонируемого ПАА. Разработаны составы гелеобразующих композиций и экспериментально установлены оптимальные концентрации сульфонируемого ПАА марки AN125 (0,05–0,1%), вводимого в качестве полимерного модификатора, оказывающего пластифицирующее действие, обеспечивающего формирование гелей с эластичными свойствами при температуре 20–90 °С [1–А; 2–А; 5–А; 7–А; 8–А; 10–А; 13–А; 16–А; 22–А].

2. Установлен эффект увеличения времени гелеобразования композиционных материалов на основе ДГСН с 0,8 ч до 4,5 ч при пятикратном снижении степени минерализации воды затворения с 1,0 г/л до 0,2 г/л. Показано, что введение в состав композиции дополнительного компонента нитрилотриметилфосфоновой кислоты позволяет увеличить время гелеобразования на 60% (с 30 мин до 48 мин при 70 °С). Показано, что увеличение дисперсности породы, контактирующей с раствором композиции одного минералогического состава, приводит к повышению прочности гелей до 40% вследствие увеличения площади межфазного взаимодействия породы с раствором композиции. Установлен эффект селективного действия композиционного материала на основе ДГСН, заключающийся в избирательной способности композиции к упрочнению геля в зависимости от состава и концентрации солей воды затворения. Показано, что в водонасыщенной среде формируется гелеобразующий материал, упрочняющийся во времени, в отличие от нефтенасыщенной среды. Методом ИК-спектроскопии установлено, что увеличение времени экспозиции на воздухе и температуры приводит к росту степени структурирования гидросиликата натрия, обеспечивающей повышение прочности материала [1–А; 3–А; 9–А; 12–А; 15–А; 17–А; 18–А; 19–А; 20–А; 21–А].

3. Разработаны составы материалов ДГСН/САК и ДГСН/САК/AN125 с низкой вязкостью, обеспечивающие беспрепятственную фильтруемость композиций в поровую среду и формирование гелей с эластичными свойствами для заданных параметров (температура, время гелеобразования) с прочностью до 3910 Па, что позволяет применять разработанные материалы на нефтяных залежах с низкой проницаемостью [4–А; 5–А; 9–А].

4. Установлено, что коррозионная активность (менее 0,003 г/(м²·ч) при 70 °С) разработанных композиционных гелеобразующих материалов по отношению к стали марки 20 при температурах 20 °С и 70 °С от 95,0 до 98,5% ниже

нормируемых значений, предъявляемых к составам, применяемым на нефтяных месторождениях Беларуси. Установлен эффект защитного действия разработанных материалов при их нанесении на стальные поверхности в качестве покрытий, препятствующих разрушающему действию агрессивных сред [2–А; 5–А; 6–А; 11–А].

Проведены работы по адаптации разработанных композиционных материалов на основе ДГСН к геологическим условиям предполагаемых объектов с применением адресного подхода. В результате проведения модельных фильтрационных испытаний установлено, что разработанные гелеобразующие материалы эффективны для воздействия на карбонатные и терригенные пласты с проницаемостью 0,02 мкм² и более на залежах с пластовой температурой в диапазоне 50–90 °С [4–А; 7–А; 9–А; 14–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные композиционные гелеобразующие водоизолирующие материалы на основе водного раствора гидросиликата натрия, модифицированного САК и ПАА марки AN125, могут применяться в нефтедобывающей отрасли в технологиях увеличения нефтеотдачи при проведении водоизоляционных работ. Материалы являются конкурентоспособными, внедрение разработанного состава на основе раствора гидросиликата натрия приведет к снижению затрат, сокращению импорта зарубежных аналогов и откроет перспективы выхода на внешний рынок оказания услуг в сфере водоизоляционных работ. Испытания разработанных композиционных материалов выполнены в период 2012–2021 гг. на пяти нефтяных месторождениях. Проведена успешная опытно-промышленная апробация материалов ДГСН/САК и ДГСН/САК/AN125 в количестве 3485 м³ [15–А]. Результаты опытно-промышленных испытаний показали техническую и технологическую возможность приготовления и закачивания разработанной гелеобразующей композиции на основе водного раствора гидросиликата натрия и модификаторов с использованием имеющегося оборудования в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть». Работы по повышению нефтеотдачи пластов с применением разработанных материалов рекомендовано проводить на залежах, приуроченных к средне- и высокотемпературным коллекторам (пластовая температура выше 50 °С) со средней проницаемостью.

Получен патент Республики Беларусь [22–А] на гелеобразующую композицию для повышения нефтеотдачи пластов и способ ее получения.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в журналах, входящих в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований

1–А. Антусёва А.В., Кудина Е.Ф., Печерский Г.Г., Кускильдина Ю.Р., Мельгуй А.В., Самусева Л.В. Влияние минерализации воды затворения на процессы гелеобразования неорганического полимера // Полимерные материалы и технологии. – 2017. – Т. 3, № 3. – С. 6–17.

2–А. Антусёва А.В., Кудина Е.Ф., Самусева Л.В. Композиционные материалы водоизоляционного назначения в технологиях нефтедобычи (обзор) // Полимерные материалы и технологии. – 2018. – Т. 4, № 4. – С. 6–28.

3–А. Антусёва А.В., Кудина Е.Ф., Ткачёв Д.В. Гелеобразующие композиционные материалы на основе дисперсного гидросиликата натрия для повышения нефтеотдачи (обзор) // Полимерные материалы и технологии. – 2020. – Т. 6, № 4. – С. 6–19.

4–А. Антусёва А.В., Господарёв Д.А., Кудина Е.Ф. Композиционные материалы на основе дисперсного гидросиликата натрия в технологиях увеличения нефтеотдачи // Пластические массы. – 2021. – № 1-2. – С. 51–54.

5–А. Антусёва А.В., Кудина Е.Ф., Мельгуй А.В. Композиционные материалы на основе модифицированного дисперсного гидросиликата натрия // Полимерные материалы и технологии. – 2021. – Т. 7, № 2. – С. 66–71.

6–А. Антусёва А.В., Кудина Е.Ф. Многофункциональные композиционные материалы для защиты металлических поверхностей // Полимерные материалы и технологии. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 57–63.

Статьи в других научных журналах

7–А. Антусёва А.В., Печерский Г.Г., Макаревич А.В. Неорганические гелеобразующие композиции для повышения нефтеотдачи низкопроницаемых и высокотемпературных пластов месторождений предприятия «Белоруснефть» // Нефтяник Полесья. – 2014. – № 2 (26). – С. 26–36.

8–А. Господарёв Д.А., Макаревич А.В., Антусёва А.В., Мельгуй А.В. Регулирование заводнения структурно-неоднородных нефтяных пластов с применением полимерных и силикатных гелей // Инженерная практика. – 2013. – № 8. – С. 138–140.

9–А. Антусёва А.В., Кудина Е.Ф., Печерский Г.Г. Гелеобразующие материалы для повышения нефтеотдачи пластов в условиях высокотемпературных коллекторов // Нефтяник Полесья. – 2018. – № 2 (34). – С. 68–75.

Материалы конференций

10–А. Антусёва А.В., Господарёв Д.А. Опыт применения силикатных гелеобразующих композиций для повышения нефтеотдачи пластов на месторождениях РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» // Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа: Матер. VI Всероссийской науч.-практ. конф. / г. Томск, Ин-т химии нефти СО РАН (24–26 сентября 2013 г.). – Томск: ИОА СО РАН, 2013. – С. 54–58.

11–А. Антусёва А.В., Кускильдина Ю.Р., Печерский Г.Г., Кудина Е.Ф. Оптимизация свойств гелеобразующей композиции с применением полимерного модификатора // Проблемы и инновационные решения в химической технологии: Матер. междунар. науч.-практ. конф. / г. Воронеж, Воронеж. гос. ун-т инж. техн. (10 октября 2016 г.). – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – С. 58–62.

12–А. Антусёва А.В., Кудина Е.Ф. Увеличение нефтеотдачи с применением гелей на основе дисперсного гидросиликата натрия // Проблемы и инновационные решения в химической технологии ПИРХТ–2019: Матер. всероссийской конф. с междунар. участием / г. Воронеж, Воронеж. гос. ун-т инж. техн. (7–8 октября 2019 г.). – Воронеж: ВГУИТ, 2019. – С. 99–100.

13–А. Антусёва А.В., Господарёв Д.А., Ткачёв Д.В., Лымарь И.В. Составы для повышения нефтеотдачи пластов нефтяных месторождений Республики Беларусь // НЕФТЕХИМИЯ-2019: Матер. II Междунар. науч.-техн. и инвестиц. форума по хим. технологиям и нефтегазоперераб. / г. Минск, (16–18 октября 2019 г.). – Минск: БГТУ, 2019. – С. 51–53.

14–А. Антусёва А.В. Кудина Е.Ф., Ткачёв Д.В. Композиционные материалы на основе дисперсного гидросиликата натрия для условий карбонатных и терригенных коллекторов нефтяных месторождений Республики Беларусь // НЕФТЕХИМИЯ-2020: Матер. III Междунар. науч.-техн. форума по хим. технологиям и нефтегазоперераб. / г. Минск, (2–3 декабря 2020 г.). – Минск: БГТУ, 2020. – С. 62–63.

15–А. Антусёва А.В., Кудина Е.Ф., Ткачёв Д.В. Разработка композиционных материалов водоизоляционного назначения и их применение в условиях белорусских месторождений // Нефтепромысловая химия: Матер. VIII Междунар. (XVI Всероссийской) науч.-практ. конф. / г. Москва, (24 июня 2021 г.). – Москва: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021. – С. 37–40.

Тезисы докладов

16–А. Господарёв Д.А., Антусёва А.В., Мельгуй А.В., Макаревич А.В. Регулирование заводнения структурно-неоднородных нефтяных пластов с применением полимерных и силикатных гелей // Эффективные технологии разработки залежей углеводородов: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. / г. Речица,

(1–4 октября 2013 г.) / БелНИПИнефть; редкол.: В.Н. Бескопыльный [и др.]. – Гомель: РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», 2013. – С. 94–96.

17–А. Антусёва А.В., Кускильдина Ю.Р., Печерский Г.Г. Гелеобразующие силикат-полимерные составы // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: Тез. докл. IV Республ. науч.-техн. конф. молодых ученых, Гомель, 10–11 ноября 2016 г. / ИММС НАН Беларуси; редкол.: В.В. Шевченко [и др.]. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2016. – С. 8–9.

18–А. Антусёва А.В., Кудина Е.Ф., Печерский Г.Г., Кускильдина Ю.Р. Влияние химического состава воды на процессы гелеобразования неорганического полимера // Полимерные композиты и трибология ПОЛИКОМТРИБ-2017: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 27–30 июня 2017 г. / ИММС НАН Беларуси; редкол.: В.Н. Адери́ха [и др.]. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2017. – С. 78.

19–А. Антусёва А.В., Кудина Е.Ф. Гелеобразующие материалы на основе порошкообразного гидросиликата натрия для повышения нефтеотдачи // Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «Золь-гель 2018»: Сб. тез. пятой междунар. конф. стран СНГ, Санкт-Петербург, 27–31 августа 2018 г. / СПб.: ООО «Издательство «ЛЕМА», 2018. – С. 133–135.

20–А. Антусёва А.В., Кудина Е.Ф. Применение гелей на основе дисперсного гидросиликата натрия для увеличения нефтеотдачи // Полимерные композиты и трибология ПОЛИКОМТРИБ-2019: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 25–28 июня 2019 г. / ИММС НАН Беларуси; редкол.: В.Н. Адери́ха [и др.]. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2019. – С. 87.

21–А. Antuseva A.V., Kudina E.F. Gel materials on the basis of disperse sodium hydrosilicate for carbonate and terrigene collectors conditions // Sol-gel synthesis and study of inorganic compounds, hybrid functional materials and dispersed systems – «Sol-Gel 2019»: Book of abstracts XX International Sol-Gel Conference «Next Generation», St. Petersburg, 25–30 august 2019 / ITMO UNIVESITY. – St. Petersburg, 2019. – P. 93.

Патент Республики Беларусь

22–А. Гелеобразующая композиция для повышения нефтеотдачи высокотемпературного пласта и способ ее получения: патент BY23797 / А.В. Антусёва, Г.Г. Печерский, Ю.Р. Драбкина. – Опубл. 30.08.2022.



РЭЗІЮМЭ

Антусёва Настасся Віктараўна

КАМПАЗІЦЫЙНЫЯ ГЕЛЕЎТВАРЯЮЧЫЯ МАТЭРЫЯЛЫ НА АСНОВЕ ДЫСПЕРСНАГА ГІДРАСІЛКАТУ НАТРЫЯ ДЛЯ ПАВЫШЭННЯ НАФТААДДАЧЫ ПЛАСТОЎ

Ключавыя словы: дысперсны гідрасілікат натрыю, мадыфікатар, глейкасць, гелеўтваральная кампазіцыя, гелеўтварэнне, структура, водаізаляцыя, трываласць, павелічэнне нафтааддачы

Мэта работы – распрацаваць агрэгатыўна-ўстойлівыя матэрыялы на аснове мадыфіцыраванага воднага раствора гідрасіліката натрыя, здольныя пры пэўных температура-часавых умовах фарміраваць гелі для павышэння нафтааддачы пластоў, якія валодаюць палепшанымі эксплуатацыйнымі характарыстыкамі.

Метады даследавання: стандартныя метады вызначэння фізіка-механічных характарыстык кампазіцыйных матэрыялаў, ратацыйная вісказіметрыя, пенетраметрыя, аптычная электронная мікраскапія, ІЧ-спектраскапія.

Атрыманя вынікі і іх навізна. Распрацаваны спосаб атрымання агрэгатыўна ўстойлівага воднага раствора гідрасіліката натрыя, які забяспечвае гамагеннасць распрацаванаму гелеўтваральнаму кампазіцыйнаму матэрыялу. Упершыню прыменен двухстадыйны спосаб атрымання воднага раствора злучнага.

Атрыманы новыя саставы гелеўтваральных кампазіцый на аснове гідрасіліката натрыя і арганічных (у тым ліку палімерных) мадыфікатараў, эксперыментальна ўстаноўлены аптымальныя канцэнтрацыі сульфаніраванага поліакрыламіды, які ўводзіцца ў якасці арганічнага палімернага мадыфікатара для забеспячэння эластычных уласцівасцяў геля. Распрацаваныя саставы матэрыялаў дазваляюць сфармаваць гелі, якія забяспечваюць высокае рэшткавае фільтрацыйнае супраціўленне і перашкаджаюць фільтрацыі вады пры высокіх градыентах ціску, а таксама могуць эфектыўна прымяняцца для адраснага падыходу да канкрэтнага геалагічнага аб'екта і з'яўляюцца канкурэнтаздольнымі ў адносінах да замежных аналагаў.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Распрацаваныя кампазіцыйныя гелеўтваральныя водаізаляючыя матэрыялы на аснове воднага раствора гідрасіліката натрыя, мадыфікаваныя арганічнымі, мінеральнымі кіслотамі і поліакрыламідам, могуць прымяняцца ў тэхналогіях павелічэння нафтааддачы. Саставы могуць быць выкарыстаны пры правядзенні водаізаляцыйных работ.

Галіна выкарыстання: нафтаздабываючая прамысловасць.

РЕЗЮМЕ

Антусёва Анастасия Викторовна

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНОГО ГИДРОСИЛИКАТА НАТРИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ

Ключевые слова: дисперсный гидросиликат натрия, модификатор, вязкость, гелеобразующая композиция, гелеобразование, структура, водоизоляция, прочность, увеличение нефтеотдачи

Цель работы – разработать агрегативно-устойчивые композиции на основе модифицированного водного раствора гидросиликата натрия, способные при определенных температурно-временных условиях формировать гели для повышения нефтеотдачи пластов, обладающие улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Методы исследования: стандартные методы определения физико-механических характеристик композиционных материалов, ротационная вискозиметрия, пенетрометрия, оптическая электронная микроскопия, ИК-спектроскопия.

Полученные результаты и их новизна. Разработан способ получения агрегативно-устойчивого водного раствора гидросиликата натрия, обеспечивающий гомогенность разрабатываемому гелеобразующему композиционному материалу. Впервые применен двухстадийный способ получения водного раствора связующего.

Получены новые составы гелеобразующих композиций на основе гидросиликата натрия и органических (в том числе полимерных) модификаторов, экспериментально установлены оптимальные концентрации сульфонированного полиакриламида, вводимого в качестве органического полимерного модификатора для обеспечения эластичных свойств геля. Разработанные составы материалов позволяют сформировать гели, обеспечивающие высокое остаточное фильтрационное сопротивление и препятствующие фильтрации воды при высоких градиентах давления, которые могут эффективно применяться для адресного подхода к конкретному геологическому объекту и являются конкурентоспособными зарубежными аналогами.

Рекомендации по использованию. Разработанные композиционные гелеобразующие водоизолирующие материалы на основе водного раствора гидросиликата натрия, модифицированного органическими, минеральными кислотами и полиакриламидом, могут применяться в технологиях увеличения нефтеотдачи. Составы могут быть использованы при проведении водоизоляционных работ.

Область применения: нефтедобывающая промышленность.

SUMMARY

Anastasia V. Antuseva

COMPOSITE GEL-FORMING MATERIALS BASED ON DISPERSED SODIUM HYDROSILICATE FOR ENHANCED OIL RECOVERY

Keywords: dispersed sodium hydrosilicate, modifier, viscosity, gel-forming composition, gelation, structure, water isolation, strength, enhanced oil recovery

The aim of the research is to develop aggregation-stable compositions based on a modified aqueous solution of sodium hydrosilicate, capable of forming gels under certain temperature and time conditions to enhance oil recovery and have improved performance characteristics.

Research methods: standard methods for determining the physical and mechanical characteristics of composite materials, rotational viscosimetry, penetrometry, optical electron microscopy, IR spectroscopy.

The results and their novelty. A method has been developed for obtaining an aggregatively stable aqueous solution of sodium hydrosilicate, which ensures homogeneity of the hybrid gel-forming composite material being developed. For the first time, a two-stage method for producing an aqueous solution of a binder was used.

New compositions of hybrid gel-forming compositions based on sodium hydrosilicate and organic (including polymeric) modifiers have been obtained, and optimal concentrations of sulfonated polyacrylamide introduced as an organic polymer modifier to ensure the elastic properties of the gel have been experimentally established. The developed compositions of materials make it possible to form gels that provide high residual filtration resistance and prevent water filtration at high-pressure gradients, which can be effectively used for a targeted approach to a specific geological object and are competitive foreign analogues.

Recommendations for use. The developed composite gel-forming waterproofing materials based on an aqueous solution of sodium hydrosilicate modified with organic, mineral acids and polyacrylamide can be used in enhanced oil recovery technologies. The compositions can be used when carrying out waterproofing work.

Application area: oil industry.

Научное издание

Антусёва Анастасия Викторовна

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ
НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНОГО ГИДРОСИЛИКАТА НАТРИЯ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.16.09 – материаловедение (химическая промышленность)

Ответственный за выпуск А.В. Антусёва

Подписано в печать 16.11.2023. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 60 экз. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск