

УДК 665.7.038.64; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-1.19>

<https://orcid.org/0000-0001-9045-0838>

<https://orcid.org/0009-0002-9565-9651>

<https://orcid.org/0000-0003-1859-5551>

<https://orcid.org/0000-0001-5633-1640>

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

## КОМПОЗИЦИОННАЯ ДЕПРЕССОРНАЯ ПРИСАДКА НА ОСНОВЕ ПОЛИИЗОЛЕФИНОВ ДЛЯ ПАРАФИНИСТОЙ НЕФТИ



**Ж.К. НАДИРОВА<sup>1</sup>**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры  
«Нефтегазовое дело»,  
[zhanna.nadirova@inbox.ru](mailto:zhanna.nadirova@inbox.ru)



**А.Р. БЕГИМОВА<sup>1</sup>**,  
докторант кафедры  
«Нефтегазовое дело»,  
[as\\_86\\_ar@mail.ru](mailto:as_86_ar@mail.ru)



**А.Ж. АЙМЕНОВ<sup>2</sup>**,  
PhD, начальник НПС 10  
Восточное управление  
операторных услуг  
АО «КазТрансОйл»,  
[askar.aimenov@mail.ru](mailto:askar.aimenov@mail.ru)

**Г.Ж. БИМБЕТОВА<sup>1</sup>**, кандидат технических наук, профессор кафедры «Нефтегазовое дело»,  
[gulmnaz@mail.ru](mailto:gulmnaz@mail.ru)

**К.С. НАДИРОВ<sup>1</sup>**, доктор химических наук, профессор кафедры «Нефтегазовое дело»,  
[nadirovkazim@mail.ru](mailto:nadirovkazim@mail.ru)

<sup>1</sup>ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. АУЭЗОВА,  
Республика Казахстан, 160012, Шымкент, проспект Тауке-хана, 5

<sup>2</sup>АО «КАЗТРАНСОЙЛ»,  
Республика Казахстан, область Абай 566 км нефтепровода Атасу-Алашанькоу

*В статье на основе экспериментальных данных показана возможность применения фракции вакуумной дистилляции ненасыщенных жирных кислот хлопкового соапстока, главным образом, с числом атомов углерода C16-C18 для получения композиционной депрессорной присадки к высокопарафинистой нефти. Целью настоящей работы являлось получение эффективного композиционного состава для снижения температуры застывания нефти на основе фракции ненасыщенных жирных кислот, полученных вакуумной дистилляцией и полиизобутилена.*

*Предполагается, что снижение температуры застывания нефти связано с тем фактором, что тонкие кристаллы относительно большой площади (пластинчатые кристаллы) легче образуют пространственный каркас, чем мелкие кристаллы, которые являются более компактными. Алкенилсукцинимид в комплексе с фракцией линолевой и олеиновой*

кислотпроявляет депрессорные свойства в нефти с высоким содержанием парафинов. На основании спектральных характеристик сделано предположение о строении образовавшегося комплекса, обладающего депрессорными свойствами, показана динамика накопления асфальтосмолопарафинистых отложений (АСПО) из нефти Ащысайского месторождения в присутствии композиционной присадки на основе жирных кислот и алкенилсукцинимид (ЖКСА). Было выявлено, что для улучшения совместимости с нефтью и повышения стабильности нефтяной системы является эффективным в состав депрессорной присадки введение 5-7% сивушного масла. Введение реагента «ЖКСА» в обезвоженную нефть от 50 ррт и выше повышает депрессорную активность, интенсивность которой увеличивается с повышением концентрации реагента. Исследована морфология образующихся кристаллов парафинов нефти месторождения Ащысай с добавлением реагента «ЖКСА», при этом наблюдалось уменьшение размеров кристаллов парафинов и изменение их формы.

Таким образом, на основании экспериментальных данных показано, что ненасыщенные жирные кислоты вакуумной дистилляцией являются ценным сырьем для получения композиционных депрессорных присадок к высокопарафинистой нефти.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нефть; линолевая кислота; олеиновая кислота; полиизобутилен; сивушное масло; депрессия; присадка; парафины.

## ПАРАФИНДІ МҰНАЙҒА АРНАЛҒАН ПОЛИИЗОЛЕФИНДЕР НЕГІЗІНДЕГІ КОМПОЗИЦИЯЛЫ ДЕПРЕССОРЛЫҚ ҚОСПА

**Ж.К. НАДИРОВА**<sup>1</sup>, техника ғылымдарының кандидаты, «Мұнайгаз ісі» кафедрасының доценті, [zhanna.nadirova@inbox.ru](mailto:zhanna.nadirova@inbox.ru)

**А.Р. БЕГИМОВА**<sup>1</sup>, «Мұнайгаз ісі» кафедрасының докторанты, [as\\_86\\_ar@mail.ru](mailto:as_86_ar@mail.ru)

**А.Ж. АЙМЕНОВ**<sup>2</sup>, PhD, ҚазТрансОйл АҚ Шығыс операторлық қызметтер басқармасының 10 МҚС бастығы, [askar.aimenov@mail.ru](mailto:askar.aimenov@mail.ru)

**Г.Ж. БИМБЕТОВА**<sup>1</sup>, техника ғылымдарының кандидаты, «Мұнайгаз ісі» кафедрасының профессоры, [gulmnaz@mail.ru](mailto:gulmnaz@mail.ru)

**К.С. НАДИРОВ**<sup>1</sup>, химия ғылымдарының докторы, «Мұнайгаз ісі» кафедрасының профессоры, [nadirovkazim@mail.ru](mailto:nadirovkazim@mail.ru)

<sup>1</sup>М.ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІ,  
Қазақстан Республикасы, 160012, Шымкент қ., Тәукехан даңғылы, 5

<sup>2</sup>«ҚАЗТРАНСОЙЛ АҚ»,  
Қазақстан Республикасы, Абай облысы, Атасу-Алашанькоу мұнай құбырының 566 км

Эксперименттік деректерге негізделген мақалада жоғары парафинді мұнайға арналған композициялы депрессорлық қоспаны алу мақсатында, мақта соапстоқының басты түрде көміртегі атомдарының саны C16-C18 болатын қанықпаған май қышқылдарын вакуумдық айдау фракциясын қолдану мүмкіндігі көрсетілген. Берілген жұмыстың мақсаты мұнайдың қатаю температурасын төмендету үшін вакуумдық айдау арқылы алынған қанықпаған май қышқылдарының фракциясы мен полиизобутилен негізінде тиімді композициялық құрам алу болып табылады.

Мұнайдың қатаю температурасының төмендеуі осы факторға байланысты деп болжанады, өйткені салыстырмалы түрде үлкен аумақтың жұқа кристалдары (пластиналдық кристалдар) ыңғайлы кіші, ұсақ кристалдарға қарағанда кеңістіктік каркастарын оңай құрайды.

Алкенилсукцинимид линоль және олеин қышқылдарының (ЖКСА) фракциясымен кешенде құрамында мөлшері жоғары парафинді мұнайда депрессорлық қасиеттерді көрсетеді. Спектрлік сипаттамалардың негізінде депрессорлық қасиетке иетүзілген кешеннің құрылымы туралы болжам жасалды, май қышқылдары мен алкенилсукцинимид (ЖКСА) негізіндегі композициялық қоспаның қатысуымен Ащысай кен орнының мұнайынан асфальттышайырлы парафинді шөгінділердің (АШПШ) жинақталу динамикасы көрсетілді. Мұнаймен үйлесімділікті

жақсарту және мұнай жүйесінің тұрақтылығын арттыру үшін ДҚ құрамына 5-7% сивуш майын енгізу тиімді екендігі анықталды. Сусыздандырылған мұнайға «ЖКСА» реагентін 50 ppm және одан жоғары мөлшерде енгізу реагент концентрациясының жоғарылауымен қарқындылығы артатын депрессорлық белсенділікті арттырады. Ащысай кен орнының мұнай парафиндерінің түзілген кристалдарының морфологиясы зерттелді, «ЖКСА» реагентін қоса отырып, парафин кристалдарының өлшемінің кішіреюі байқалды, олардың пішіні өзгерді.

Осылай, эксперименттік мәліметтер негізінде, вакуумдық айдаудың қанықпаған май қышқылдары жоғары парафинді мұнайға композициялы депрессорлық қоспалар алу үшін құнды шикізат болып табылатындығы көрсетілді.

**КІЛТТІК СӨЗДЕР:** мұнай; линольқышқылы; олеин қышқылы; полиизобутилен; сивуш-майы; депрессия; қоспа; парафиндер.

## COMPOSITE DEPRESSOR ADDITIVE BASED ON POLYOLEFINS FOR PARAFFIN OIL

**Zh.K. NADIROVA**<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, associate professor of "Oil and Gas Business" department, [zhanna.nadirova@inbox.ru](mailto:zhanna.nadirova@inbox.ru)

**A.R. BEGIMOVA**<sup>1</sup>, doctoral student of «Oil and gas business» department, [as\\_86\\_ar@mail.ru](mailto:as_86_ar@mail.ru)

**A.Zh. AIMENOV**<sup>2</sup>, PhD, Head of NPS 10 Eastern Management of Operator Services of JSC "KazTransOil", [askar.aimenov@mail.ru](mailto:askar.aimenov@mail.ru)

**G.ZH. BIMBETOVA**<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, professor of «Oil and gas business» department, [gulmnaz@mail.ru](mailto:gulmnaz@mail.ru)

**K.S.NADIROV**<sup>1</sup>, doctor of chemical sciences, professor of «Oil and gas business» department, [nadirovkazim@mail.ru](mailto:nadirovkazim@mail.ru)

<sup>1</sup>M. AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN STATE UNIVERSITY,  
5, Tauke Khan Avenue, Shymkent, Republic of Kazakhstan, 160012

<sup>2</sup>JSC «KAZTRANSOIL»,  
Republic of Kazakhstan, Abai region 566 km of the Atasu-Alashankou oil pipeline

*Based on experimental data, the article shows the possibility of using a fraction of vacuum distillation of unsaturated fatty acids of cotton soapstock, mainly with the number of carbon atoms C16-C18 to obtain a composite depressor additive to high-paraffin oil. The aim of this work was to obtain an effective composite composition based on the fraction of unsaturated fatty acids obtained by vacuum distillation and polyisobutylene to reduce the pour point of oil.*

*It is assumed that the decrease in the pour point of oil is associated with this factor, since thin crystals of a relatively large area (plate crystals) are easier to form a spatial framework than small crystals, which are more compact. Alkenylsuccinimide in combination with a fraction of linoleic and oleic acids exhibits depressive properties in oil with a high content of paraffins. Based on the spectral characteristics, an assumption is made about the structure of the formed complex with depressive properties, the dynamics of accumulation of asphalt-resin-paraffin deposits from the oil of the Ashchysayskoye field in the presence of a composite additive based on fatty acids and alkenylsuccinimide is shown. It was found that to improve compatibility with oil and increase the stability of the oil system, the introduction of 5-7% fusel oil into the composition of the depressor additive is effective. The introduction of the reagent into dehydrated oil from 50 ppm and above increases the depressive activity, the intensity of which increases with an increase in the concentration of the reagent. The morphology of the resulting paraffin crystals of the Ashchysai oil field was studied with the addition of a reagent, a decrease in the size of paraffin crystals was observed, their shape changed.*

*Thus, based on experimental data, it is shown that unsaturated fatty acids of vacuum distillation are a valuable raw material for the production of composite depressor additives to high-paraffin oil.*

**KEYWORDS:** oil; linoleic acid; oleic acid; polyisobutylene; fusel oil; depression; additive; paraffins.

**В**ведение. В настоящее время большинство добываемых нефтей Казахстанских месторождений Южно-Торгайской впадины являются парафинистыми и эмульсионными. В связи с этим транспортировка их по магистральным трубопроводам большой протяженности сопряжена с рядом трудностей [1-3].

На практике, нефть для транспортировки по трубопроводу при температуре 20°C, содержащая в своем составе более 6 % парафинов является трудно прокачиваемой [4,5]. Из-за кристаллизации парафинов и увеличения вязкости при трубопроводном транспорте нефти возникают определенные сложности. Как правило, при этом повышается давление в трубопроводе, увеличивается расход электроэнергии на оборудование прокачки и их износ, и, как следствие, уменьшается пропускная способность трубопровода. При эксплуатации магистрального трубопровода в зимний период, когда температура окружающей среды опускается до минус 25-30°C прокачиваемость нефти еще более осложняется из-за парафиновых соединений, которые откладываются непосредственно на внутренних стенках трубопроводов. Следствием этого является сужение поперечного сечения нефтепровода и снижение его производительности [5].

Для снижения вязкости нефти и увеличения пропускной способности нефтепровода применяется, главным образом, термическая обработка, которая позволяет транспортировать парафинистую нефть на определенные расстояния. Термообработка углеводородной системы приводит к растворению высокомолекулярных парафинов и ее гомогенизации, а при последующем охлаждении с определенной скоростью образуются кристаллы парафина, на которые сорбируются асфальтосмолистые вещества и препятствуют отложению на поверхности кристаллов новых слоев парафина. При этом вместо кристаллов парафина игольчатой формы образуются кристаллы пластинчатой формы. Наличие такой структуры позволяет природным поверхностно-активным веществам влиять на процесс кристаллизации в парафинистых углеводородных системах и участвовать в формировании кристаллов преимущественно пластинчатой формы, что улучшает агрегативную устойчивость дисперсной системы. В связи с этим, способность этих модифицированных пластинок к взаимному объединению и отложению на стенке трубопровода снижается. При температуре, близкой к температуре застывания, нефть в присутствии присадок ведет себя практически как свободнодисперсная система, близкая к молекулярному раствору. Однако в силу известных причин для снижения температуры застывания парафинистой нефти наиболее эффективным признано введение химических реагентов, так называемых депрессаторов, которые предотвращают или ингибируют отложение парафинистых соединений на стенках трубопровода [6].

Известно, что для снижения температуры застывания парафинистой нефти является целесообразным вводить в их состав синтетических компонентов - депрессорных присадок (ДП), в качестве которых могут быть использованы низкомолекулярные олефины, длинноцепные альфа-олефины полиизоолефины, в частности, полиизобутилен [7].

Управление низкотемпературными свойствами нефтяных систем предполагает управление энергией межмолекулярных взаимодействий в нефтяной системе путем теплового воздействия и различных физических полей либо за счет введения хи-

мических реагентов. Наиболее экономически выгодным способом регулирования низкотемпературных свойств нефтяных систем является использование функциональных присадок [8].

Считается, что прокачиваемость нефти в системе трубопроводов зависит, главным образом, от температуры ее застывания, то есть критерием оценки эффективности депрессорной присадки к нефти является снижение температуры застывания [9,10].

Ассортимент химических реагентов, используемых для транспортировки нефти, например, депрессорных, а также противотурбулентных присадок имеется в достаточном количестве. Однако надо сказать, что в данном случае стоит задача получения реагентов на основе местных сырьевых источников, которые отличались бы эффективностью и относительной доступностью [7,11].

Реологические характеристики, полученные для нефти в присутствии присадок, указывают на то, что введение последних в углеводородное сырье меняет характер структурообразования в них, что подтверждается оптическими методами исследования [12].

Целью настоящей работы является получение эффективного композиционного состава присадки для снижения температуры застывания нефтина основе фракции ненасыщенных жирных кислот, полученных вакуумной дистилляцией, и полиизобутилена.

Содержание жирных кислот в исходном и конечном продуктах определялось по методике, приведенной в работе [13].

Идентификация полученных продуктов реакции производилась с помощью ИК - спектроскопии на приборе Shimadzu IR Prestige-21 в интервале волновых чисел 4000-500 см<sup>-1</sup>, с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) Miracle фирмы Pike Technologies.

Определение температуры текучести и застывания нефти проводили с использованием аппарата ЛЗН-75м в соответствии с ГОСТ-20287-91.

Высокомолекулярные жирные (карбоновые) кислоты, с содержанием атомов углерода C<sub>16</sub> - C<sub>18</sub> были получены из вакуумных дистиллятов хлопкового соапстока. Используемые нами исходные жирные кислоты являются относительно дешевым и возобновляемым сырьем, так как образуются при переработке масла хлопчатника.

Линолевая кислота (ЛК) - одноосновная карбоновая кислота (C<sub>17</sub>H<sub>31</sub>COOH) имеет в своей структуре две изолированные двойные связи (C<sub>9</sub> и C<sub>12</sub>) ввиду чего она сравнительно легче вступает в химические процессы, в частности, в реакцию этерификации. Это светло-жёлтая маслянистая жидкость, нерастворимая в воде, но хорошо растворимая во многих органических растворителях. Температура плавления (t<sub>пл</sub>) - 11°C, t<sub>кип</sub> - 182°C, плотность при температуре - 20°C составляет 0,903 г/см<sup>3</sup>. При нейтрализации соапстока 5%-ным раствором серной кислоты до pH = 4-5, исходная линолевая кислота в нем находится в виде геометрического цис-изомера [14].

Олеиновая кислота (ОК) - CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>CH=CH(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>COOH - мононенасыщенная жирная кислота, имеет двойную связь при атоме углерода C<sub>9</sub>. Олеиновая кислота это бесцветная маслянистая жидкость, не обладающая запахом, легче воды, нерастворима в воде, но растворяется в органических растворителях. Температура плавления олеиновой кислоты составляет 13,4°C [14].

Фракцию ненасыщенных дистиллированных жирных кислот (ДЖК) хлопкового соапстока, преимущественно линолевой и олеиновой, получают методом ректификации [15].

**Экспериментальная часть.** Ранее нами был использован низкомолекулярный полиизобутилен (ПИБ) молекулярной массы 910 и 1300, а также малеиновый ангидрид (МА) и линолевая кислота (ЛК) с целью получения алкенилсукцинимида (АС) по методу, описанному в работе [16]. Это было выполнено с целью получения и включения алкенилсукцинимида в состав композиционной ДП, которая показала достаточную эффективность при использовании ее для снижения температуры замерзания высокопарафинистой нефти [16]. Первая стадия – проведение синтеза МА+ПИБ+ЛК при мольном соотношении компонентов 4:1:2. Линолевая кислота была добавлена в получаемый состав на первой стадии получения алкенилсукцинимида. Условия проведения первой стадии синтеза: температура – 200°С, время – 8 часов. Вторая стадия синтеза, это взаимодействие алкенилтантарного ангидрида (АЯА) с полиэтиленполиамином (ПЭПА) при мольном соотношении компонентов 1:1. Условия проведения второй стадии синтеза: температура – 150°С, время – 1 час. При синтезе полиэтиленполиамин использовался в качестве аминирующего агента.

Таким образом, в настоящей работе алкенилсукцинимид нами был получен для дальнейшего его использования в составе ДП, содержащей, кроме того, в своем составе хлопковый гудрон (далее гудрон) и ненасыщенные жирные кислоты (линолевая и олеиновая).

На *рисунке 1* представлены ИК – спектры гудрона, полученного при рафинации хлопкового масла АО «Шымкентмай» (Республика Казахстан, Туркестанская область), а на *рисунке 2* ИК – спектры продукта термической обработки гудрона и полиизобутилена при температуре 180°С.

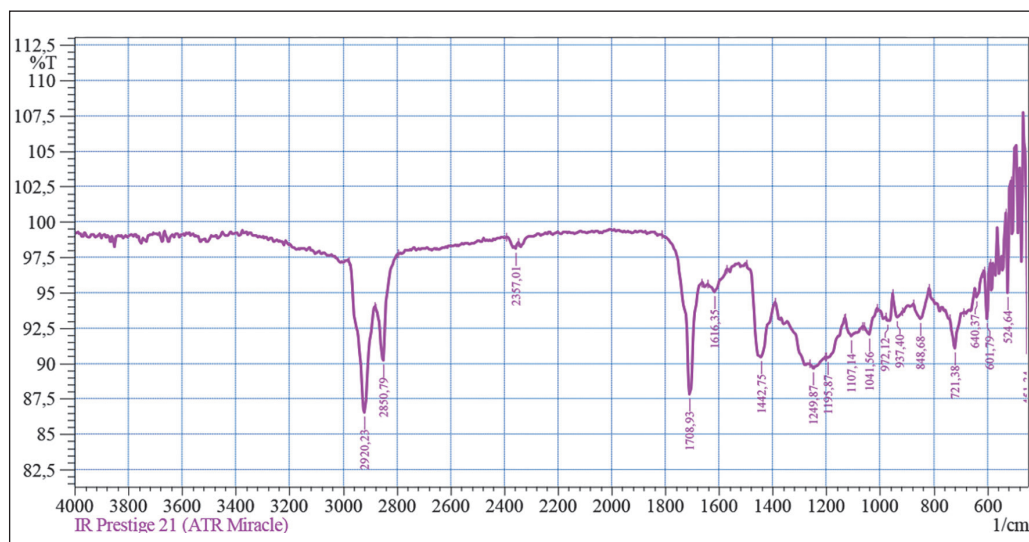
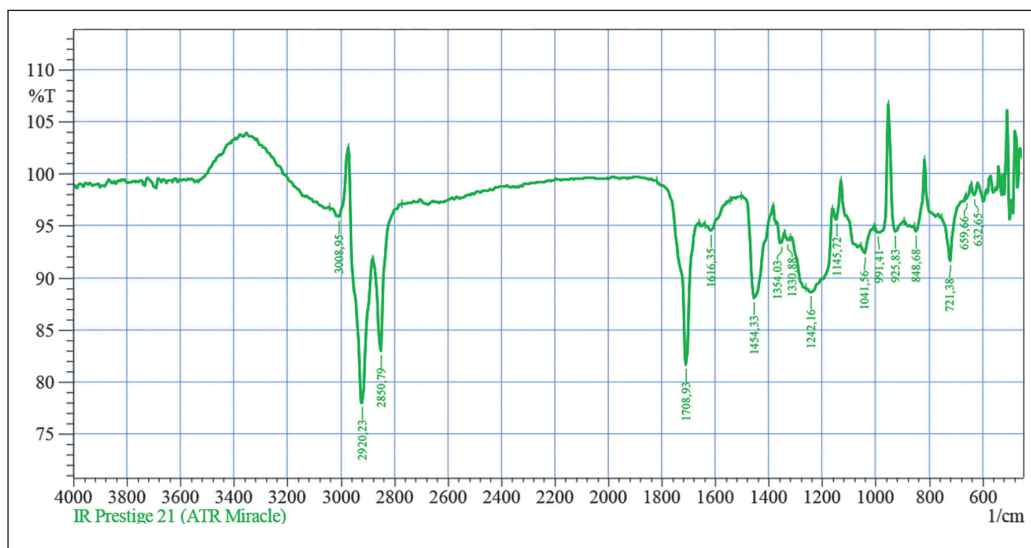


Рисунок 1 – ИК-спектр гудрона в гексане



**Рисунок 2 – ИК-спектры полученной присадки (продукт термической обработки гудрона и полиизобутилена)**

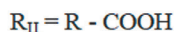
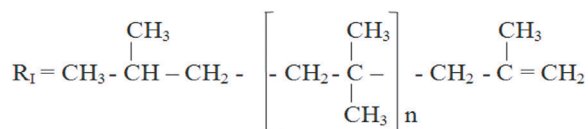
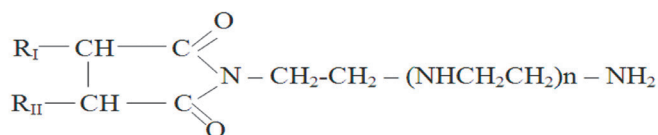
ИК - спектры гудрона в гексане (*рисунок 1*) характеризуются полосами сильного поглощения  $1708\text{--}1680\text{ см}^{-1}$  которые можно отнести к валентным колебаниям альдегидных групп нафталинового ядра молекулы госсипола. Полосы переменной интенсивности в области  $1600\text{--}1400\text{ см}^{-1}$  можно отнести к валентным колебаниям ароматических колец госсипола. Полосы при частотах  $1240\text{--}11200\text{ см}^{-1}$  можно с некоторой осторожностью отнести к фенольным гидроксильным группам нафталиновых колец госсипола.

Полосы поглощения с пиками  $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ , которые можно отнести к валентным ( $\nu$ ) колебаниям C–H связи в группах  $\text{CH}_3$ - ( $2977\text{ см}^{-1}$ ) и  $\text{--CH}_2$  - ( $2927$  и  $2877\text{ см}^{-1}$ ), как к исходным соединениям так и к конечному продукту (*рисунок 2*).

В ИК – спектре продукта синтеза (*рисунок 2*) деформационным ( $\delta$ ) колебаниям C–H связей этих групп соответствуют полосы с максимумами при  $1415\text{ см}^{-1}$  ( $\delta_{\text{ассим. CH}_3}$ ) и  $1460\text{ см}^{-1}$  ( $\delta_{\text{ассим. CH}_2}$ ), а также  $1355\text{ см}^{-1}$  ( $\delta_{\text{симм. CH}_3}$  и  $\text{CH}_2$ ). Сильный пик в области  $1625\text{--}1708\text{ см}^{-1}$ , который относится к линолевой и олеиновой кислотам, у которых двойная связь находится не в  $\alpha$  и  $\beta$  положениях, значительно уменьшается в образце продукта синтеза. В конечном продукте наблюдается сильно размытая полоса поглощения при  $3600\text{--}2900\text{ см}^{-1}$ , с максимумом интенсивности поглощения при  $3400\text{ см}^{-1}$ . Так или иначе, эти значения полос практически не проявлялись в исходном продукте.

О взаимодействии полиизобутилена можно утверждать по отсутствию полос поглощения при  $1485\text{ см}^{-1}$ , которые относятся к деформационным колебаниям метиленовой группы. Практически отсутствуют полосы полиизобутилена при  $2800\text{--}2700\text{ см}^{-1}$ . Однако наблюдается характерный для полиизобутилена дублет при  $920$  и  $950\text{ см}^{-1}$ , интенсивность которого менее выражена, чем в исходном полиизобутилене.

Предварительно по результатам синтеза, по повышенному расходу полиизобутилена и увеличению молекулярной массы готового продукта можно сделать предположение об изменении механизма и кинетики процесса, которые были достаточно изучены в работе [16]. При этом исследователи для полноты реакции использовали избыток малеинового ангидрида: в 4 раз больше, чем ПИБ, реакция проводится в атмосфере азота в среде ксилола. Поскольку ненасыщенные жирные кислоты также являются весьма активными, в частности линолевая, она также может взаимодействовать с малеиновым ангидридом по месту ненасыщенной связи. По данным, приведенным нами в работе [11], а также результатов ИК - спектров структурную формулу конечного продукта после второй стадии условно можно обозначить в следующем виде:



где: R<sub>I</sub> и R<sub>II</sub>- соответственно остатки молекул полиизобутилена и ненасыщенной жирной (линолевой иолеиновой кислот) в составе полученного продукта.

Проведенные предварительные исследования показали, что существование ЛК в виде двух изомеров (цис- и транс-изомерии) позволяет ей проявлять активность и вступать в образующийся комплекс. Для повышения депрессорной активности был использован композиционный состав: продукт на основе жирных кислот и алкенилсукцинимид (ЖКСА): гудрон: сивушное масло при соотношении 8:2:1 в толуоле.

Определение депрессорных свойств ЖКСА в парафинистой нефти.

Для введения депрессорного реагента в испытуемые нефти и их смеси, вначале проводилось перемешивание, которое осуществлялось на высокоскоростной мешалке, снабженной термостатирующим устройством. Перемешивание производилось в сосуде при температуре 45°C в течение 5 мин и числе оборотов мешалки – 500 об/мин. Депрессорные присадки вводили в количестве 0,01 - 0,05% на нефть, температура застывания исследованных образцов нефти и нефтяного парафина определялась по ГОСТу 20287.

Исследован характер влияния полученной ДП на низкотемпературные характеристики нефти и нефтесмеси. На *рисунке 3* показана динамика накопления асфальтосмолопарафинистых отложений (АСПО) из нефти Ащысайского месторождения.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что уже в первые секунды эксперимента (через 15-30 сек.) формируется 60 - 70% от массы всех отложений. Это говорит о высокой скорости процессов, протекающих на холодной стенке уже в на-



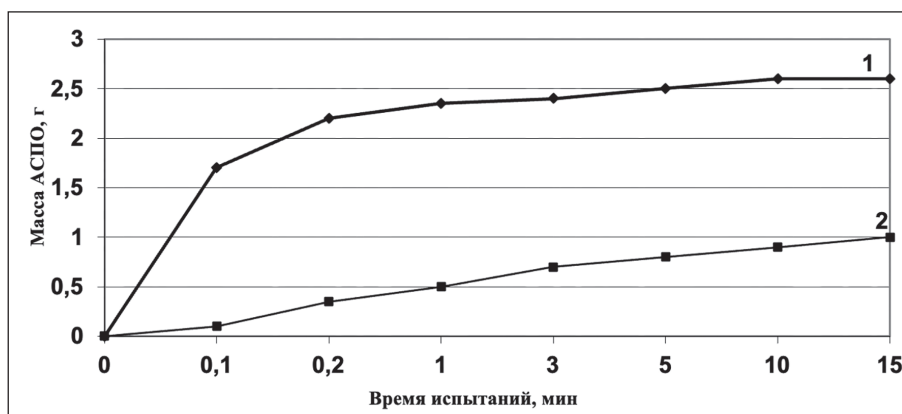


Рисунок 3 – Динамика накопления АСПО из нефти: 1 – нефть без ДП; 2 – нефть + ЖКСА

чальный момент. Затем, после первой минуты эксперимента, скорость накопления отложений заметно снижается, и процесс несколько стабилизируется. Это может быть связано с тем, что, во-первых, образовавшийся начальный слой выступает в качестве теплоизолирующего покрытия (известно, что углеводороды нефти плохие проводники тепла), в результате чего снижается градиент температур между нефтью и поверхностью осаждения, что приводит к замедлению процессов кристаллизации [17]. Второй возможной причиной замедления накопления АСПО может оказаться то, что из данного объема испытуемой нефти в условиях эксперимента сформировались все потенциально склонные к этому соединения [18,19]. В присутствии ДП в течение исследованного времени АСПО выделялись в количестве 30-40% от максимального значения, т.е. ДП обеспечивали снижение АСПО на 60-70%.

Были проведены исследования зависимости стабильности ДП, которую оценивали визуально по способности к расслаиванию в процессе хранения в течение года при 0°С от условий ее получения (температуры, времени и соотношения компонентов). Напомним, что оптимальные, это такие условия, которые обеспечивают получение стабильной присадки, проявляющей максимальную эффективность в нефтях, при минимальных затратах сырьевых компонентов и энергоресурсов.

Было выявлено, что для улучшения совместимости ДП с нефтью и повышения стабильности нефтяной системы в состав ДП эффективным является введение в небольшом количестве добавки сивушного масла (ГОСТ 17071-91). Действие сивушного масла объясняется тем, что оно облегчает распределение на границе раздела водонефтяной фазы при смешении реагента с нефтяными эмульсиями с высоким содержанием воды (рисунок 4), причем стабильность нефтяной композиции при прочих равных условиях лучше при использовании данного состава.

Данные по исследованию депрессорной активности предлагаемого реагента приведены на рисунке 5. Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что при обычной термообработке нефти без добавок ДП при 60°С депрессия составляет 3°С. Было найдено, что ввод реагента «ЖКСА» в обезвоженную нефть от 50 ppm и выше, повышает депрессорную активность, интенсивность которой увеличивается с повышением концентрации реагента.

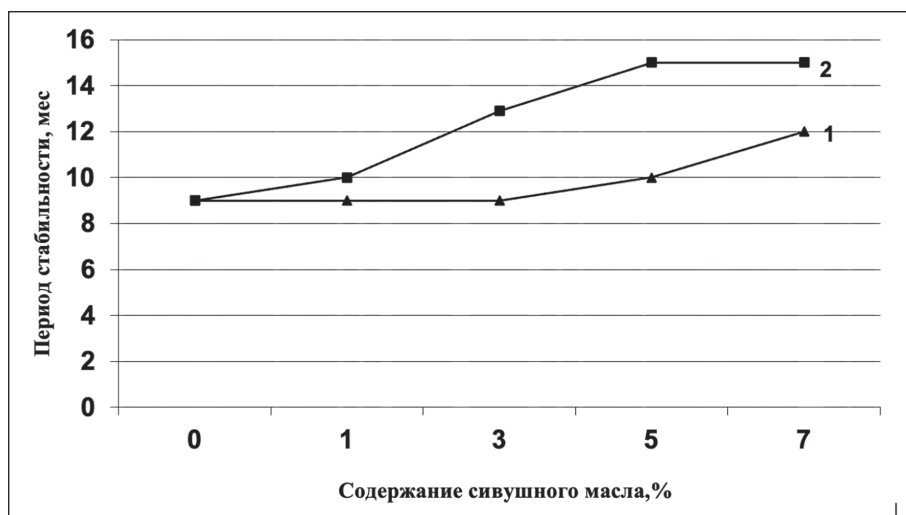


Рисунок 4 – Зависимость стабильности композиционной депрессорной присадки ЖКСА от содержания сивушного масла: 1- ДП; 2- ДП с добавлением сивушного масла

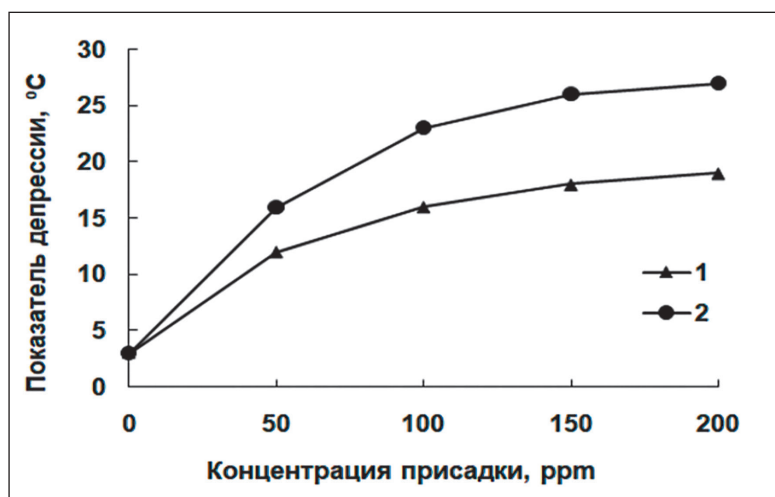


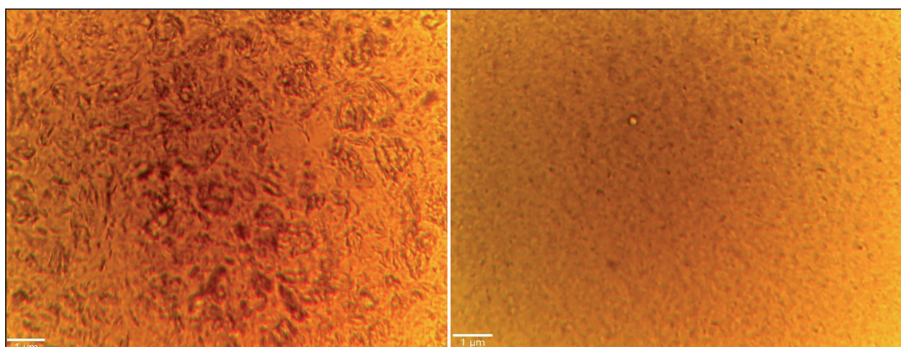
Рисунок 5 – Зависимость показателя депрессии от концентрации присадки «ЖКСА» в нефти: 1 – Ащысай, 2 – Ащысай + Акшабулак

Термообработка с реагентом «ЖКСА» показывает одинаково высокую депрессорную активность, как на нефти месторождения Ащысай с содержанием парафинов - 15,8 %, смол - 5,9 %, так и в смеси нефтей Ащысай - Акшабулак. При введении 200 ppm реагента депрессия составляет 18°C, кинематическая вязкость для нефти месторождения Ащысай снижается с 8,2 до 6,4 мм<sup>2</sup>/с. Следует отметить, что увеличение концентрации реагента, начиная от 100 до 200 ppm, практически не влияет на температуру текучести сырой нефтесмеси Ащысай–Акшабулак.

Как следует из данных, приведенных на рисунке 5, оптимальной концентрацией реагента можно считать 0,05 масс%, так как при её дальнейшем увеличении пока-

затель депрессии хотя и возрастает в незначительной степени, но целесообразнее брать вышеприведенную концентрацию по экономическим соображениям.


Далее было исследовано изменение морфологии образующихся кристаллов парафинов из вышеприведенного состава нефти в присутствии депрессорной присадки. Присадка вводилась в образцы высокопарафинистой нефти, отобранной непосредственно с групповой замерной установки, после отстоя и отделения пластовой воды. При добавлении присадки «ЖКСА» наблюдалось уменьшение размеров кристаллов парафинов, а также изменялась их форма (рисунк 6).



**Рисунок 6 – Морфология кристаллов парафинов нефти месторождения Ащысай без реагента (а) и с добавлением реагента (б)**

В настоящее время существуют различные теории, объясняющие потерю подвижности нефти и нефтепродуктов при понижении температуры. В нашем случае при исследовании высокопарафинистой нефти, предполагается, что согласно кристаллизационной теории, застывание испытуемой нефти обусловлено образованием кристаллов. При снижении температуры происходит выделение твердых кристаллов нормальных алканов, которые, слипаясь между собой, образуют пространственную сетку, которая связывает жидкую фазу. ДП при добавлении ее в парафинистую нефть образует с ними центры кристаллизации нормальных алканов и формирует их скопление, кристаллы которых могут быть одно или многокомпонентными. Предполагается, что снижение температуры застывания нефти связано с этим фактором, так как тонкие кристаллы относительно большой площади (пластинчатые кристаллы), легче образуют пространственный каркас, чем мелкие, которые являются более компактными [12].

**Выводы.** Таким образом, на основании экспериментальных данных показано, что ненасыщенные жирные кислоты вакуумной дистилляции являются ценным сырьем для получения композиционных депрессорных присадок к нефти. Алкенилсукцинимид в комплексе с фракцией линолевой и олеиновой кислот (ЖКСА) проявляет депрессорные свойства в нефти с высоким содержанием парафинов. На основании спектральных характеристик сделано предположение о строении образовавшегося комплекса, обладающего депрессорными свойствами, показана динамика накопления АСПО из нефти Ащысайского месторождения в присутствии композиционной присадки ЖКСА. Выявлено, что для улучшения совместимости с нефтью и повышения стабильности нефтяной системы эффективным является

введение в состав ДП 5-7% сивушного масла. Введение реагента «ЖКСА» в обезвоженную нефть от 50 ppm и выше повышает депрессорную активность, интенсивность которой увеличивается с повышением концентрации реагента. Исследована морфология образующихся кристаллов парафинов нефти месторождения Ащысай с добавлением реагента «ЖКСА», при этом наблюдалось уменьшение размеров кристаллов парафинов и изменение их формы. 

*Данные исследования выполнены при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант AP14869314).*

## ЛИТЕРАТУРА

- Османов Ж.Д., Климов П.В., Махмотов Е.С., Саяхов Б.К. Состояние и перспективы развития транспорта нефти и газа Казахстана // Нефть и газ.-2019.- № 3.- С.86-101. [Osmanov J.D., Klimov P.V., Mahmotov E.S., Saiahov B.K. Sostoianie i perspektivyrazvitiia transportanefti i gaza Kazahstana // Neft i gaz.-2019.- № 3.- С.86-101].
- Карабалин У.С. Результаты деятельности министерства нефти и газа РК за 2013 г. и перспективы развития нефтегазовой отрасли. // Нефть и газ, №3.- 2013. –С.7-18. [Karabalin U.S. Rezul'taty deyatel'nost i ministerstvaneftii gaza RK za 2013 g. i perspektivy razvitiya neftegazovoy otstrasli. // Neft' igaz, №3.-2013. –С.7-18].
- Надиров Н.К. Высоковязкие нефти и природные битумы. В 5 т.Т.2. Добыча, Подготовка. Транспортировка.-Алматы: «Гылым, 20001.-344 с.[Nadirov N.K. Vysokovyazkieneftii prirodnyebitumy. V 5 t. T.2. Dobycha, Podgotovka. Transportirovka.- Almaty: «Gylim, 20001.-344 s].
- Биккулов А.З., Шаммазов А.М. Механизм парафиноотложения в гидродинамических условиях //Известия вузов. Нефть и газ, - 1998. - №5 -С.100-105.[Bikkulov A.Z., Shammazov A.M. Mekhanizmparafinootlozheniyav gidrodinamicheskikh usloviyah //Izvestiyavuzov. Neft' igaz, - 1998.- №5 -S.100-105].
- Маркин А.Н., Низамов Р.Э., Суховерхов С.В. Нефтепромысловая химия: практическое руководство. Владивосток: Дальнаука, 2011. – 288 с.[Markin A.N., Nizamov R.E., Suho verhov S.V. Neftepromyslovayahimiya: prakticheskoe rukovodstvo. Vladivostok: Dal'nauka, 2011. – 288 s].
- Патент РФ №2316642 Состав для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений / Перекупка А. Г., Пензев Т.В. заявл. 31.05.2006; опубл. 10.02.2008; бюл. №4.- 5 с.[Patent RF №2316642 Sostav dlya udaleniya asfal'tosmoloparafinovyhotlozhenij / Perekupka A.G., Penzeva T. V. zayavl. 31.05.2006; opubl. 10.02.2008; byul. №4.- 5 s].
- Мастобаев Б.Н. Химические средства и технологии в трубопроводном транспорте нефти. – М.: Химия, 2002. – 296 с.[Mastobaev B.N. Himicheskiesredstvaitekhnologii vtruboprovodnomtransportenefti. – М.: Himiya, 2002. – 296 s].
- Нелюбов Д.В. Разработка композиционных ингибиторов образования асфальтосмолопарафиновых отложений нефти на основе изучения взаимосвязи их состава и адгезионных свойств: дисс.... канд. техн. наук: - Уфа, - 2014.- 153 с. [Nelyubov D.V. Razrabotka kompozitsionnyh ingibitorov obrazovaniya asfal'tosmoloparafinovyhotlozheniiineftinaosnoveizucheniyavzaimosvyazi ih sostava i adgezionnyhsvoystv: diss.... kand. tehn. nauk: - Ufa, - 2014.- 153 s].
- Алдияров Т.К., Насибуллин М., Аахворостов А.В., Кудайберген С.Е., Дидух А.Г., Габсаттарова А.Г. Новые эффективные депрессорные присадки к парафинистым нефтям // Нефть и газ. – 2015. - №5. – С.145-151. [Aldiyarov T.K., Nasibullin M., Aahvorostov A.V., Kudajbergenov S.E., Diduh A.G., Gabsattarova A.G. Novyeeffektivnyede pressornyeprikladki k parafinistymneftyam // Neft' igaz. – 2015. - №5. – С.145-151].

- 10 Оленев Л.М. Новые отечественные ингибиторы парафиноотложений. - М.: ВНИИ-ОЭНГ, 1990. - 51с.[OlenevL.M.Novyeotechestvennyeingibitoryparafinootlozhenij. - М.: VNIIOENG, 1990. - 51s].
- 11 Надиров К.С., Рамазанова Э.Э., Жусенов Б.А., Жумабек Ж.Т. Состав депрессорной присадки для парафинистой нефти // *Materialy XV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji*, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019», Volume 9 *Przemysł: Nauka i studia* -52 s. –С.41-48.[Nadirov K.S., Ramazanova E.E., Zhusenov B.A., Zhumabek Zh.T. Sostav depressornoj prisadki dlya parafinistoj nefti // *Materialy XV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji*, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019», Volume 9 *Przemysł: Nauka i studia* -52 s. –S.41-48].
- 12 Тертерян Р.А. Депрессорные присадки к нефтям, топливам и маслам. М.:Химия. - 1990. – 238 с. [Terteryan R.A. Depressornyeprisadki k neftyam, toplivam i maslam. М.:Himiya. - 1990. – 238 s.].
- 13 ГОСТ МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ ISO/TS СТАНДАРТ 17764—1— 2015. [GOST MEJGOSUDARSTVENNYÍ ISO/TS STANDART 17764—1— 2015.].
- 14 Акаева Т.К., Петрова С.Н. Основы химии технологии получения и переработки жиров. Ч.1. Технология получения растительных масел: Учеб. пособие/ ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т; Иваново, 2007. – 124 с.[Akaeva T.K., Petrova S.N. Osnovy himii i tekhnologii polucheniya i pererabotki zhиров. Ч.1. Tekhnologiya polucheniya rastitel'nyh масел: Ucheb. posobie/ GOUVPO Ivan. gos. him.-tekhнол. un-t; Ivanovo, 2007. – 124 s].
- 15 Надиров К.С. Получение госсипола и его производных при переработке семян и масла хлопчатника. Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауезова: 2012, Алем.-115с.[Nadirov K.S. Poluchenie gossipola i ego proizvodnyh pri pererabotke semen i maslahlopchatnika. Shymkent: YUKGU im. M.Auezova: 2012, Alem.-115s].
- 16 Кузьменко М.Ф. Технология производства сукцинимидных присадок к моторным маслам // *Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний*. - 2011. - № 2. - С. 27.[Kuzmenko M.F. Tehnologiya proizvodstva suksinimidnyh prisadok k motornym maslam // *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanyh kompanii*. - 2011. - № 2. - S. 27].
- 17 Овчар Е. В. Ингибирование образования асфальтосмолопарафиновых отложений в нефтях.: диссер канд. хим. наук, 02.00.13-Нефтехимия-Москва, 2007.- 161 с. [Ovchar E. V. Ingibirovanie obrazovaniya asfaltosmoloparafinovyh otlozhenij v neftyah.: disser. kand. him. nauk, 02.00.13-Neftehimiya-Moskva, 2007.- 161 s.].
- 18 Бешагина Е.В. Состав и структурно-реологические свойства асфальтосмолопарафиновых отложений в зависимости от условий их образования и химического типа нефти.: диссер ... канд. хим. Наук, 02.00.13-Нефтехимия- Томск, 2009.- 133 с. [Besagina E.V. Sostav i strukturno-reologicheskie svoystva asfaltosmoloparafinovyh otlozhenij v zavisimosti ot uslovij ih obrazovaniya i himicheskogo tipa nefti.: disser ... kand. him. Nauk, 02.00.13-Neftehimiya- Tomsk, 2009.- 133 s.].
- 19 Нелюбов Д.В. Разработка композиционных ингибиторов образования асфальтосмолопарафиновых отложений нефти на основе изучения взаимосвязи их состава и адгезионных свойств: диссер. ... канд. техн. наук: 02.00.13-Нефтехимия, Тюмень- ,2014.- 153 с. [Nelyubov D.V. Razrabotka kompozitsionnyh ingibitorov obrazovaniya asfaltosmoloparafinovyh otlozhenij nefti na osnove izucheniya vzaimosvyazi ih sostava i adgezionnyh svoystv: disser. ... kand. tehn. nauk: 02.00.13-Neftehimiya, Tyumen- ,2014.- 153 s.].