

УДК 622.24.063.2; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-5.08>

<https://orcid.org/0000-0002-6466-6317>

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

<https://orcid.org/0000-0002-7113-3076>

ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ



Ж.К. АРТЫКОВА,
pHД докторант кафедры
«Технология неорганических
и нефтехимических
производств»,
articova@mail.ru



С.А. САКИБАЕВА,
к.т.н., профессор кафедры
«Технология неорганических
и нефтехимических
производств»,
tngp2013@mail.ru

К.С. НАДИРОВ д.х.н., профессор кафедры «Нефтегазовое дело», nadirovkazim@mail.ru

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

Приведены результаты экспериментальных данных по получению композиционного термоустойчивого реагента для буровых растворов, включающего модифицированный сополимер на основе полиакрилонитрила (ПАН, методом гидролиза в присутствии смеси гидроксида натрия) и винилсульфоновой кислоты.

Получен термостабильный композиционный реагент к поливалентным катионам, который снижает фильтрацию, улучшает противознозные свойства глинистых суспензий. Термическая устойчивость синтезированных водорастворимых полимеров, определялась по результатам термогравиметрических испытаний, которые проводили на дериватографе.

Подобраны соотношения мономеров и условий модификаций, что обеспечивает высокую конверсию мономеров, а также увеличивает выход конечного продукта. Синтезированный полимер акрилонитрила в присутствии жирных кислот госсиполовой смолы и серной кислоты в интервале pH=3,5-5,5, с последующей модификацией. Синтезированный водорастворимый полимер по всей структуре имеет дифильное строение, макромолекулы, которого содержат гидрофобную и гидрофильную части. Полученный полимер

способен адсорбироваться и понижать межфазную свободную энергию, что позволяет отнести их к высокомолекулярным поверхностно-активным веществам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: буровые растворы, реологические свойства, композиционные материалы, эмульгатор-стабилизатор, полиакрилонитрил.

БҰРҒЫЛАУ ЕРІТІНДІЛЕРІ ҮШІН СИНТЕЗДЕЛГЕН СУДА ЕРІТІН ПОЛИМЕРЛЕРДІҢ ТЕРМИЯЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

Ж.К. АРТЫКОВА, «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының PhD докторанты, articova@mail.ru

С.А. САКИБАЕВА, техника ғылымдарының кандидаты «Бейорганикалық және мұнай-химия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры, tngp2013@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

Бұл мақалада полиакрилонитрилге негізделген модификацияланған сополимерді (ПАН, натрий гидроксиді қоспасының қатысуымен гидролиз әдісімен) және винилсульфон қышқылын қамтитын бұрғылау ерітінділері үшін композициялық ыстыққа төзімді реагент алу бойынша эксперименттік деректердің нәтижелері келтірілген. Поливалентті катиондарға термостабильді композициялық реагент алынды, ол сүзуді азайтады, сазды суспензиялардың тозуға қарсы қасиеттерін жақсартады. Синтезделген суда еритін полимерлердің термиялық тұрақтылығы дериватографта жүргізілген термогравиметриялық сынақтардың нәтижелері бойынша анықталды. Мономерлер мен модификация шарттарының арақатынасы таңдалады, бұл мономерлердің жоғары конверсиясын қамтамасыз етеді, сонымен қатар соңғы өнімнің шығымдылығын арттырады. Акрилонитрилдің синтезделген полимері және госсипол шайыры мен күкірт қышқылының май қышқылдарының қатысуымен $RH=3,5-5,5$ аралығында, кейіннен модификацияланады. Синтезделген суда еритін полимер бүкіл құрылымда дифильді құрылымға ие, олардың макромолекулаларында гидрофобты топ және гидрофильді бөлік бар. Олар адсорбциялауға және фазааралық бос энергияны төмендетуге қабілетті, бұл оларды жоғары молекулалық беттік белсенді заттарға жатқызуға мүмкіндік береді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: бұрғылау ерітінділері, реологиялық қасиеттері, композициялық материалдар, эмульгатор-тұрақтандырығыш, полиакрилонитрил.

THERMAL STABILITY OF SYNTHESIZED WATER-SOLUBLE POLYMERS FOR DRILLING FLUIDS

Zh. ARTYKOVA, PhD doctoral student of the department of «Technology of inorganic and petrochemical industries», articova@mail.ru

S. SAKIBAYEVA, Candidate of technical sciences, professor of the department of «Technology of inorganic and petrochemical industries», tngp2013@mail.ru

K. NADIROV, Doctor of chemical sciences, professor of the department «Oil and gas business», nadirovkazim@mail.ru

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

This article presents the results of experimental data on the preparation of a composite heat-resistant reagent for drilling fluids, including a modified copolymer based on polyacrylonitrile (PAN, by hydrolysis in the absence of a mixture of sodium hydroxide) and vinylsulfonic acid. A thermally stable composite reagent to polyvalent cations has been obtained, which reduces filtration and improves the anti-wear properties of clay suspensions. The thermal stability of the synthesized water-soluble polymers was determined by the results of thermogravimetric tests performed on a derivatograph. The ratio of monomers and modification conditions are selected, this ensures a high conversion of monomers, and also increases the yield of the final product. The synthesized polymer of acrylonitrile and in the presence of fatty acids of gossypol resin and sulfuric acid in the pH range = 3.5-5.5, with subsequent modification. The synthesized water-soluble polymer has a diphilic structure throughout the structure, the macromolecules of which contain a hydrophobic group and a hydrophilic part. They are able to adsorb and lower the interfacial free energy, which allows them to be classified as high-molecular surfactants.

KEY WORDS: drilling fluids, rheological properties, composite materials, emulsifier-stabilizer, polyacrylonitrile

Введение. Синтез композиционных сильнокислотных акриловых полиэлектролитов устойчивых к солевой агрессии и температуры для бурения глубоких скважин в осложненных условиях является единственным путем перспективного решения проблемы

Известно, что создание термо-солеустойчивых композиционных полимерных стабилизаторов для регулирования реологических свойств буровых растворов может быть достигнуто путем использования метода сополимеризации сильнокислотных мономеров или введение в полимерную цепь сульфо- и гидрофобных групп. Одним из методов получения таких полимеров является сополимеризация акрилонитрила с мономерами соответствующей природы (винилсульфоновой кислоты). В отличие от слабых кислот, к числу которых относятся акриловая и метакриловая кислоты, влияние характера межмолекулярных взаимодействий на радикальную полимеризацию сильных непердельных кислот изучено в значительно меньшей степени. В литературе в основном имеются данные сополимеризации акриламида и винилсульфоновой кислоты, а также стиролсульфоокислоты и ее солей [1-4].

В связи с этим изучены основные закономерности сополимеризации акрилонитрила и винилсульфоокислоты или введение в основную полимерную цепь сульфоокислотных групп методом сульфирования слабокислотных акриловых полимеров. Следовательно, исследование свойств водных растворов полимеров для регулирования реологических и фильтрационно-технологических свойств, является весьма актуальной задачей.

Применение таких методов позволяет созданию технологии получения полифункциональных композиционных полимерных стабилизаторов, устойчивых к солевой агрессии при различных значениях температур. Кроме того, изменение состава сополимеров содержащих слабо и сильнокислотные функциональные группы, а также применение методов полимераналогичных превращении, позволяет получать новые полифункциональные композиционные полимерные стабилизаторы, состоящие из макромолекул различной величины, структуры и состава. Необходимо отметить, что в отличие от слабых кислот, к числу которых относятся акриловые, влияние характера межмолекулярных взаимодействий на радикальную полимеризацию сильных непердельных кислот, как было отмечено вышеисследованы в меньшей степени. Каждый

из этих составов обуславливает свойства полифункциональных композиционных полимерных стабилизаторов за счет усиления синергетического эффекта в системе.

Целью проведения данной работы является экспериментальное исследование термической устойчивости синтезированных нами ранее водорастворимых полимеров (ВРП) для буровых растворов.

Методы и исследования. Термическую устойчивость синтезированных ВРП, определяли по результатам термогравиметрических испытаний, которые проводили на дериватографе системы Ф. Паулик, Н. Паулик, А. Эрдей. Метод основан на измерении тепловых эффектов в зависимости от температуры термообработки при скорости нагрева 5°C в мин [5-7].

Результаты и обсуждение. На *рисунках 1-5* приведены дериватограммы, синтезированных сульфокислотных ВРП и стадии термолиза полимеров.

Для исследования термостойкости предлагаемых буровых растворов были выбраны образцы проб с 15%-ных водных дисперсий монтмориллонитовых глин месторождения Дарбаза Туркестанская область, в присутствии синтезированных сульфокислотных ВРП, исследования проводились в пределах от концентрации в системе от 0,01 до 1,0 %. Результаты исследования динамической термообработки показывают, что все образцы, подвергнутые деструкции обладают в основном двумя температурными областями. При этом пробы (*рисунок 1* – 0,01 %, *рисунок 2* – 0,25 %, и *рисунок 4* – 0,5%) имеют аналогичный характер, т.е. имеют ярко выраженный эндотермический эффект, который характеризует удаление поверхностной и гидратной влаги, что свидетельствует об интенсивности кривой потери веса (TG)–70°C - 220° С - 14,1% (*рисунок 6*) и 60°C -210° С – 15 % (*рисунок 3*).

Второй эндоэффект при температуре 400° С, связям, по-видимому, с полиморфными превращениями кремнистых и алюминатных фаз.

Расплавчатые экзотермические эффекты в области 280 – 350° С характерны для процесса выгорания летучих и других органических соединений, потери веса составляет (TG) –220°C- 830 °С – 13,4 % (*рисунок 1*) и 60°C -210°C – 15 % (*рисунок 3*), а при 450° С и выше незначительные экзоэффекты разложения сернистых соединений потери веса (TG) -830 °С – 880 °С – 5,1 % (*рисунок 1*) и 770°C - 890°C – 13% (*рисунок 3*).

Проба 15% водных дисперсий монтмориллонитовых глин месторождения Дарбаза в присутствии 0,1% синтезированного сульфокислотного ВРП (*рисунок 2*) характеризуется тремя эндоэффектами и двумя экзоэффектами. Эндоэффект в области 120 – 130° С характеризуется ярко выраженным изменением веса. При этом потери веса составляют (TG) –80°C -220 °С – 14,6 % что свидетельствует о процессе дегидратации и удалении поверхностной и кристаллогидратной влаги.

Незначительные ступенчатые эндоэффекты в области 320 – 350° С, характерны полиморфным превращениям алюмосиликатных фаз. Третья кривая эндоэффекта в области 830 – 850° С характерна для декарбонизации магний – кальций карбонатных соединений. При этом потери веса составили (TG) – 220°C- 860°C – 56 %

Ярко выраженный экзоэффект в области 400° С связан с выгоранием органических и летучих соединений, а слабоинтенсивный экзоэффект в области 900° С, по-видимому, характеризует деструктуризацию серосодержащих минералов, потери веса составили (TG) – 860°C – 890°C – 12,2%.



Рисунок 1 – ДТГ 15% водных дисперсий монтмориллонитовых глин месторождения Дарбаза в присутствии 0,01%-го синтезированного сульфокислотного ВРП

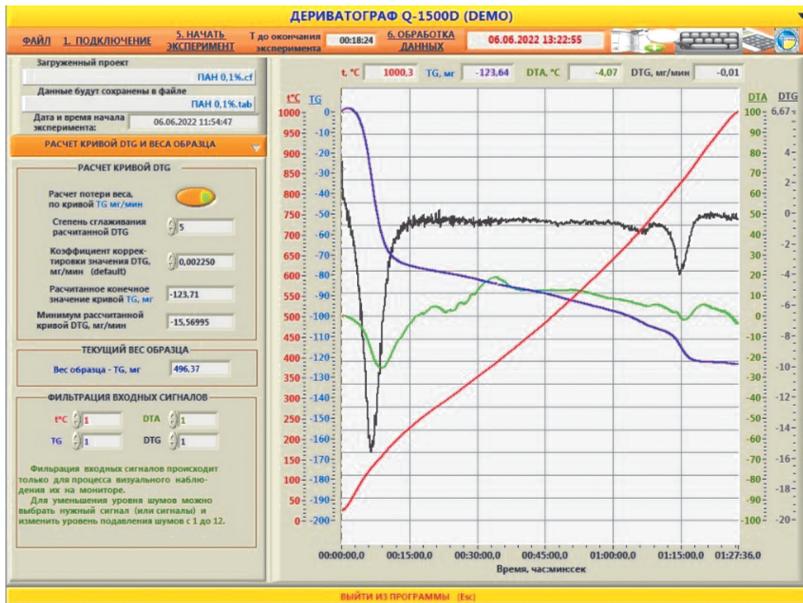


Рисунок 2 – ДТГ 15% водных дисперсий монтмориллонитовых глин месторождения Дарбаза в присутствии 0,1% синтезированного сульфокислотного ВРП

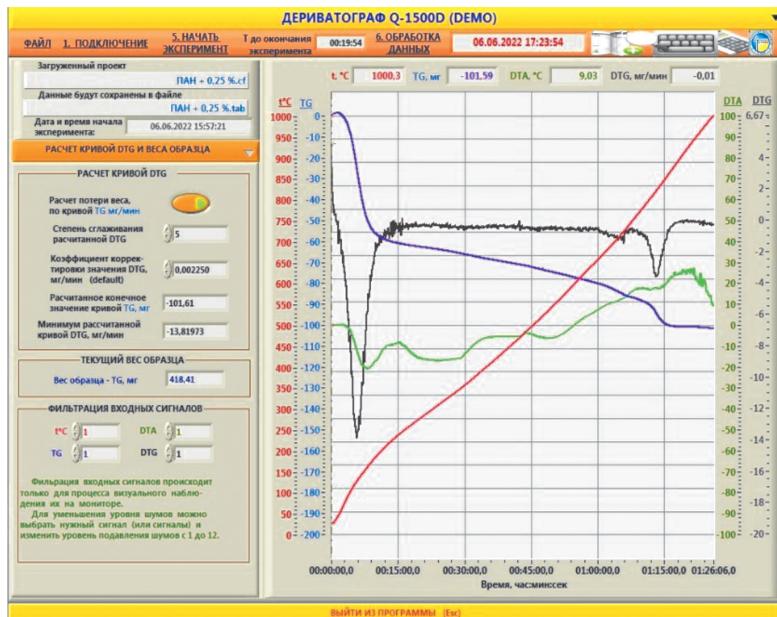


Рисунок 3 – ДТГ 15 % водных дисперсий монтмориллонитовых глин месторождения Дарбаза в присутствии 0,25 % синтезированного сульфокислотного ВРП

Проба 15% водных дисперсий монтмориллонитовых глин месторождения Дарбазы, в присутствии 0,5% синтезированного сульфокислотного ВРП (рисунок 2) имеет ярко выраженный эндоэффект, который характеризует удаление поверхностной и гидратной влаги, что свидетельствует об интенсивности кривой потери веса (TG) .– 70°C -220°C – 15 %. Второй эндоэффект при 400 °C полиморфные изменения кремнистых и алюмосиликатных фаз. Расплывчатые экзоэффекты в области 280-350 °C характерны для процесса выгорания летучих и органических соединений, потери веса (TG) .–220°C- 770 °C – 56%, а при 450 °C и выше незначительные экзоэффекты разложения сернистых соединений, потери веса (TG) .–770°C - 860°C – 12%.

Проба 15% водных дисперсий монтмориллонитовых глин месторождения Дарбазы, в присутствии 1% синтезированного сульфокислотного ВРП характеризуется четырьмя расплывчатыми эндоэффектами и тремя экзоэффектами слабоинтенсивности. Эндоэффекты при 130-140 °C, а также при 830 °C характеризуются значительной потерей веса анализируемой пробы. При чем первый характеризует удаление кристаллогидратной влаги, потери веса составляет (TG) – 60 °C -220°C – 13 %, а второй разложение карбонатных соединений, потери веса (TG) – 220 °C- 770 °C – 52 % и трети потери веса (TG) – 3 – 750 °C – 880 °C – 15%.

Промежуточные эндоэффекты при 330 и 560 °C, по-видимому, характеризуют полиморфные превращения алюмосиликатных минералов. Экзоэффект при 250 °C свидетельствует о выгорании легколетучих органических соединений экзоэффект при 400 – 450 °C полиморфные изменения алюминий – кремний содержащих минералов, а при 720 – 750 °C связан с выгоранием серосодержащих компонентов.



Рисунок 4 – ДТГ 15% водных дисперсий монтмориллонитовых глин месторождения Дарбаза в присутствии 0,5 % синтезированного сульфокислотного ВРП

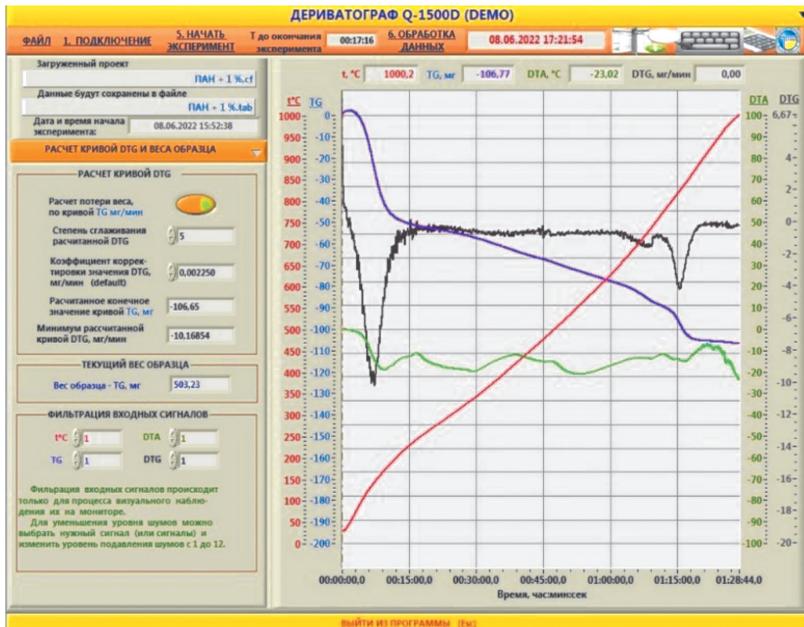


Рисунок 5 – ДТГ 15% водных дисперсий монтмориллонитовых глин месторождения Дарбаза в присутствии 1,0 % синтезированного сульфокислотного ВРП

Таким образом изучение термостойкости предлагаемых буровых растворов 15%-ных водных дисперсий монтмориллонитовых глин месторождения Дарбаза, в зависимости от концентрации 0,01 - 1,0 % синтезированного сульфокислотного ВРП можно отнести к термостабильным. При этом имеется незначительное изменение, т.е. появление эндоэффектов в различной температуре, которые видимо, связаны с образованием различной структуры: в начальном составе от 0,01 до 0,25 % агрегативной образованиями (рисунки 1-3) и 0,25 до 1% с уплотнением структуры получаемого продукта (рисунок 4,5) [9].

Полученные данные по термической устойчивости методом ДТА подтверждаются результатами гидротермальной обработки 15%-ной суспензий гидрослюди-сто-монтмориллонитовой глины Дарбазинского месторождения в присутствии ВРП синтезированного на основе акрилонитрила и винисульфоновой кислоты (САНВСК) (С=0,5%), проведенной в лабораторном автоклаве при температуре 200-220 °С и давлении 10-20 атм. в течении шести часов.

Полученный состав, как показали предварительные данные, придает раствору смазочные свойства. Для определения сравнительной эффективности разработанной смазочной добавки бурения САНВСК выбраны наиболее распространенные дисперсные системы буровых долотных смазок: масло промышленное МС-20; вапор, масло цилиндрическое-52 и нигрол.

Их основные физико-химические характеристики показывают, что по сравнению с указанными маслами САНВСК обладает наиболее высоким молекулярным весом, а также имеет достаточно высокую предельную температуру, при которой она используется.

При изучении триботехнических свойств смазочных материалов оценивались противоизносные и противозадирные свойства их по схеме «скольжения» на машине трения американской фирмы «Бароид».

Исследование заключалось в определении коэффициента трения скорости изнашивания долотной стали 16ХНМЗА в среде изучаемых смазочных материалов при различных удельных нагрузках.

Определение зависимости скорости изнашивания стали от удельной нагрузки показало, что синтезированная САНВСК обладает противоизносными свойствами не уступает чем масло цилиндрическое-52, вапор, МС-20 и нигрол. Это может быть след-

Таблица 1 – Сравнительная зависимость коэффициента трения от удельной нагрузки в среде различных смазочных материалов и САНВСК

Смазочный материал	Значение коэффициента трения при удельной нагрузке, МПа		
	20	60	95
Нигрол	0,97	0,068	0,054
Цилиндрическое-52	0,089	0,058	0,048
Вапор	0,087	0,55	0,044
МС-20	0,085	0,53	0,045
САНВСК	0,07	0,51	0,055

ствием как наличия в ее составе полярных групп, так и соединений. предрасположенных к химическому модифицированию трибополимеризации.

Выполненные исследования также показали, что по антифрикционным свойствам масла и САНВСК существенно не отличаются. В *таблице 1* приведены величины сравнительных коэффициентов трения для изучаемых смазочных материалов.

При действии смазки на трущиеся поверхности образуются адсорбционные мономолекулярные смазочные пленки, ослабляющие силу взаимодействия трущихся частей. В результате наблюдается снижение коэффициента трения ($K_{тр}$), который теоретически определяется отношением силы трения к нагрузке W ($K_{тр}=F/W$) [10].

Заключение и выводы. Таким образом, исследование термостойкости предлагаемых буровых растворов 15%-ных водных дисперсий монтмориллонитовых глин месторождения Дарбаза, в зависимости от концентрации (0,01 - 1,0%) синтезированного сульфокислотного ВРП показывает, что их можно отнести к термостабильным растворам. При этом имеется незначительное изменение, т.е. появление эндоэффектов при различной температуре, которые, видимо, связаны с образованием различной структуры: в начальном составе при содержании 0,01 до 0,25 % агрегативными образованиями (*рисунки 1-3*) и 0,25 до 1% с уплотнением структуры получаемого продукта. Полученные результаты по термической устойчивости, определенные методом ДТА подтверждают результаты гидротермальной обработки 15%-ной суспензий гидрослюдисто-монтмориллонитовой глины Дарбазинского месторождения в присутствии ВРП САНВСК. Синтезированный полимер САНВСК обладает более высокими противозносными свойствами и может быть рекомендован для использования его при бурении скважин на жидкие и твердые полезные ископаемые в сложных геологических условиях. 

Данные исследования были проведены при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программы "Жас Ғалым" АР14972915 "Разработка технологии получения термо-солеустойчивых композиционных полимерных стабилизаторов буровых растворов для бурения глубоких скважин".

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кистер Э.Г. Химические обработки буровых растворов. – М.: Недра, 2012. – С. 159-190. [Kister E.G. Khimicheskiye obrabotki burovyykh rastvorov. M.: Nedra, 2012. – S. 159-190]
- 2 Ахмедов К.С., Сатаев И.К. Водорастворимые полиэлектролиты для бурения. – Т.: Фан, 2013. – 165 с. [Akhmedov K.S., Satayev I.K. Vodorastvorimyye polielektrolity dlya bureniya. T.: Fan, 2013. – 165 s].
- 3 Надиров К.С., Бимбетова Г.Ж. Аширбаев Х.А. Орынбасаров А.К. Калменов М.У., Зият А.Ж. Шуханова Ж.К. Экстракция жирных кислот из смеси компонентов госсиполовой смолы в вибромагнитном экстракторе // Materialy XI mezinardnive decko- konference «Aktualnivy mozenostivedy, 2015».- Dil 6. Lekarstvi. Biologickevedy. Chemie a chemicka technjilgie. Ekologie. Zemedelstvi.:Praga. Publishing House «Education and Science» С.68-72. [Nadirov K.S., Bimbetova G.Zh. Ashirbayev KH.A. Orynbasarov A.K. Kalmenov M.U., Ziyat A.Zh. Shukhanova Zh.K. Ekstraktsiya zhirnykh kislot iz smesi komponentov gossipolovoy smoly v vibromagnitnom ekstraktore // Materialy XI mezinardnovedetsko-konferentsii «Aktual'niv ymozenovedeniya - 2015». - Dil Lekarstva. Biologicheskiye kevedy.

- Khimicheskaya i khimicheskaya tekhnika. Ekologiya. Zemedel'stva.:Praga. Izdatel'stvo «Obrazovaniye i nauka» С.68-72].
- 4 Надиров К.С., Отарбаев Н.Ш. Надиров Р.К., Капустин В.М., Садырбаева А.С., Бимбетова Г.Ж. Выделение свободных жирных кислот из хлопкового гудрона // News of the academy of sciences of the republic of Kazakhstan kazakh national research technical university named after K. I. Satpayev series of geology and technical sciences 4 (436) july - august 2019. P.70-78. [K.S. Nadirov, N. SH. Otarbayev R. K. Nadirov V. M. Kapustin A. S. Sadyrbayeva G. ZH. Bimbetova. Vydeleniye svobodnykh zhirnykh kislot iz khlopkovogo gudrona// Izvestiya akademii nauk Respubliki Kazakhstan kazakhstanskiy natsional'nyy issledovatel'skiy tekhnicheskiiy universitet im. K.I.Satpayeva seriya geologo-tekhnicheskikh nauk 4 (436) iyul' - avgust 2019. S.70-78].
 - 5 Надиров К.С., Бимбетова Г.Ж., Аллавердиев К.Ч., Джусенов А.У. Свойства промывочных жидкостей, полученных на основе хлопковых соапстоков // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Экология и нефтегазовый комплекс» посвященной 85летию академика НАН РК Диарова М.Д. 2018.-С. 409-414. [Nadirov K.S., Bimbetova G.ZH., Allaverdiyev K.CH., Dzhusenov A.U. Svoystva promyvochnykh zhidkostey, poluchayemykh na osnove khlopkovykh soapstokov // Sbornik mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ekologiya i neftegazovyy kompleks» posvyashchennoy 85-letiyu akademiki NAN RK Diarova M.D. 2018. – S. 409-414].
 - 6 Патент на изобретение №35935 РК. Способ получения композиционного реагента для буровых растворов / Артыкова Ж.К., Бейсенбаев О.К., Надиров К.С. Опубл. 11.11.2022. [Patent na izobreteniyе №35935 RK. Sposob polucheniya kompozitsionnogo reagent dlya burovyykh rastvorov / Artykova Zh.K., Beysenbayev O.K., Nadirov K.S. Opubl. 11.11.2022].
 - 7 Бондаренко В.П., Надиров К.С., Голубев В.Г., Садырбаева А.С., Колесников А.С. Исследование реагента-эмульгатора для приготовления обратных водонефтяных эмульсий применяемых для глушения скважин // Нефтяное хозяйство. – 2017. – №1. - С. 55-58. [Bondarenko V.P., Nadirov K.S., Golubev V.G., Sadyrbayeva A.S., Kolesnikov A.S. Issledovaniye reagenta-emul'gatora dlya prigotovleniya obratnykh vodoneftyanykh emul'siy dlya glusheniya skvazhin // Neftyanoye khozyaystvo. – 2017. – №1. - S. 55-58].
 - 8 Рязанов Я.А. Справочник по буровым растворам. – М.: Недра, 2014. – 386 с. [Ryazanov YA.A. Spravochnik po burovym resheniyam. – М.: Nedra, 2014. – 386 s].
 - 9 Нечаева О.А., Живаева В.В. Изучение параметров гель-раствора для бурения соледержащих и неустойчивых горных пород // Наука производству. Бурение нефть. – 2009. – №10. – С. 33-35. [Nechayeva O.A., Zhivayeva V.V. Kharakteristika parametrov gel'-rastvora dlya bureniya solesoderzhashchikh i neustoychivykh gornyykh porod // Nauka proizvodstva. Bureniye nefti. – 2009. – №10. – S. 33-35].
 - 10 Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. – М.: Мир, 1965. – 216 с. [Nakanisi K. Infrakrasnyye spektry i stroyeniye pishchevykh soyedineniy. – М.: Mir, 1965. – 216 s.].