

УДК 614.841; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-2.15>

<https://orcid.org/0000-0003-0897-3846>

<https://orcid.org/0000-0001-9442-213X>

<https://orcid.org/0000-0003-3323-8245>

ПОЛИМЕРНЫЙ СОСТАВ ДЛЯ ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ



А.Б. ИСА,
докторант кафедры
«Технология неорганических
и нефтехимических
производств»,
isa.aziza@mail.ru



О.К. БЕЙСЕНБАЕВ,
доктор технических наук,
профессор кафедры
«Технология неорганических
и нефтехимических
производств»,
oral-kb@mail.ru



К.С. НАДИРОВ,
доктор химических наук,
профессор кафедры
«Нефтегазовое дело»,
nadirovkazim@mail.ru

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. АУЭЗОВА,
160012, Республика Казахстан, Шымкент, пр-т Тауке хана, 5

Разработка композитных полимеров для нефтевытеснения и улучшения эксплуатационных характеристик нефтяных скважин является актуальной задачей. В данной статье авторами сделан анализ состояния проблемы повышения нефтеотдачи нефтяных пластов на основе водорастворимых полимеров. Рассмотрены вопросы синтеза и исследования физико-химических свойств модифицированного полиакриламида с жирными кислотами госсиполовой смолы и дальнейшей сшивкой в присутствии персульфата калия и серноватистокислого натрия для повышения нефтеотдачи пластов. Модифицирующим агентом в данном исследовании является жирные кислоты госсиполовой смолы. Измерения поверхностного натяжения полученных полимерных композитов показало, что при увеличении концентрации раствора снижается поверхностное натяжение, т. е. повышается поверхностная активность. Проведенные авторами исследования по изучению коллоидно-химических свойств полимерных композитов позволяют сделать вывод, что полученные, при гидролизе КО ДЖК гидроокисью натрия дальнейшей сшивкой в присутствии персульфата калия и серноватистокислого натрия, реагенты обладают хорошим поверхностно-активными свойствами. Синтезированный полимерный состав на основе модифицированного ПАА в присутствии жирных кислот госсиполовой смолы, персульфата калия и серноватисто-кислого натрия имеет достаточно удовлетворительную устойчивость в условиях высокой температуры и минерализации пластовых вод. Результаты

исследований показывают, что закачка раствора полимерного реагента в продуктивный пласт позволяет увеличить коэффициент вытеснения нефти на 7-8%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модификация, полимерный реагент, нефтеотдача пластов, вязкость, полимерное заводнение, жирные кислоты госсиполовой смолы.

МҰНАЙДЫ ҰҒЫСТЫРУҒА АРНАЛҒАН ПОЛИМЕРЛІК ҚҰРАМ

А.Б. ИСА, «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының докторанты, isa.aziza@mail.ru

О.К. БЕЙСЕНБАЕВ, техника ғылымдарының докторы «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры, oral-kb@mail.ru

К.С. НАДИРОВ, химия ғылымдарының докторы, «Мұнайгаз ісі» кафедрасының профессоры, nadirovkazim@mail.ru

М. ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, 160012, Шымкент қ., Тәуке хан даңғылы, 5

Мұнайды ұғыстыру және мұнай ұңғымаларының жұмысын жақсарту үшін композиттік полимерлерді өзірлеу өзекті міндет болып табылады. Бұл мақалада авторлар суда еритін полимерлер негізіндегі мұнай қабаттарының күшейтілген мұнай беру мәселесінің жағдайына талдау жасады. Майлы қышқыл - лотамигоссипол шайыры бар модификацияланған полиакриламидтің физика-химиялық қасиеттерін синтездеу және зерттеу және қабаттардың мұнай беруін арттыру үшін калий персульфаты мен натрий сульфатының қатысуымен одан әрі байланыстыру мәселелері қарастырылды. Бұл зерттеудегі модификациялаушы агент госсипол шайырының май қышқылдары болып табылады. Алынған полимерлі композиттердің беттік керілуін өлшеу ерітіндінің концентрациясы жоғарылаған кезде беттік керілу төмендейтінін көрсетті, яғни беттік белсенділік жоғарылайды. Полимерлі композиттердің коллоидты-химиялық қасиеттерін зерттеу бойынша авторлар жүргізген зерттеулер калий персульфаты мен натрий сульфатының қатысуымен натрий гидроксидімен МҚД ҚҚ гидролизденген кезде алынған реагенттер жақсы беттік - белсенді қасиеттерге ие деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Май қышқылдары госсипол шайыры, калий персульфаты және натрий сульфаты қатысуымен модификацияланған ПАА негізінде синтезделген полимер құрамы жоғары температура мен қабат суларының минералдануы жағдайында жеткілікті қанағаттанарлық төзімділікке ие. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, полимерлі реагент ерітіндісін өнімді қабатқа айдау мұнайдың ұғысу коэффициентін 7-8% - ға арттыруға мүмкіндік береді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: модификация, полимерлі реагент, қабаттардың мұнай беруі, тұтқырлық, полимерлі суландыру, госсипол шайырының май қышқылдары.

ПОЛИМЕРНЫЙ СОСТАВ ДЛЯ ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ

A.B. ISSA, doctoral student of «Technology of inorganic and petrochemical industries» department, isa.aziza@mail.ru

O.K. BEISENBAEV, Doctor of technical Sciences, professor of «Technology of inorganic and petrochemical industries» department, oral-kb@mail.ru

K.S. NADIROV, Doctor of chemistry Sciences, professor of «Oil and gas business» department, nadirovkazim@mail.ru

M. AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN STATE UNIVERSITY,
5, Tauke Khan Avenue, Shymkent, Republic of Kazakhstan, 160012

The development of composite polymers for oil displacement and improving the performance of oil wells is an urgent task. In this article, the authors made an analysis of the state of the problem of enhanced oil recovery of oil reservoirs based on water-soluble polymers. The issues of synthesis and study of the physicochemical properties of modified polyacrylamide with fatty acids, gossypol resin and further crosslinking in the presence of potassium persulfate and sodium sulphate to enhance oil recovery are considered. The modifying agent in this study is the fatty acids of gossypol resin. Measurements of the surface tension of the obtained polymer composites showed that with an increase in the concentration of the solution, the surface tension decreases, i.e., the surface activity increases. The studies carried out by the authors on the study of the colloid-chemical properties of polymer composites allow us to conclude that the reagents obtained by hydrolysis of KO JFA with sodium hydroxide by further crosslinking in the presence of potassium persulfate and sodium sulphate have good surface-active properties. The synthesized polymer composition based on modified PAA in the presence of fatty acids of gossypol resin, potassium persulfate and sodium sulphate has a fairly satisfactory stability under conditions of high temperature and formation water salinity. The research results show that injection of a polymer reagent solution into a productive formation allows increasing the oil displacement efficiency by 7-8%.

KEY WORDS: modification, polymer reagent, reservoir oil recovery, viscosity, polymer flooding, fatty acids of gossypol resin.

Введение. В условиях эксплуатации нефтегазовых скважин Южно-Торгайской впадины более широкое распространение получает использование полимерных реагентов в нефтедобыче, особенно в полимерном заводнении. На некоторых казахстанских нефтяных месторождениях в ранее, основном, применялись полиакриламидные и силикатные гели для снижения обводненности и повышения дебита добывающих скважин [1,2].

Полимерное заводнение пластов достигается за счет добавления небольшого количества частично модифицированного полиакриламида к нагнетаемой воде, в связи с этим макроскопически увеличивается вязкость нагнетаемой воды, а также снижается коэффициент мобильности нефти и воды (M_v). Для неоднородного пласта полимер на начальной стадии полимерного заводнения сначала входит в слой с высокой проницаемостью и низким сопротивлением и задерживается в нем, что приводит к уменьшению сечения потока в порах и увеличению фильтрационного сопротивления. Когда тот же раствор полимера проникает в слои с низкой и средней проницаемостью коллектора, происходит задержание полимера в этой среде и увеличение прироста фильтрационного сопротивления в них. Далее по мере продолжения процесса полимерного заводнения фильтрационное сопротивление в слоях средней и низкой проницаемости коллекторов будет постепенно увеличиваться [6–9]. Объем и время задержки полимера в порах и фильтрационное сопротивление пласта может оцениваться по коэффициенту сопротивления и коэффициенту остаточного сопротивления. По мере увеличения коэффициента сопротивления и коэффициента остаточного сопротивления увеличивается давление нагнетания, повышается перепад давления поглощения в слоях средней и низкой проницаемости, увеличиваются степень поглощения жидкости и коэффициент охвата пласта [3-8].

В настоящее время для успешного применения полимеров для нефтеотдачи пластов в промышленных масштабах необходимы полимеры, обладающие поверхностно активными свойствами и с высокой устойчивостью к минерализованной

воде и температуре [4-9]. В связи с этим разработка термо- и солеустойчивых модифицированных полимеров является актуальной задачей [10-15].

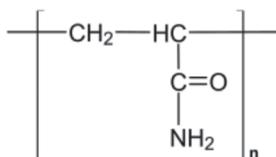
В данной работе авторами предлагается модифицированный новый полимер на основе полиакриламида и кубовых остатков вакуумной дистилляции жирных кислот растительных масел с высокой молекулярной массой C_{11} - C_{17} . Данная фракция жирных кислот использован как модифицирующего агента в смеси с полиакриламидами, который далее рекомендован нами для закачки в продуктивный пласт. Вязкостные характеристики растворов полимеров с различной концентрацией были протестированы в пластовой воде. Модифицированный полимер показал более высокие результаты по сравнению с обычным полимером при тех же условиях применения. Таким образом, перспектива повышения нефтеотдачи за счет использования полимерной композиции и направлена на решение задачи максимального извлечения нефти из скважин.

Материалы и методы исследований.

В качестве исследуемой нефти использовали нефть Кумкольского месторождения. Были взяты образцы нефти плотностью 812 – 819 кг/м³. Минерализация воды (хлорокальциевая) в пластах составила 49,7 – 84 г/л.

При составлении композиций использовали полимерный состав на основе полиакриламида и кубовых остатков дистилляции жирных кислот.

В полученной полимерной композиции спользован полиакриламид фирмы «Алита» Казахстан. Химическая формула:



Модифицирующим агентом в данном исследовании является жирные кислоты госсиполовой смолы. Госсиполовая смола – кубовый остаток вакуумной дистилляции жирных кислот, полученный из хлопковых соапстоков при рафинации сырого хлопкового масла. Это, однородная вязкотекучая масса от темно-коричневого до черного цвета.

Жирные кислоты из госсиполовой смолы получали методом поликонденсации в щелочной среде при температуре 80-90 °С в течение 2-2,5 часа. Полученный полупродукт состоит на 60-70% из натриевых солей, преимущественно непредельных жирных кислот с преобладающей фракцией C_{11} - C_{17} , т.е. (R-COONa) [1].

Для установления спектральных характеристик модифицированного полимерного реагента были сняты ИК-спектры на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu YR Prestige-21 с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения Miracle.

Для структурно-элементного состава (РЭМ) использовали электронный микроскоп марки Jeol JSM-64901 V.

Измерение вязкости растворов модифицированных ПАА проводилось в капиллярном вискозиметре Убеллоде с висячим уровнем (время истечения растворителя ~ 100-120 секунд) при температуре 25±0,1 °С. Точность измерения приведенной $\eta_{пр}$ вязкости составляла ±1%. Приведенные вязкости растворов рассчитаны по формулам:

$$\eta_{\text{уд.}} = \frac{(\tau - \tau_0)}{\tau_0} = \eta_{\text{отн.}} - 1$$

$$\eta_{\text{пр.}} = \frac{\eta_{\text{уд.}}}{C} ,$$

где τ_0 – время истечения растворителя, сек; τ – время истечения раствора, с.; C – концентрация раствора, г/дл; $\eta_{\text{уд.}}$ – удельная вязкость.

При изучении поверхностное натяжение композитных полимеров было выявлено, что полимера при увеличении концентрации полимера раствора снижается поверхностное натяжение, т. е. повышается поверхностная активность.

Для определения оптимального времени и температуры реакции, измерялась вязкость отобранных проб растворов полимера.

Для определения оптимального времени и температуры реакции при модификации ПАА, измерялась эффективная вязкость отобранных проб растворов ПАА на ротационном вискозиметре «Ofite 900 viscometer» при скорости сдвига $\gamma=6,20,60,100,300$ ср.

Модификация ПАА осуществлялась в реакторе высокого давления марки TGY – С.

Синтезированный модифицированный продукт на основе ПАА в присутствии госсиполовой смолы был протестирован на образцах горных пород (кернах) с помощью установки исследования кернов УИК-С(2) (рисунок 1).

Для проведения эксперимента на керне использовались поршневые насосы и датчики давления, а также кернодержатель, в котором образец керна фиксировался с помощью эпоксидного клея. Методика проведения тестов заключалась в следующем:



Рисунок 1 – Установка исследования кернов УИК-С(2)

- 1-Вакуумирование модели в течение 10 мин;
- 2-Насыщение модели водой;
- 3-Вытеснение воды нефтью до достижения неснижаемой водонасыщенности;
- 4-Закачка в модель одного порового (ПО) объема воды для вытеснения нефти;
- 5-Закачка нескольких ПО раствора полимерного реагента.

В работе использовался керн с диаметром 3 и длиной 4,6 см, соответственно (рисунок 2).



Рисунок 2 – Образец керна

Результаты и обсуждение. Процесс модификации в присутствии жирных кислот госсиполовой смолы приводит приданию полимеру поверхностно-активных свойств. Для увеличения вязкости и высокомолекулярной фракции в макромолекуле проведена сшивка (непрореагировавшей и олигомерной фракции жирных кислот с ПАА) в присутствии инициатора окислительно-восстановительной системы (персульфата калия и серноватисто-кислого натрия 0,1% от массы), при температуре 40-60 °С в течении 1,0 часа. В результате сшивки вязкотекучая масса превращается в гелеобразное состояние, при этом наблюдается высокий выход высокомолекулярной фракции (относительная вязкость 1%-ного раствора модифицированного ПАА равна 5,9 мм²/с, а после сшивки равен 11,5).

На ИК-спектре исследуемого образца модифицированного полимера (рисунок 3) наблюдается интенсивная полоса поглощения 3100-2850 см⁻¹, которая соответствует валентным колебаниям -S-H и ≡C-H группы -NH, участвующей в водородной связи алифатических соединений.

Наблюдается также полоса поглощения с низкими интенсивностями длин волн присутствующих соединений C-O-C в сложных эфирах, которая принадлежит ацетатной группе 1350-1030 см⁻¹.

ИК-спектры с длиной волн с низкой интенсивностью 1969-1813 см⁻¹ характеризуют валентные колебания =C=O несопряженных типов связей в амидах, а полосы поглощения 1700 – 1530 см⁻¹, соответствует валентным колебаниям =C=C= [12-14].

Результаты исследования ИК-спектров синтезированных полимеров показали наличие карбоксилатных, амидных групп. Кроме того, необходимо отметить, наблюдается увеличение этих групп, плотно расположенных вдоль цепи макромолекулы.

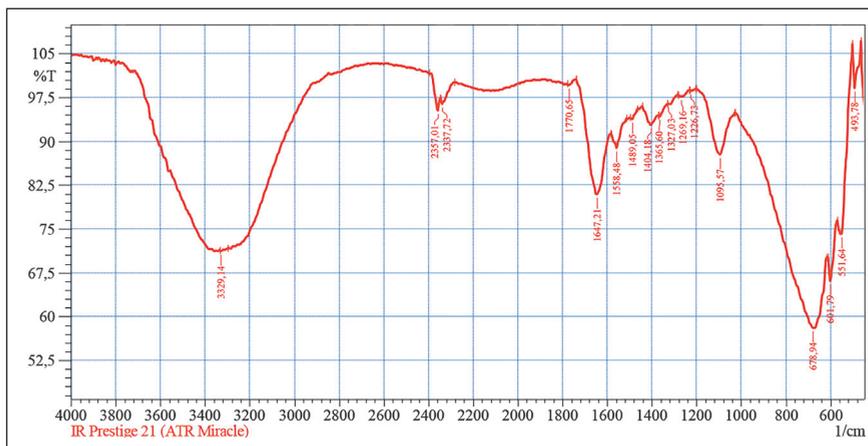


Рисунок 3 – ИК-спектр гидролизованного полиакриламида с помощью жирных кислот госсиполовой смолы и дальнейшей шшивкой в присутствии персульфата калия и серноватисто-кислого натрия

Таким образом, анализ ИК-спектров показывает, что полученный модифицированный композит полимера на основе полиакриламида в присутствии жирных кислот госсиполовой смолы содержит функциональные группы: -COO-; CH₃; NH₂-; -SO₃-.

Результаты анализа элементного и минералогического состава полученного состава полимера показали наличие следующих элементов: C – 31,11%, O – 38,26%, Na – 20,78%, Si – 0.17%, S – 8,64%, K – 1,04 % (рисунок 4).

Для полного понимания характеристик создания поверхностного адсорбционного слоя полученного полимера необходимо глубокое понимание поверхностного натяжения. Измерение значения поверхностного натяжения полученных полимеров на основе гидролизованного полиакриламида и жирных кислот показывают, что в присутствии высокомолекулярных поверхностно-активных веществ на поверхности раздела фаз вода-воздух понижение поверхностного натяжения воды

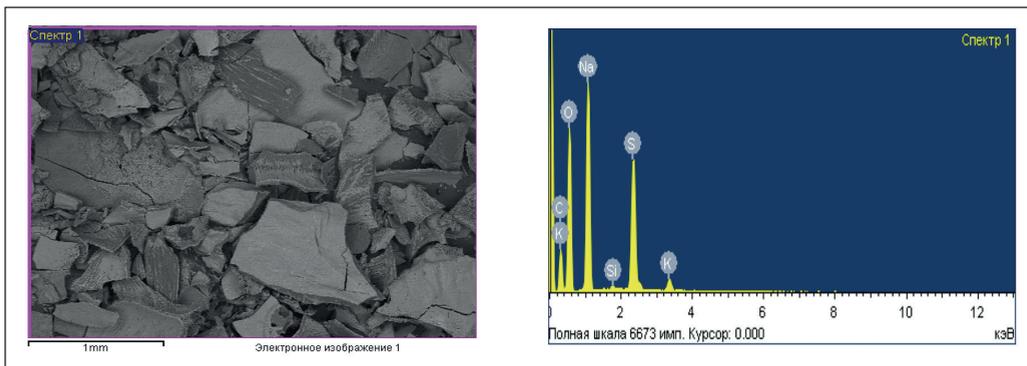


Рисунок 4 – Элементный состав полимера акриламида с помощью жирных кислот госсиполовой смолы и дальнейшей шшивкой в присутствии персульфата калия и серноватисто-кислого натрия

объясняется способностью макромолекул ориентироваться и ассоциироваться в адсорбционном слое [5].

Проведенные исследования показали, что поверхностное натяжение растворов полимерных реагентов (рисунк 6) уменьшается с повышением концентрации. Это, видимо, обусловлено различным содержанием поверхностно-активных звеньев.

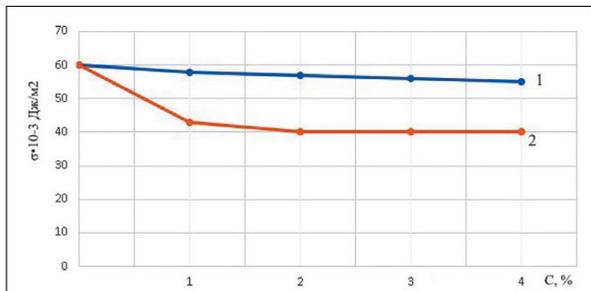


Рисунок 6 – Изотермы поверхностного натяжения в зависимости от концентрации водных растворов полиакриламида (1) и модифицированного полиакриламида в присутствии жирных кислот госсиполовой смолы (2)

Заключение. Таким образом, результаты исследований показывают наличие межмолекулярных взаимодействий при получении комплексов ПАВ на основе гидролизованного ПАА госсиполовой смолы и в присутствии персульфата калия и серноватисто-кислого натрия которые проявляют свойства полифункциональных ПАВ.

Для оценки эффективности, разработанные высокомолекулярные полимерные ПАВ, были протестированы на установке исследования кернов УИК-С (2) в экспериментальных лабораторных условиях (на геологической модели имитирующих нефтяных скважин) (рисунк 1).

Далее синтезированный модифицированный ПАА с добавлением жирных кислот госсиполовой смолы был протестирован на образцах горных пород (кернах) с помощью установки исследования кернов УИК-С(2) (рисунк 7). Нефть, вода и полимерный раствор закачивались при расходе 0,1 см³/мин. Эксперимент проводился при комнатной температуре.

Пористость образца была измерена путем насыщения его водой после вакуумирования и равна 22 %. Проницаемость образца по воде при 100%. Водонасыщенность была измерена путем фильтрации воды через образец на расходах 0,1, 0,25 и 0,5 см³/мин (таблица 1).

Таблица 1 – Водонасыщенность при расходах 0.1, 0.25 и 0.5 см³/мин

Расход, см ³ /мин	Давление на входе, МПа	Давление в центре, МПа	Температура, С	Проницаемость, мД	Средняя проницаемость, мД
0.5	0.184	0.091	28	2.4	2.15
0.25	0.105	0.045	28	2.14	
0.1	0.047	0.023	29	1.91	

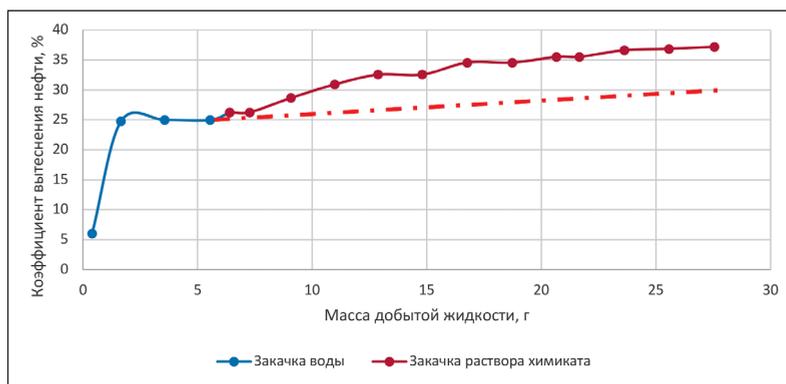


Рисунок 7 – Коэффициент вытеснения нефти в зависимости от добытого объема жидкости

На приведенном графике (рисунок 7) показано изменение коэффициента вытеснения нефти в зависимости от массы добытой жидкости при закачке воды и 0,4% концентрированного раствора полимерного реагента в керн. Как можно видеть из графика, закачка раствора полимерного реагента позволила увеличить коэффициент вытеснения нефти на 6 – 7%.

Выводы. Таким образом, на основании экспериментальных данных определены оптимальные условия получения полимерного состава на основе модифицированного ПАА в присутствии жирных кислот госсиполовой смолы, персульфата калия и серноватисто-кислого натрия для повышения нефтеотдачи пласта. Полученные данные позволят более эффективно моделировать процесс вытеснения остаточной высоковязкой нефти из неоднородно-пористой среды. Исследовано влияние температуры, концентрации, pH среды, степени минерализации воды на процесс получения полимерного реагента в композитных дисперсных системах.

Установлено, что синтезированный полимерный состав на основе модифицированного ПАА в присутствии госсиполовой смолы, персульфата калия и серноватисто-кислого натрия имеет достаточно удовлетворительную устойчивость в условиях высокой температуры и минерализации пластовых вод.

Полученный композиционный полимерный состав в лабораторных условиях при вытеснении нефти Кумкольского месторождения даёт наилучшие результаты, то есть закачка раствора полимерного состава позволила увеличить коэффициент вытеснения нефти на 8%. Данный состав может быть рекомендован для использования его на месторождениях нефти с высоким содержанием парафинистых соединений. 🌐

ЛИТЕРАТУРА

- Otarbaev N.Sh., Kapustin V.M., Nadirov K.S., Bimbetova G.Zh., Zhantasov M.K., Nadirov R.K. New potential demulsifiers obtained by processing gossypol resin // Indonesian Journal of Chemistry. – 2019. – №19. – P. 959 - 966.
- Патент на изобретение № 33156. Способ получения порошкообразного реагента для буровых растворов / Авторы. Оpubл. 01.10.2018.
- Tiwari A., Sharma N.M., Manickavasagam C., Fartiyal P. Production Optimisation in Mature Fields // Society of Petroleum Engineers. – 2015. doi:10.2118/178090-MS.

- 4 I.J.Lakatos, J.Lakatos-Szabo, G.Szentes, A.Vago, Zs.Karaffa, T.Bodi, New Alternatives in Conformance Control: Nanosilica and Liquid Polymer Aided Silicate Technology. -Paper SPE-174225-MS, SPE European Formation Damage Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, Budapest, Hungary, 2015. №8(4), -P.711.
- 5 B.Brattekås, A.Graue, R. S.Seright. Low Salinity Chase Waterfloods Improve Performance of Cr(III)-Acetate HPAM Gel in Fractured Cores. -Paper SPE-173749-MS, SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, 13-15 April, The Woodlands, Texas, USA, 2015. №17, -P.618-625.
- 6 K.Skrettingland, N.H.Giske, J.-H.Johnsen, A.Stavland, Snorre In-depth Water Diversion Using Sodium Silicate - Single Well Injection Pilot. -Paper SPE-154004-MS, SPE Improved Oil Recovery Symposium, 14-18 April, Tulsa, Oklahoma, USA, 2012. №21, -P.715-719.
- 7 A.Stavland, H.C.Jonsbraten, O.Vikane, K.Skrettingland, H.Fischer. In-Depth Water Diversion Using Sodium Silicate on Snorre - Factors Controlling In-Depth Placement. -Paper SPE-143836-MS, SPE European Formation Damage Conference, 7-10 June, Noordwijk, The Netherlands, 2011, №17, -P.539.
- 8 Enhancing Polymer Flooding.-Performance 30 Years of Experience in EOR, SNF Floerger, 2012. №7, -P.541.
- 9 R. Tabary, B. Bazin, Advances in chemical flooding, -IFP OAPEC Joint Seminar "Improved Oil Recovery (IOR) Techniques and Their Role In Boosting The Recovery Factor", Rueil-Malmaison, France, 2007. -P.82
- 10 R. Seright, R. Lane, R. Sydansk, A strategy for attacking excess water production, -SPE Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference, Society of Petroleum Engineers, 2001. -P.97
- 11 F. Civan, A. Al-Ibadi, Experimental Investigation and Correlation of Thermal Effects on Near-Wellbore Formation Treatment by Gel Particles, SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, Society of Petroleum Engineers, 2013. <https://doi.org/10.2118/153557-PA>
- 12 S. Scevola, G. Nicoletti, F. Brenta, P. Isernia, M. Maestri, A. Faga, Allogenic platelet gel in the treatment of pressure sores: a pilot study. -International wound journal №7(3), 2010.-P.184-190, doi: 10.1111/j.1742-481X.2010.00671.x
- 13 N.N.S. Topguder, A Review on Utilization of Crosslinked Polymer Gels for Improving Heavy Oil Recovery in Turkey, - SPE 131267, 2010. DOI:10.2118/169734-MS
- 14 T.E. Lara-Ceniceros, G. Cadenas-Pliego, C.C. Rivera-Vallejo, R.E.D. de León-Gómez, A. Coronado, E.J. Jiménez-Regalado, Synthesis and characterization of thermo-insensitive, water-soluble associative polymers with good thickening properties at low and high temperatures. -Journal of Polymer Research, № 21(7), 2014.-P.1-12.
- 15 Y. Chang, C.L. Mc.Cormick, Water-soluble copolymers. Effect of the distribution of the hydrophobic cationic monomer dimethyldodecyl (2-acrylamidoethyl) ammonium bromide on the solution behavior of associating acrylamide copolymers, --Macromolecules №26(22), 1993.-P.6121-6126, <https://doi.org/10.1021/ma00074a038>