

- Цвиттер-ионные жидкости для ГРП: улучшение удержания пропанта в 15 раз
- ПАВ с ультранизким межфазным натяжением и повышением нефтеотдачи на 45%
- Снижение расхода ЭВА без потери эффективности ингибирования парафиноотложений
- Супрамолекулярные гели для ГРП в сверхглубоких скважинах

БАКТЕРИЦИДЫ
ДЕЭМУЛЬГАТОРЫ
ИНГИБИТОРЫ АСПО И СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ
ИНГИБИТОРЫ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ
ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ

ПАВ
ПОЛИМЕРЫ

ТАМПОНАЖНЫЕ
РАСТВОРЫ

ЖИДКОСТЬ ГИДРОРАЗРЫВА
ПЛАСТА И ПРОПАНТЫ





Автор: Елена Красноголовая. Соавтор и корректор: Кира Потешкина.

Новости

Татарстан и Газпром нефть подписали соглашение о создании реагентов для нефтеотдачи [21157]. Запланированные проекты будут связаны с жидкостями для бурения, гидроразрыва пласта и составами для нефтепромысловой химии.

Компанией Clariant разработаны новые ингибиторы коррозии: CORR TREAT 7395 на основе смеси аминов для сред с высоким содержанием воды [21162] и CORR TREAT 5727, эффективный при высоких скоростях потока [21163].

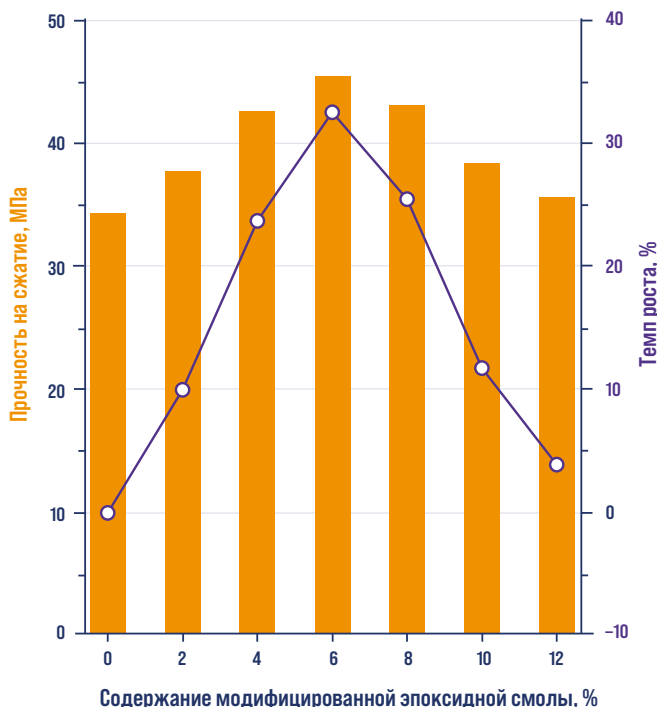
Тампонажные растворы

Тампонажные цементы характеризуются высокой хрупкостью, что может проявиться во время критических операций, например, при ГРП. Для решения этой проблемы в обзорной статье Китайского нефтяного университета исследованы переработанные углеродные волокна для улучшения свойств тампонажных цементов [20696]. При концентрации 1% об. нагрузка появления первой трещины возрастает в 4,65 раз, а энергия разрушения увеличивается в 14 раз.

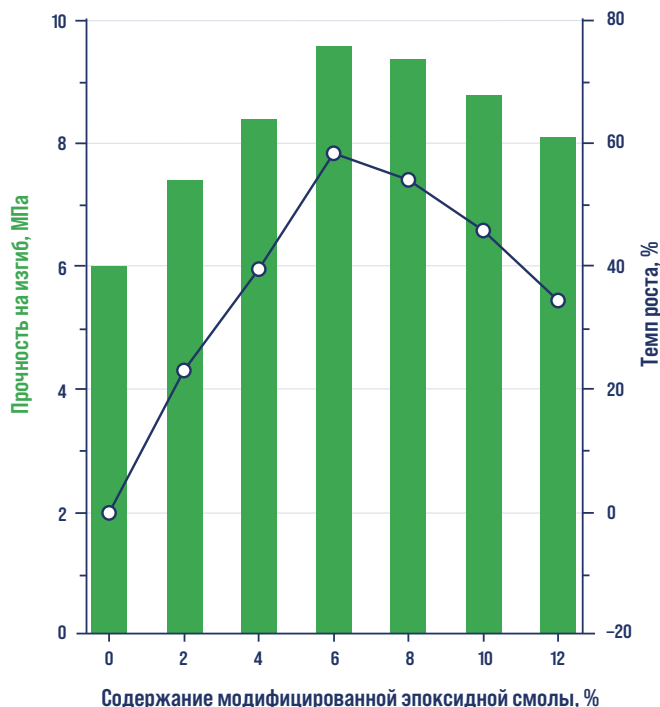
Сотрудниками Юго-Западного нефтяного университета в Чэнду для решения проблем растрескивания цементного камня была разработана модифицированная эпоксидная смола с самоэмульгирующими и самосшивающимися свойствами [20697]. На рисунке показано, что введение разработанного реагента на основе сополимера акриламида, метиллилового спирта и полиоксиэтиленового эфира в количестве 6% масс. увеличивает прочность на сжатие и на изгиб на 33% и 59% соответственно. В этом же университете исследовалось добавление вулканического порошка в условиях циклического нагрева до 300 °С [20698]. Добавление 4% масс. компонента позволяет снизить деградацию прочности цементного камня и повысить его устойчивость при многократных температурных циклах.

Исследование Юго-Западного нефтяного университета показало высокую эффективность применения реагента на основе поверхностно-модифицированного нанокремнезема в снижении потери воды цементным раствором при температуре до 240 °С [20700]. Водоотдача цементного раствора не превышает 50 мл за 30 минут.

Прочность цемента на сжатие



Прочность цемента на изгиб



◆ Ингибиторы коррозии

Большинство существующих ингибиторов содержат гетероатомы; часто встречаются соединения на основе азотсодержащих гетероциклов. Учеными Чунцинского университета науки и технологий синтезирован ингибитор на основе 1,10-фенантролина и 1,4-дихлорбензила [20713]. В условиях кислотной обработки при 180 °С введение ингибитора в количестве 1,5% масс. обеспечило ингибирующий эффект 96,8% на коррозию стали N80 в 20% HCl. Проведенный комплекс электрохимических и адсорбционных исследований показал, что ингибитор формирует на поверхности стали прочную защитную пленку, устойчивую к высоким температурам и агрессивной кислой среде.

В Краковском университете полисахарид ксантан, обычно используемый в качестве загустителя в нефтегазовой промышленности, исследовался как потенциальный антикоррозионный реагент [20764]. Показано, что при оптимальной концентрации 1 г/л ксантан снижает скорость углекислотной коррозии стали N80 на 60–70% в зависимости от температуры.

Для низкоуглеродистой стали учеными из России и Китая достигнута высокая эффективность ингибирования коррозии в диапазоне температур 20–100 °С

в 7% HCl [20763]. В качестве ингибитора коррозии использовался продукт конденсации коричневого альдегида и 3-амино-1,2,4-триазола.

В патенте Schlumberger Technology представлена разработка экологически безопасного ингибитора на основе 3-гидроксипропаналя и его производных. Эффективность ингибирования составила 97% в 28% HCl [20788].

Серосодержащие соединения также являются эффективными и недорогими ингибиторами коррозии. В патенте компании ChampionX показан синергетический эффект ациклических азотсодержащих и серосодержащих соединений [20789]. Например, совместное применение 2-меркаптоэтанола и пиперазина обеспечивает защитный эффект от коррозии около 92% (по отдельности 83 и 12% соответственно).

◆ Жидкости для ГРП

Нефтяной технологический университет (Иран) посвятил обзор понизителям трения в водных жидкостях гидроразрыва пласта [20706]. Сравнительный анализ полимеров, являющихся загустителями и понизителями трения, что особенно важно при разработке глубоких скважин, представлен в таблице. Авторы сформулировали систему критериев и компромиссов для выбора понизителей трения под различные условия.

Полимеры в жидкостях для ГРП: преимущества, недостатки, функциональные группы, используемые для повышения производительности, относительные затраты

Тип полимера	Преимущества	Недостатки	Функциональные группы	Стоимость
Гуар, ксантан	Высокая вязкость, хорошая транспортировка пропанта, биоразлагаемость, экологичность	Низкая термостабильность, низкие скорости снижения сопротивления при низких концентрациях	Гидроксипропил, карбоксиметил, гидроксипропилцеллюлоза	Низкая
Полиэтиленоксид	Высокая растворимость	Низкая скорость снижения сопротивления при высоком сдвиге	Окись этилена	Средняя
Линейный полиакриламид	Высокая растворимость в воде, термостабильность	Термическое разложение при высоких температурах, осаждение в средах с высокой минерализацией	Карбоксиметил, сульфоновая кислота, бензольные кольца, гетероциклы, гидрофобные группы	Средняя
Сшитые полимерные системы	Повышенная термостойкость и стойкость к сдвигу, высокая способность удерживать пропант во взвешенном состоянии	Риск значительного повреждения пласта, образование отложений, высокая чувствительность к pH	Борат, Al (III), Ti (IV), Zr (IV)	Высокая
Гидрофобно-ассоциирующие водорастворимые полимеры	Хорошая термостойкость, стойкость к сдвигу и минерализации, эффективность при низких концентрациях	Высокая вязкость при концентрациях выше ККМ, менее гибкий, высокие эксплуатационные расходы	Гидрофобные мономеры, такие как октадецилакрилат	Средняя
Наночастицы	Улучшенная термическая и механическая стабильность, повышенные коэффициенты извлечения нефти	Потенциальная опасность для здоровья и окружающей среды, риск повреждения породы	Кремнезем (SiO ₂), MgO, ZnO, Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , (TiO)	Высокая

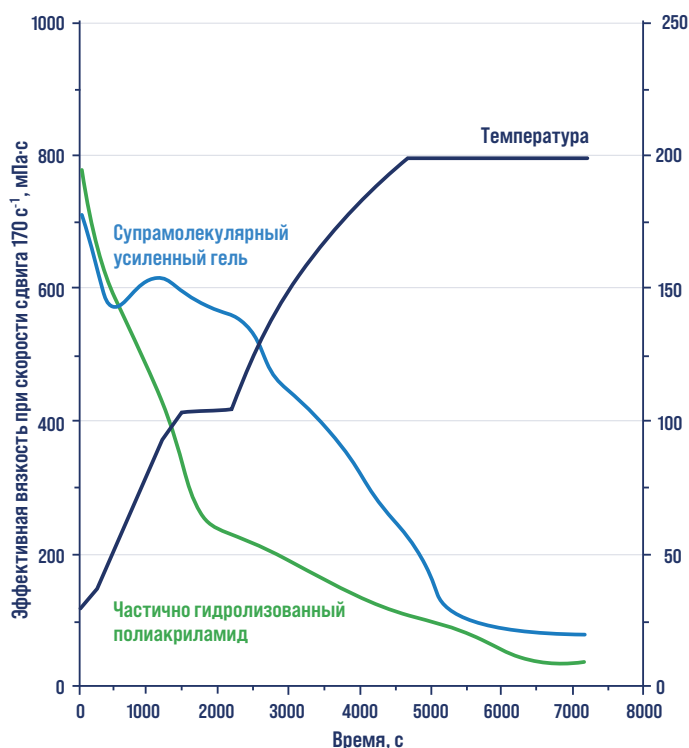


Жидкости для ГРП

Степень заполнения трещин проппантом определяет проводимость породы для флюидов, поэтому песконе-сущая способность жидкости является важным фак-тором, влияющим на эффективность ГРП. Китайским нефтяным университетом совместно с отраслевыми научными центрами разработан супрамолекулярный усиленный гель на основе сополимеров акрилами-да, обладающий смазывающим эффектом, для ГРП в сверхглубоких скважинах [20701]. По сравнению с традиционным гелем на основе гидролизованного по-лиакриламида в новой системе коэффициент трения снижен на 15%, и гель менее склонен к деструкции при высоких температурах (рисунок слева).

По сравнению с жидкостями ГРП на основе гидрокси-пропилгуара вязкоупругие поверхностно-активные жидкости отличаются высокими песконесущими характеристиками и минимальным повреждением пласта. Китайским нефтяным университетом в Пекине представлена вязкоупругая жидкость для ГРП на осно-ве цвиттер-ионного ПАВ [20705]. За счет образующейся сети мицелл наблюдается высокая термическая стабильность и более чем 15-кратное улучшение

Термостойкость геля при 200 °С [20701]



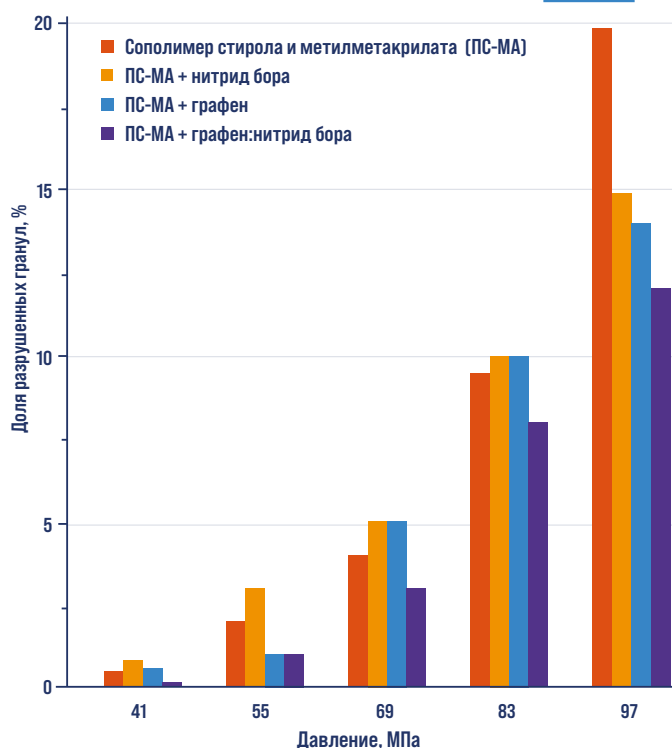
удержания проппанта по сравнению с гидроксипропил-гуаром.

Пропранты для ГРП

Одна из проблем при ГРП — это преждевременное осаждение проппантов, приводящее к закупориванию пласта и уменьшению площади раскрытия трещины. На базе университета Саудовской Аравии и Saudi Aramco разработаны легкие полимерные проппанты на основе сополимера стирола и метилметакрилата с включени-ем графена и нитрида бора [20709]. Полученные ком-позитные микросферы обладают низкой плотностью (1,06 г/см³) и сохраняют работоспособность при давле-ниях до 83 МПа (рисунок справа).

В Юго-Западном нефтяном университете Китая разра-ботана альтернативная технология получения керами-ческих проппантов из пиролизных остатков бурового шлама на нефтяной основе [20711]. Процесс характе-ризуется снижением температуры спекания примерно на 120 °С и сокращением времени термообработки, при этом полученные проппанты имеют разрушаемость 2,75% при 52 МПа, кислотную растворимость 2,24%, на-сыпную плотность 1,78 г/см³.

Краш-тест проппанта на основе полистирола-метилметакрилата [20709]



◆ Ингибиторы гидратообразования

В международном исследовании (Россия, США, Иран, Китай, Великобритания) синтезирована биосовместимая четвертичная аммониевая соль на основе олеиновой кислоты, сочетающая свойства ингибиторов гидратообразования и коррозии [20717]. Реагент предотвращает образование гидратов при переохлаждении на 15 °С в течение 1000 мин, снижает силу сцепления частиц гидратов на 33% и обеспечивает ингибирование коррозии углеродистой стали до 97% в среде CO₂ и H₂S. Бифункциональный ингибитор из сульфированной гуаровой камеди получен в исследовании университета науки и технологий Чанши [20719]. Скорость роста гидратов при 0,5% масс. и переохлаждении 6 °С составила 0,8 ммоль CH₄/[моль H₂O·мин], а коррозионная эффективность – 92%.

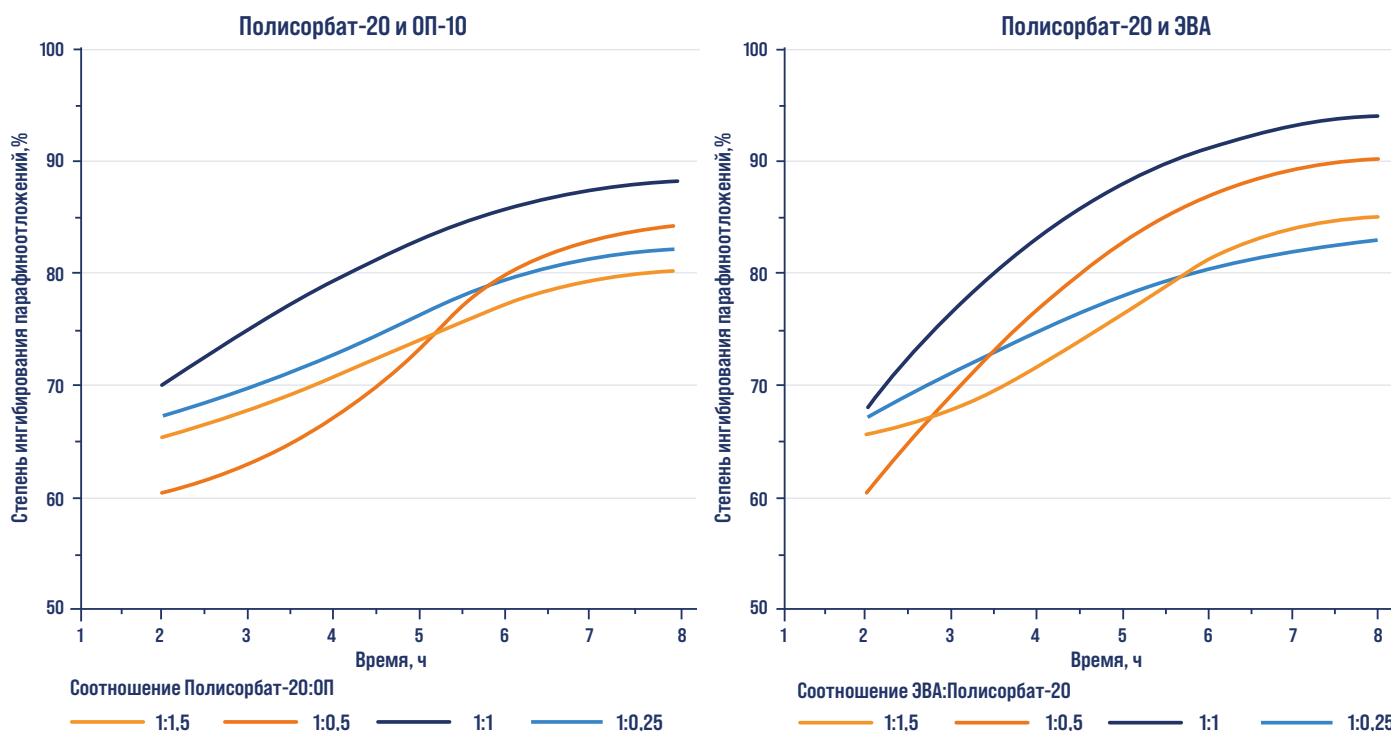
Многофункциональные ингибиторы гидратообразования, коррозии и солеотложения на основе водорастворимых полималеатов представлены в патенте Казанского федерального университета [20776]. Достигается ингибирование коррозии до 50%, степень переохлаждения гидратообразования 13,1–14,5 °С (0,5% масс.) и подавление солеотложения до 62–100% (0,2% масс.).

◆ Ингибиторы парафиноотложений

Нетрадиционные ресурсы, такие как сланцевая и тяжелая нефть, становятся новыми направлениями добычи нефти. При низких температурах проблема осаждения парафина в нефти и блокировки трубопроводов становится актуальной. В работе сотрудников Китайского нефтяного университета исследован синергетический эффект от применения ингибиторов парафиноотложений (ЭВА, ОП-10 и Полисорбат-20) для условий шельфов [20718]. Композиция ЭВА + Полисорбат-20 (1:1) при концентрации 600 ppm обеспечивает степень ингибирования парафиноотложений 94% (рисунок), что выше, чем у чистого ЭВА при концентрации 800 ppm (90,8%). Это позволяет снизить расход дорогостоящего сополимера этилена и винилацетата на 25% без потери эффективности.

Несмотря на эффективность, традиционные полимерные ингибиторы парафиноотложений характеризуются низкой биоразлагаемостью и накоплением в водной среде. В обзоре университетов Италии и Jacam Catalyst систематизированы данные по современным ингибиторам парафиноотложений с оценкой долгосрочного воздействия на окружающую среду [20765].

Степень ингибирования отложений парафинов в смесях Полисорбат-20, ОП-10 и ЭВА





ПАВ и ПАВ-полимерное заводнение

Для месторождений поздней стадии разработки получило распространение использование смешанных систем ПАВ. В исследовании университета Янцзы и Синорес разработана анионно-цвиттер-ионная смесь додецилсульфата натрия и додецилдиметиламинооксида, обеспечивающая ультранизкое межфазное натяжение 2–4 мкН/м при концентрации 300 мг/л [20734]. При фильтрации через низкопроницаемые керны смесь увеличила нефтеотдачу на 15,4% (рисунок).

Научно-исследовательским институтом разведки и разработки нефтяного месторождения Дацин предложена рецептура микроэмульсионного заводнения в пласте, состоящая из карбоксилатных ПАВ в комбинации с алкилбензоилсульфонатом и нефтяным сульфонатом [20725]. Разработанная система увеличила нефтеотдачу на 45% после полимерного заводнения при низкой сорбции ПАВ (порядка 0,1 мг/г породы).

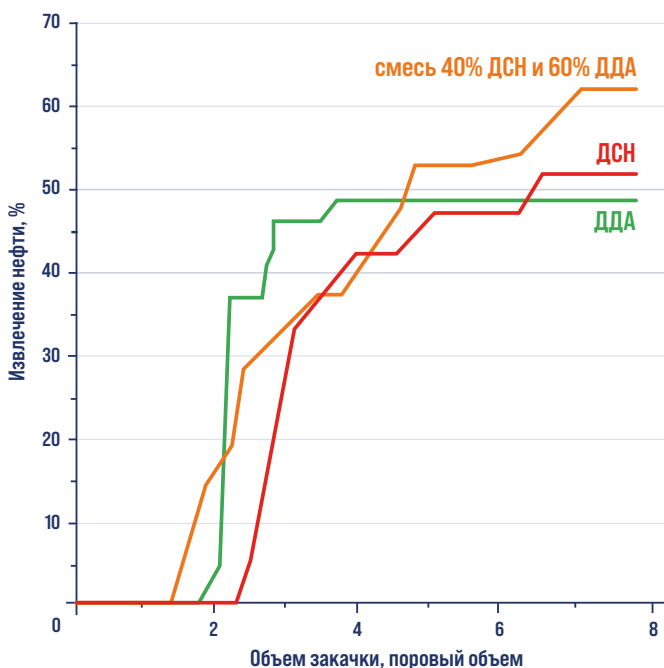
Использование наночастиц может стабилизировать закачиваемую жидкость и повысить охват пласта заводнением. Сотрудники Сибирского Федерального университета изучили эффективность использования

нановолокон Al_2O_3 и ПАВ при вытеснении нефти [20735]. Добавление наночастиц SiO_2 (10 нм) к полимерному раствору позволяет увеличить коэффициент нефтеотдачи до 76,4%, что соответствует приросту на 36,4% по сравнению с водным заводнением и на 17,2% по сравнению с полимерным раствором без нанодобавок и ПАВ.

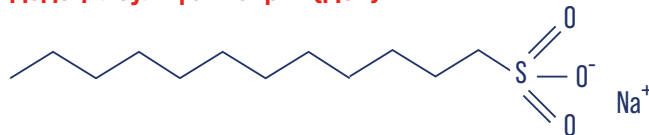
Для решения ограничений традиционных систем полимерного заводнения в отношении термостойкости и стойкости к минерализации исследователи Китайского горного университета создали композицию на основе цвиттер-ионных ПАВ с супрамолекулярными взаимодействиями [20747]. В неоднородных пластах композиция проявила способность к перенаправлению флюида в низкопроницаемые зоны, обеспечив дополнительную нефтеотдачу в 24%.

Эффективность термохимического заводнения горячими составами ограничена из-за разрушения реагентов в условиях высоких температур. Яньшаньский университет и Синорес разработали термостабильный амфифильный сополимер трех мономеров, который снизил вязкость тяжелой нефти на 92% и увеличил извлечение нефти до 87% [20743].

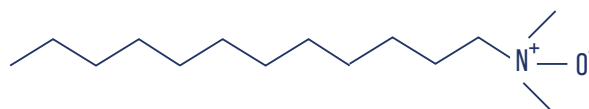
Эффективность извлечения нефти при использовании смешанных ПАВ на основе додецилсульфата натрия и додецилдиметиламинооксида



Додецилсульфат натрия (ДСН)



Додецилдиметиламинооксид (ДДА)





Источник

файла в библиотеке FD

Статьи

Последние достижения в использовании углеродного волокна для усиления цементных композитов и их значение для будущего тампонажного цемента | *Petroleum* | 2025 [\[20696\]](#)

Влияние самоэмульгирующейся и самоотверждающейся эпоксидной смолы на механические свойства цемента | *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* | 2025 [\[20697\]](#)

Влияние и механизм воздействия вулканического порошка на прочность цемента при циклическом воздействии высоких и низких температур | *Construction and Building Materials* | 2025 [\[20698\]](#)

Синтез и определение характеристик привитой нанокремнеземной сополимеризованной добавки для удаления жидкости из цемента нефтяных скважин при сверхвысокой температуре 240 °C | *Construction and Building Materials* | 2025 [\[20700\]](#)

Жидкость для гидроразрыва пласта, армированная супрамолекулярным гелем, применяемая в сверхглубоких коллекторах | *Geoenergy Science and Engineering* | 2026 [\[20701\]](#)

Разработка безвредных цвиттер-ионных вязкоупругих жидкостей для гидроразрыва пласта с использованием нековалентных связующих для нетрадиционных коллекторов | *Journal of Molecular Liquids* | 2025 [\[20705\]](#)

Перспективный обзор средств снижения трения в качестве добавок к жидкостям для гидроразрыва пласта на водной основе | *Journal of Molecular Liquids* | 2025 [\[20706\]](#)

Высокопрочные микрогранулы на основе сополимеров стирола и метилметакрилата с нанонаполнителем в качестве потенциальных проппантов при гидравлическом разрыве пласта | *Geoenergy Science and Engineering* | 2026 [\[20709\]](#)

Изготовление керамических проппантов на основе остатков пиролиза с высокой прочностью, низкой растворимостью в кислотах и экологичностью с помощью высокоэффективного метода микроволнового спекания | *Process Safety and Environmental Protection* | 2025 [\[20711\]](#)

Разработка и исследование эффективности ингибитора коррозии углеродистой стали на основе четвертичной аммонийной соли при высокой температуре 180 °C | *Journal of Molecular Structure* | 2026 [\[20713\]](#)

Синтез, характеристика и механизм антикоррозионного действия ингибитора коррозии на основе n-гексиламинового основания Манниха | *Chemical Engineering Science* | 2026 [\[20714\]](#)

Возобновляемые реагенты для нефтяных месторождений с многофункциональным действием: производные олеиновой кислоты ингибируют агрегацию газовых гидратов и коррозию | *Energy* | 2025 [\[20717\]](#)

Исследование синергетического ингибирования образования парафина в сланцевой нефти с использованием эффективных ингибиторов парафинообразования: эксперименты и механизмы | *Chemical Engineering Science* | 2025 [\[20718\]](#)

Синтез и оценка анионных производных гуаровой камеди как бифункциональных ингибиторов образования гидрата метана и коррозии металлов в нефтегазовых трубопроводах | *International Journal of Biological Macromolecules* | 2025 [\[20719\]](#)

Диметилсульфоксид ингибирует или способствует нуклеации и росту гидратов метана? | *Journal of Molecular Liquids* | 2025 [\[20723\]](#)

Последние достижения в разработке и промышленном применении ингибиторов парафиноотложений: всесторонний обзор нано-, экологических и традиционных подходов | *Journal of Composites Science* | 2025 [\[20765\]](#)



Статьи

Экспериментальное исследование вытеснения нефти с помощью микроэмульсии средней фазы, формируемой внутри пласта, для повышения нефтеотдачи после полимерного заводнения | Chemical Engineering Science | 2026 [\[20725\]](#)

Обзор передовых технологий полимерных гелей для увеличения нефтеотдачи и контроля добычи воды | Ore and Energy Resource Geology | 2025 [\[20732\]](#)

Исследование механизма вытеснения нефти смесями анионных/цивтер-ионных ПАВ в низкопроницаемых коллекторах | Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects | 2026 [\[20734\]](#)

Повышение эффективности растворов ПАВ и полимеров путем их модификации наночастицами для увеличения нефтеотдачи | Chemical Engineering Science | 2026 [\[20735\]](#)

Термостабильный полимерный поверхностно-активный материал для повышения эффективности добычи тяжелой нефти методом горячего химического заводнения | Langmuir | 2025 [\[20743\]](#)

Эффективность вытеснения нефти и механизм синергетически усиленной поверхностно-активными веществами системы включения в высокотемпературных и высокоминерализованных пластах | Energy & Fuels | 2025 [\[20747\]](#)

Продукты конденсации альдегидов с аминотриазолом в качестве новых ингибиторов коррозии низкоуглеродистой стали в соляной кислоте | Polymers | 2025 [\[20763\]](#)

Ксантановая камедь как экологичный ингибитор коррозии для углеродистой стали N80 в условиях высокого давления и высокой температуры в растворах солей, насыщенных CO₂ | Materials | 2025 [\[20764\]](#)

Патенты

Реагенты комплексного действия – ингибиторы гидратообразования, коррозии и солеотложения на основе водорастворимых полималеатов | ФГАОУ ВО КФУ | RU 2827166 C1, 2025 [\[20776\]](#)

Жидкость для гидроразрыва пласта на основе синтетического полимера низкой концентрации с аскорбиновой кислотой | CNPC USA Corporation | US 20250270440 A1 [\[20782\]](#)

Ингибитор коррозии и способы ингибирования коррозии металлических поверхностей | Schlumberger | US 20250320401 A1 [\[20788\]](#)

Композиции ингибиторов коррозии и способы их использования | ChampionX | US 20250270706 A1 [\[20789\]](#)

Прочие материалы

Газпром нефть расширяет сотрудничество с Татарстаном в развитии технологий нефтедобычи | Газпром нефть | 2025 [\[21157\]](#)

Ингибитор коррозии CORRTREAT 7395 | Clariant | 2025 [\[21162\]](#)

Ингибитор коррозии CORRTREAT 5727 | Clariant | 2025 [\[21163\]](#)