

КНИТУ (МИП ООО «ХИМУНИВЕРС»)

**Технология повышения
эффективности добычи нефти при
заводнении и увеличения
коэффициента вытеснения нефти с
применением жидкостей,
содержащих наноразмерный
кремнезем**

г. Казань 2021 год

В настоящее время большинство нефтяных месторождений России находятся на поздней стадии разработки, которая характеризуется снижением добычи нефти и ростом обводненности добываемой продукции.

Реагенты для повышения нефтеотдачи пластов (ПНП) и интенсификации добычи нефти (ИДН) химическими методами

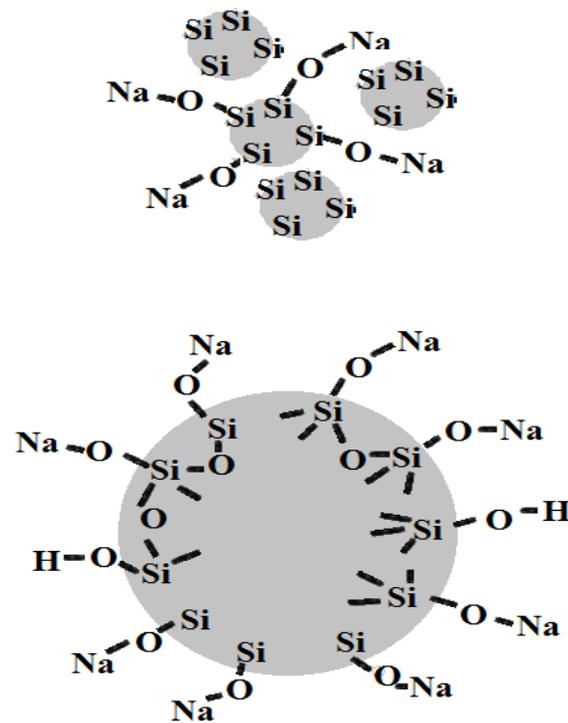
Гелеобразующие и осадко-образующие составы	<ul style="list-style-type: none"> ▪ полимерно-дисперсные системы (ПДС) ▪ гелеобразующие составы (ГОС) ▪ Вязкоупругие составы (ВУС) ▪ Комбинированные композиции 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ реагенты на основе органических компонентов (ПАА, Гипан, ОЭЦ, МЕТКА, РОМКА, АЦМ и др.) ▪ реагенты на неорганической основе <ul style="list-style-type: none"> ○ силикат натрия (жидкое стекло, полисиликат Силином, Ком-С) ○ соли алюминия (ГАЛКА, ИХН-КА) ○ Силикаты кальция (КАС) ○ другие силикаты, нефелины и алюмосиликаты (АС CSE-1313)
Растворы ПАВ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ водо-, водомасло- и маслорастворимые ▪ ионогенные или неионогенные (более 50 видов: типа ОП-10, неонолы) 	
Кислотные составы	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Соляная кислота ▪ Фтористоводородная кислота 	
Прочие	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Растворы щелочей ▪ Мицелярные растворы ▪ другие 	

Несмотря на многообразие продуктов, направление по разработке новых реагентов и композиций для увеличения добычи нефти и снижения обводненности продукции является актуальным.

Силикат натрия (жидкое стекло) находится в виде линейных молекул с молекулярной массой до 5000.

Разработаны реагенты «Силином-ВН-М»* и «Силином ВН-М-Б» высокомолекулярные полисиликаты натрия и новые продукты двойные полисиликаты, содержащие органические основания (Патент № 2683320 от 28.03.2019г.). Продукты содержат наноразмерный кремнезем в аморфной форме в жидком виде с диаметром 4-6 нм и молекулярной массой от 40000 до 200000.

Это отличие позволяет использовать высокомолекулярные полисиликаты с большей эффективностью.



* Силином – торговая марка продуктов разработчика и технологий на их основе

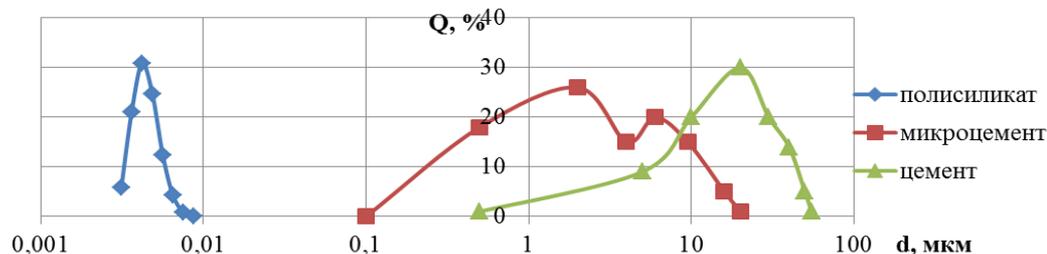
Преимущества составов Силином по сравнению с базовым составом на основе жидкого стекла

Составы Силином	Составы на основе жидкого стекла
<ul style="list-style-type: none">• Состоит из плотных аморфных частиц кремнезема• Регулируемое время гелеобразования от 1 часа до 2 суток• Получение изоляционного экрана механизмом гелеобразования• Обладают селективным действием при закачке составов в породу, технологические растворы в основном двигаются по промытым водонасыщенным гидрофильным породам, не затрагивая нефтенасыщенную часть пласта• Обладают низкой вязкостью, имеют высокую проникающую способность, как в терригенные, так и в карбонатные породы	<ul style="list-style-type: none">• Силикат натрия – щелочной раствор соли содержащей силикатные мономеры• Ограниченное время гелеобразования или отверждения до 30 минут• Получение изоляционного экрана механизмом осадко- и гелеобразования• Составы на основе жидкого стекла и хлористого кальция при закачке оторочками образуют осадки на границе контакта потоков компонентов. Трудность смешивания двух жидкостей в пористой среде, узость фронта смешивания и разбавление исходных компонентов значительно снижают эффективность обработки• Охват реагентом ограничен временем отверждения, а при осадкообразовании размером агломерированных частиц получаемых осадков

Технологические свойства материала

- Высокая проникающая способность
- Совместим с породами пласта, хорошая адгезия к песчаникам и известнякам, селективность воздействия на пласт
- Очень низкая вязкость продукта и технологических растворов в диапазоне 1-10 сПз
- Прочность полисиликатных гелей при содержании диоксида кремния более 6,5 % масс. составляет от 4,5 до 6 кПа (без учета породы)
- Проникает в водонасыщенные интервалы пласта, и имеет хорошее сцепление с влажными поверхностями
- Гелеобразование происходит во всем объеме технологического раствора

Дифференциальная кривая распределения гранулометрического состава цемента, суспензии микроцемента и дисперсии полисиликата



Цемент - тонкодисперсный порошок, с удельной поверхностью 2250 см²/г, размер частиц в диапазоне от 5 до 50 мкм, 90% частиц порошка - менее 35 мкм
Водная суспензия микроцемента «Микродур» марки F - размер частиц 4-6 мкм, удельная поверхность - 12000 см²/г

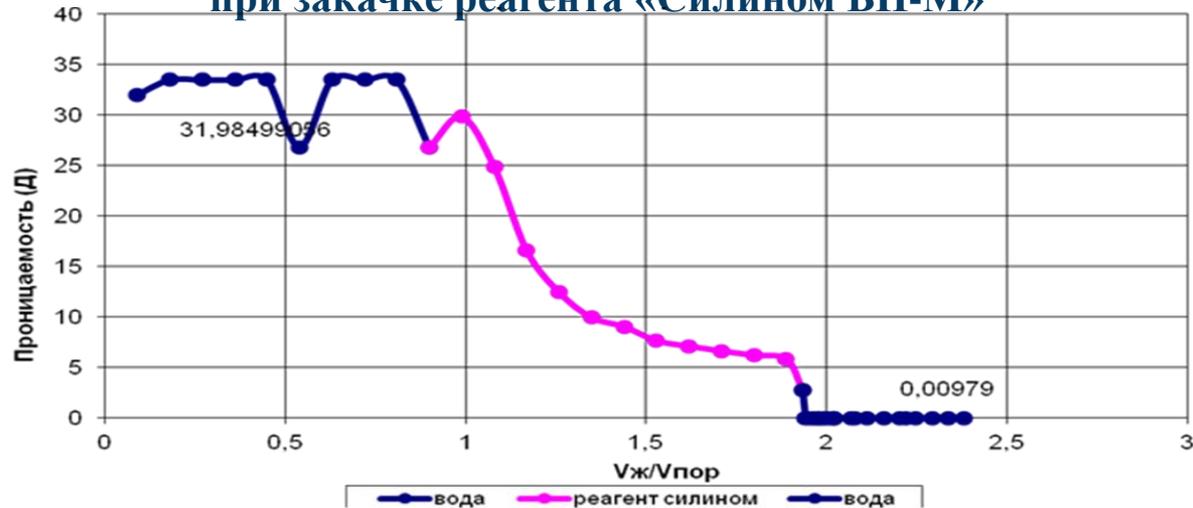
Результаты тестирования реагента «Силином ВН-М» с использованием моделей из слоисто-неоднородных пористых сред с непроницаемыми границами раздела

В качестве вытесняемой нефти использовалась девонская нефть вязкостью 19,6 мПа·с при 30 °С. Композицию на основе «Силином ВН-М» закачивали в общий вход модели, после технологической паузы на гелеобразование в тех же условиях продолжали процесс вытеснения нефти водой. Успешность работ составила 0,95 д.ед.

Параметры	Более проницаемая трубка	Менее проницаемая трубка
Проницаемость по нефти, мкм ²	3,46 - 4,24	0,93 – 1,11
Конечная обводненность на выходе, %	97,4 – 98,0	
Коэффициент вытеснения нефти, %	52,3 – 67,4	
Парциальный дебит по жидкости, д.ед	0,57 – 0,85	0,15 - 0,43
Закачка композиции в виде оторочки размером 10% общего объема пор		
Конечный коэффициент вытеснения нефти, %	62,7 - 74,2	
Парциальный дебит по жидкости, д.ед	0,08 – 0,15	0,92 - 0,55
Прирост парциального дебита, д.ед.		0,42 - 0,77
Прирост коэффициента вытеснения нефти, %	6,8 - 8,3	
Кратность увеличения парциального дебита, б/р		1,98 – 6,13

Результаты тестирования реагента «Силином ВН-М» на модели трещиноватого коллектора

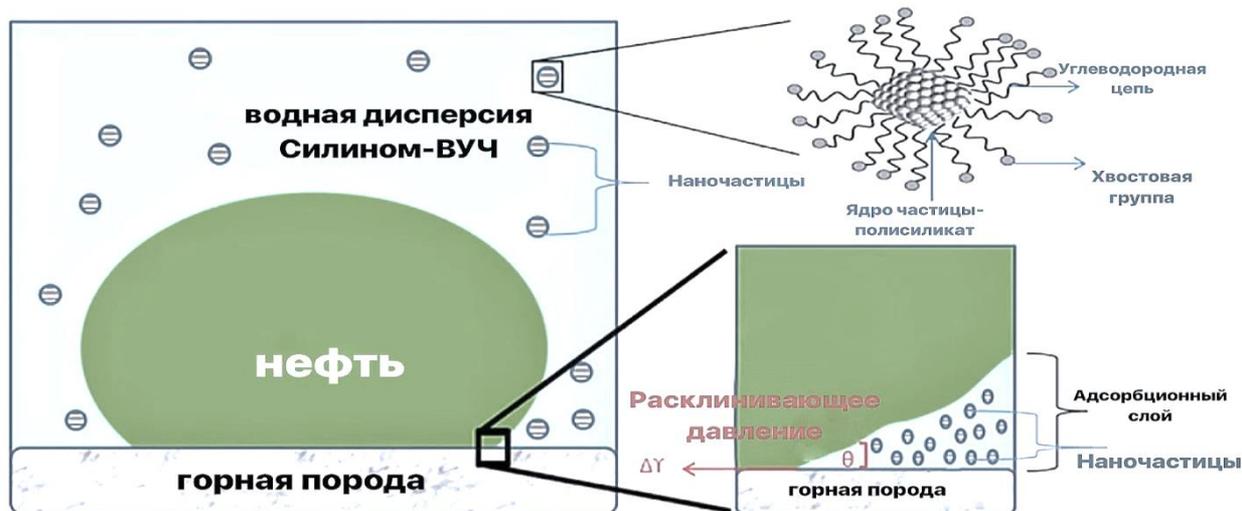
Изменение проницаемости водонасыщенной модели пласта
при закачке реагента «Силином ВН-М»



В аттестованной лаборатории АО «НИИнефтепромхим» проведено тестирование технологических рабочих растворов реагента Силином ВН-М на установке УИПК-1М. Установлено, что происходит снижение проницаемости модели трещиноватого коллектора с 29,76 Д при давлении 0,2 МПа до 0,0098 Д при давлении 0,28 МПа.

Нефтевытесняющий реагент Силином-ВУЧ-С

- Разработан новый материал для увеличения нефтеотдачи за счет остаточной нефтенасыщенности – реагент марки «СИЛИНОМ-ВУЧ-С» – водная дисперсия наноструктурированного полисиликата, детергента и ингибитора солеотложений.
- За счет синергетического эффекта и низкой адсорбции к породе пласта обеспечивается высокая нефтевытесняющая способность, использование технологических растворов с концентрацией до 0,1 %.



Результаты испытания нефтевытесняющих свойств композиции реагента «Силином ВУЧ» на девонских кернах микромодели пластов

Параметры	Ед.изм.	Силином ВУЧ
Расход жидкостей	см ³ /мин	1
Проницаемость абс.	мкм ²	0,345
Пористость	%	18,8
Коэффициент вытеснения нефти	%	96,7
Фактор сопротивления ФС (P_p/P_v)	б/р	3,91
Остаточный фактор сопротивления ОФС (P'_v/P_v)	б/р	4,38
Фактор набухания ФН (P'_v/P_p)	б/р	1,12
Фактор кольматации ФК ($\downarrow P'_v/P_v$)	б/р	0,39

Схема идеализированной модели пор (эффект «мышь»)



Область применения технологии «Силином-2021»

Повышение нефтеотдачи заводненных неоднородных коллекторов в условиях высокой обводненности 80-99% добываемой продукции на поздней стадии разработки нефтяных месторождений путем ограничения приемистости промытых высокопроницаемых пропластков воздействуя через нагнетательные скважины с целью увеличения охвата пласта заводнением, выравнивания профиля приемистости (ВПП), перераспределения фильтрационных потоков и повышения нефтевытесняющей способности.

В технологии предлагается комплекс мероприятий, которые приводят к изменению свойства коллектора в требуемом направлении и способствуют более полному нефтеизвлечению за счет повышения охвата и вытеснения.

Критерии подбора скважин-кандидатов

Общие критерии:

Технология применима в условиях разработки терригенных и трещиноватых карбонатных коллекторов:

- с пластовой температурой до 150°C
- наличие фактора нарастающей обводненности скважин по высокопроницаемым пропласткам
- проницаемость пропластков от 3 мД

Критерии коэффициента охвата:

- наличие остаточных извлекаемых запасов
- наличие рабочих интервалов пласта с эффективной нефтенасыщенной толщиной более 3 м

Технологические критерии:

- сетка скважин сформирована, бурение и ввод новых скважин и боковых стволов не планируется;
- гидродинамическая связь с нагнетательной скважиной для оценки источника обводнения добываемой продукции (при наличии системы ППД)
- удовлетворительное техническое состояние скважин, отсутствие заколонных циркуляций, негерметичности забоя и т.п.
- для поровых коллекторов - минимальный дебит по жидкости – 100 м³/сут, обводненность добываемой продукции - свыше 85%
- для трещинных коллекторов - минимальный дебит по жидкости – 30 м³/сут, обводненность добываемой продукции - свыше 85%
- учтенная история по работе скважины за последние 5 лет (дебит по жидкости, нефти и воде в течение времени после запуска скважины в эксплуатацию после бурения)

Возможные технологические ограничения

- Необходимость строгого соблюдения технологического процесса
- При нарушении заданных соотношений компонентов возможно раннее гелеобразование технологического раствора, который также возможно закачать, но при этом значительно снижается проницаемость реагента в поровое пространство
- Повышение температуры, ускоряет процесс гелеобразования
- При взаимодействии с минерализованной пластовой водой происходит нерегулируемое гелеобразование, в связи с чем технологические растворы готовят с применением пресной воды, и при закачке технологических растворов также в качестве буфера необходимы оторочки пресной воды

Технология «Силином 2021»

Предлагается новая технология «Силином-2021» по увеличению эффективности добычи нефти при заводнении и повышению коэффициента вытеснения нефти с применением жидкостей, содержащих наноразмерный кремнезем.



Технологический процесс производится в следующей последовательности:

1. Определяется приемистость нагнетательной скважины закачкой сточной водой
2. Производится закачка буферной оторочки пресной воды
3. Закачивается селективная технологическая композиция, состоящая из раствора полисиликата «Силином ВН-М и отвердителя (комплексная органическая соль карбоновой кислоты), в количестве согласно технологического плана проведения работ. Данная композиция через заданное время образует гель на в высокопроницаемых промытых пропластках коллектора.
4. Производится закачка буферной оторочки пресной воды содержащей комплексный детергент «Силином-ВУЧ-С».
5. Производится продавка сточной водой в объеме не менее 10 м³ с определением конечной приемистости.
6. Скважина останавливается на технологическую выдержку на 72 часа. После технологической выдержки нагнетательная скважина запускается в работу.

Планируемая эффективность технологии Силином 2021

- Расход реагента для обработки нагнетательной скважины рассчитывается исходя из объема гидроизолирующего экрана с учетом перфорированной толщины пласта и составляет на каждый метр порядка 2 – 3 тонн товарной формы реагента Силином ВН-М
- Средняя продолжительность действия эффекта до 19 месяцев
- Средняя удельная технологическая эффективность составляет 1400-2000 тонн дополнительной нефти в зависимости от геологического строения пласта и величины его остаточных запасов на 1 скважино-обработку.
- Экономическая рентабельность составляет более 65 %.
- Получение дополнительной прибыли за счет увеличения коэффициента извлечения нефти на 10-14 %.

План НИР

- 1 этап. Синтез лабораторных опытных образцов. Проведение комплекса лабораторных исследований по определению физико-химических свойств технологических композиций. Изучение влияния растворов на физико-химические свойства нефти. Лабораторное тестирование образцов на совместимость с моделью пластового флюида, нефтью; определение поверхностного и межфазного натяжения, коррозионной активности. Проведение патентного поиска по теме исследования.
- 2 этап. Разработка технологического регламента получения продукта, разработка технических условий на опытную партию. Сертификация продуктов.
- 3 этап. Выпуск опытной партии продукта и передача его заказчику. Составление технологического плана работ на процесс применения продукта. Проведение опытно-промышленных испытаний на объекте заказчика.
- Объем привлекаемых инвестиций – 2 000 000 рублей.

Руководитель проекта - Обухова Вера Борисовна

директор ООО «ХИМУНИВЕРС»

(Казанский национальный

исследовательский

технологический университет)

Тел./факс +7 (843)295-19-54

nomak.kazan@rambler.ru



В реализации проекта принимают участие бакалавры и магистры ФГБОУ ВПО Казанский государственный технологический университет.