

Е. И. Курцева (магистрант), Д. С. Саутин (студ.),
О. А. Попкова (студ.), А. В. Песковец (к.т.н., с.н.с.)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФИРНОГО КОМПОНЕНТА НА ДИСПЕРГИРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СУКЦИНИМИДНЫХ ПРИСАДОК В СОСТАВЕ НЕФТЯНЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина,
кафедра химии и технологии смазочных материалов и химмотологии
119991, г. Москва, Ленинский проспект, 65/1; e-mail: ek.kurtceva@yandex.ru

E. I. Kurtseva, D. S. Sautin, O. A. Popkova, A. V. Peskovets

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ESTER COMPONENT ON THE DISPERSING ABILITY OF SUCCINIMIDE ADDITIVES IN MINERAL MOTOR OILS COMPOSITION

Gubkin University
65/1, Leninskiy Prospekt Str., 119991, Moscow, Russia; e-mail: ek.kurtceva@yandex.ru

Изучено влияние диоктилсебагината на диспергирующие свойства сукцинимидных присадок в моторных нефтяных маслах. Объектом исследования служили сукцинимидные присадки на основе полиизобутиленсукцинангидрида разной молекулярной массы с различным содержанием эфирного компонента. Установлено, что добавление сложного эфира увеличивает содержание активного вещества, но создает нелинейную зависимость диспергирующих свойств от его концентрации. При этом чистый диоктилсебагинат (далее ДОС) показал стабильность и диспергирующие свойства на уровне сукцинимидной присадки без ДОС. Результаты важны для оптимизации состава присадок и разработки экологичных моторных масел с расширенными интервалами замены. Исследование проводится современными методами анализа и расширяет понимание влияния сложных эфиров на характеристики сукцинимидных присадок.

Ключевые слова: диоктилсебагинат; диспергирующая присадка; дисперсант; масло изокрекинга; морное масло; нефтяное масло; присадка; сложный эфир; сукцинимидная присадка

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Проект FSZE-2024-0004.

The paper studies the influence of dioctylsebacinate on the dispersing properties of succinimide additives in motor oil. Succinimide additives based on polyisobutylene succinanhdyride of different molecular weights with different content of ester component served as the object of the study. It was found that addition of ester increases the content of active substance, but creates nonlinear dependence of dispersing properties on its concentration. At the same time pure dioctyl sebacinate (further DOS) showed stability and dispersing properties at the level of succinimide additive without DOS. The results are important for optimization of additive composition and development of environmentally friendly motor oils with extended drain intervals. The study was carried out by modern analytical methods and expands the understanding of the effect of esters on the performance of succinimide additives.

Key words: additive; dioctylsebacinate; dispersant; dispersant additive; engine oil; ester; isocracking oil; petroleum oil; succinimide additive

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the RF within the framework of the state assignment Project FSZE-2024-0004

Дата поступления 14.06.25

В современном автомобилестроении наблюдаются существенные изменения конструкции двигателей внутреннего сгорания, что напрямую связано с растущими требованиями к экологической безопасности. Трансформация затронула не только конструктивные особенности самих двигателей, но и характеристики применяемых в их производстве материалов. Инженеры добились существенного прогресса в оптимизации использования смазочных материалов, значительно улучшив при этом ключевые технические характеристики. Это проявляется в повышении мощности двигателя на единицу массы при одновременном сокращении потребления топлива и смазочных материалов¹.

В современной химмотологии моторное масло воспринимается как один из важнейших конструктивных элементов двигателя внутреннего сгорания². Развитие двигателестроения определяет требования к производителям смазочных материалов, что, в свою очередь, способствует появлению инновационных решений при создании как базовых масел, так и функциональных присадок.

Среди различных типов присадок диспергирующие присадки занимают особое место, поскольку они непосредственно влияют на поддержание чистоты деталей двигателя и предотвращение образования отложений.

Сукцинимидные присадки представляют собой один из наиболее изученных и широко применяемых классов диспергирующих присадок. Их эффективность обусловлена способностью стабилизировать дисперсную систему, предотвращая коагуляцию загрязняющих частиц и образование отложений, что особенно важно в условиях эксплуатации современных высокофорсированных двигателей, работающих при повышенных температурах и нагрузках³.

В последние годы наблюдается тенденция к разработке новых поколений сукцинимидных присадок с улучшенными характеристиками. Современные исследования направлены на создание более эффективных и экологичных композиций, способных обеспечивать длительную работоспособность масел при расширенных интервалах замены. Помимо этого, особое внимание уделяется исследованию влияния сложных эфиров на эксплуатационные характеристики моторных масел. Эфирные соединения обладают рядом уникальных физико-химических характеристик, которые могут существенно влиять на диспергирующую способность смазочных материалов. В связи с этим актуальность данной работы обусловлена необходимостью повышения эффективности моторных масел за счет оптимизации состава и свойств сукцинимидных присадок.

Целью настоящего исследования является изучение влияния природы сложного эфира на диспергирующую способность сукцинимидных присадок в составе нефтяных моторных масел, что позволит определить оптимальные параметры их применения в современных нефтяных моторных маслах, а также определение возможности использования эфирного компонента как самостоятельного диспергирующего агента.

Материалы и методы исследования

Методология исследования направлена на изучение влияния состава масла-разбавителя на диспергирующие свойства сукцинимидных присадок, полученных на основе полиизобутиленсукцинангидрида (ПИБСА) различной молекулярной массы.

В ходе исследования были использованы следующие компоненты: в качестве масла-разбавителя были выбраны масло изокрекинга VHV1-4 (ТУ 38.401-58-415-2014) и сложный эфир диоктилсебацат (ДОС) (ТУ 6-06-11-88), которые исследовались в различных соотношениях; в качестве углеводородной основы: ПИБСА-1000, ПИБСА-1300 и ПИБСА-2300; в качестве полиалкиленполиамины был использован триэтилентетраамин (ТЭТА).

В рамках научного исследования были приготовлены образцы сукцинимидной присадки на основе ПИБСА разных молекулярных масс с различным содержанием эфирного компонента (ДОС) в составе масла-разбавителя. Методика синтеза была разработана на основе работ, проводимых в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина⁶. В ходе работы было выбрано соотношение ДОС и масла изокрекинга, равное 100/0, 70/30, 50/50, 30/70, 0/100, соответственно.

Для оценки диспергирующих свойств масел с присадками применялся метод, разработанный ВНИИ НП⁷. Суть методики заключается в следующем: исследуемый образец масла с заданной концентрацией присадки тщательно перемешивался с мелкодисперсной сажей марки П-660 в количестве 0.1% мас. (для имитации частиц нагара, образующихся в дизельном двигателе), после чего измерялась его оптическая плотность с использованием фотоэлектрокалориметра марки КФК-2 при определенной температуре. В рамках эксперимента мелкодисперсная сажа использовалась как модельный имитатор отложений, образующихся в двигателе внутреннего сгорания вследствие неполного сгорания дизельного топлива и приводящих к загрязнению моторного масла.

Данное исследование включает анализ диспергирующих свойств образцов масла с концент-

рацией синтезируемых присадок от 2 до 8 % с шагом 2%. Данный подход позволяет оценить эффективность присадок в типичных условиях их практического применения.

Для синтезированных сукцинимидных присадок также определяли кислотное число (ГОСТ 30050-93), содержание азота (ASTM D4629), содержание свободных полиаминов (методика «ЛЛК-НАФТАН») и содержание активного вещества (методика «ЛЛК-НАФТАН»).

Результаты и их обсуждение

В табл. 1–3 приведены физико-химические свойства исследуемых сукцинимидных присадок, полученных на основе ПИБСА различных молекулярных масс.

Анализ полученных данных показал, что введение сложного эфира в состав сукцинимидных

присадок приводит к закономерному увеличению содержания активного вещества во всех исследуемых образцах, что, предположительно, связано с его полярностью. Данная зависимость подтверждается результатами всех трех серий экспериментов с различными молекулярными массами ПИБСА.

При изучении влияния молекулярной массы исходного ПИБСА на физико-химические характеристики присадок было установлено следующее: с увеличением молекулярной массы наблюдается тенденция к снижению содержания азота и свободных полиаминов в составе присадок. При этом данные изменения носят незначительный характер и находятся в пределах погрешности измерений.

Остальные исследуемые показатели практически не изменяются при варьировании как содержания ДОС, так и молекулярной массы ПИБСА.

В ходе исследования были получены графические зависимости, демонстрирующие влияние

Таблица 1

Физико-химические свойства образцов сукцинимидных присадок на основе ПИБСА-1000

Показатели	Значения				
	C-1.1	C-1.2	C-1.3	C-1.4	C-1.5
Состав масла-разбавителя, соотношение VHVI-4 : ДОС	100 / 0	70 / 30	50 / 50	30 / 70	0 / 100
Кислотное число, мг КОН/г	0.80	1.03	0.98	0.76	1.01
Содержание азота, %	1.9	1.7	1.7	1.7	1.6
Содержание свободных полиаминов, %	0.29	0.26	0.25	0.27	0.26
Массовая доля воды, %	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Содержание активного вещества, %	50.0	59.3	71.6	82.1	97.0

Таблица 2

Физико-химические свойства образцов сукцинимидных присадок на основе ПИБСА-1300

Показатели	Значения				
	C-2.1	C-2.2	C-2.3	C-2.4	C-2.5
Состав масла-разбавителя, соотношение VHVI-4 : ДОС	100 / 0	70 / 30	50 / 50	30 / 70	0 / 100
Кислотное число, мг КОН/г	1.08	1.17	1.13	1.02	1.07
Содержание азота, %	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
Содержание свободных полиаминов, %	0.22	0.23	0.24	0.24	0.25
Массовая доля воды, %	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Содержание активного вещества, %	88.5	89.1	91.5	94.2	96.7

Таблица 3

Физико-химические свойства образцов сукцинимидных присадок на основе ПИБСА-2300

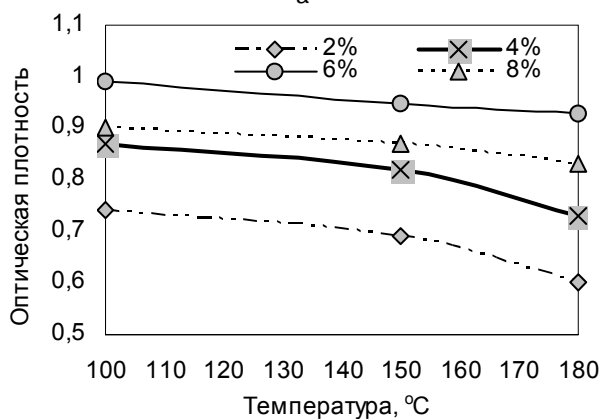
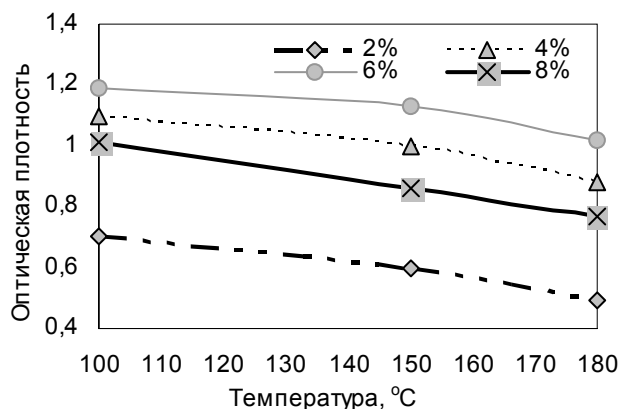
Показатели	Значения				
	C-3.1	C-3.2	C-3.3	C-3.4	C-3.5
Состав масла-разбавителя, соотношение VHVI-4 : ДОС	100 / 0	70 / 30	50 / 50	30 / 70	0 / 100
Кислотное число, мг КОН/г	1.09	1.13	1.08	1.04	1.11
Содержание азота, %	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5
Содержание свободных полиаминов, %	0.23	0.22	0.22	0.23	0.22
Массовая доля воды, %	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Содержание активного вещества, %	61.4	79.8	83.6	88.7	95.8

сукцинимидных присадок на диспергирующие характеристики нефтяного масла. Представленные графики позволяют отследить динамику изменения диспергирующих свойств в зависимости от процентного содержания конкретной присадки в составе базового масла, что дает возможность провести сравнительный анализ их эффективности.

На рис. 1 представлены результаты исследования диспергирующих свойств нефтяного масла, содержащего сукцинимидные присадки С-1.1–С-1.5.

Анализ результатов исследования показал, что сукцинимидная присадка на основе ПИБСА-1000 без ДОС обеспечивает наилучшие диспергирующие характеристики нефтяного масла при концентрации 6% мас. Примечательно, что при введении сложноэфирного компонента в состав присадки наблюдается нелинейная зависимость: первоначально происходит ухудшение диспергирующих свойств (рис. 1б), затем следует улучшение (рис. 1в) при увеличении содержания ДОС до 50% в составе масла-разбавителя, после чего отмечается постепенное снижение эффективности (рис. 1г и 1д). Наименьшая эффективность характерна для присадки С-1.5, содержащей 100% сложного эфира.

На рис. 2 и 3 представлены результаты исследования диспергирующих свойств нефтяного масла, содержащего сукцинимидные присадки С-2.1–С-2.5 и С-3.1–С-3.5.



б

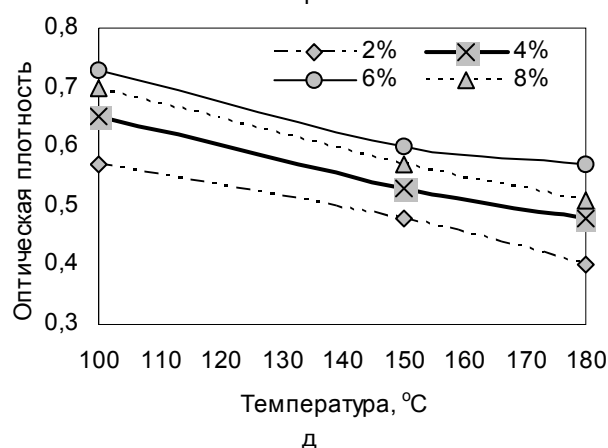
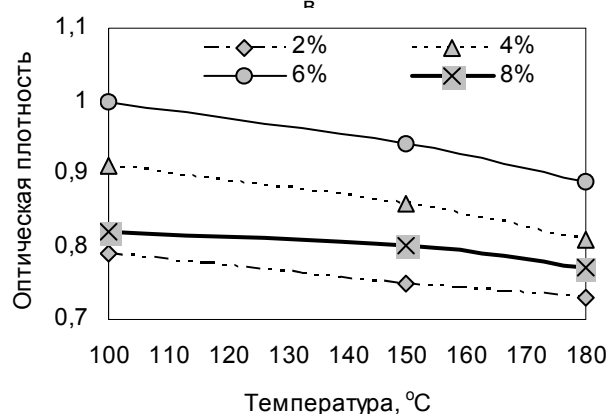
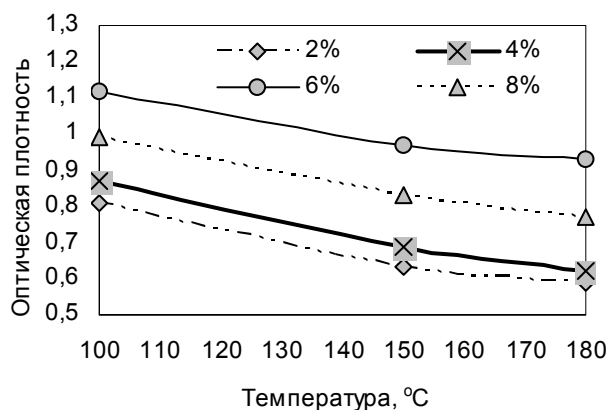
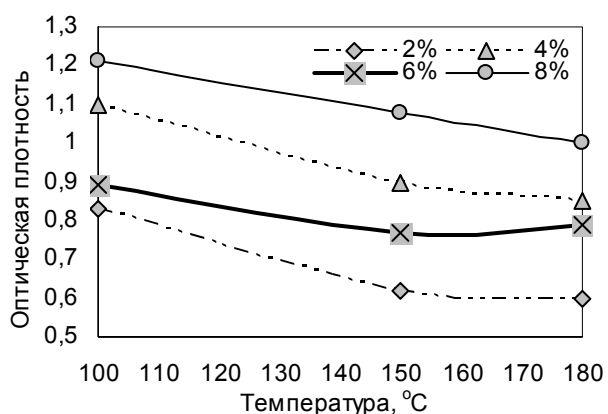
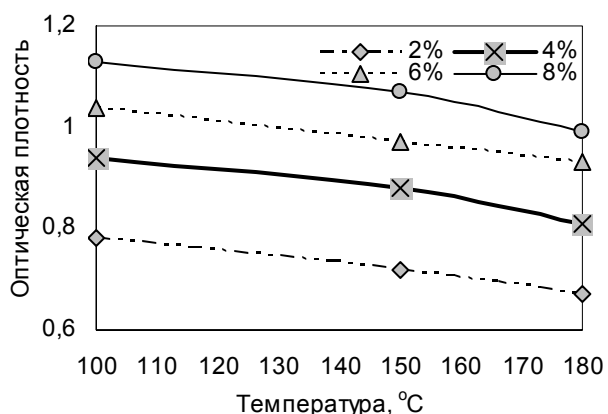


Рис. 1. Диспергирующие свойства нефтяного масла, содержащего сукцинимидные присадки С-1.1–С-1.5: а – присадка С-1.1; б – присадка С-1.2; в – присадка С-1.3; г – присадка С-1.4; д – присадка С-1.5

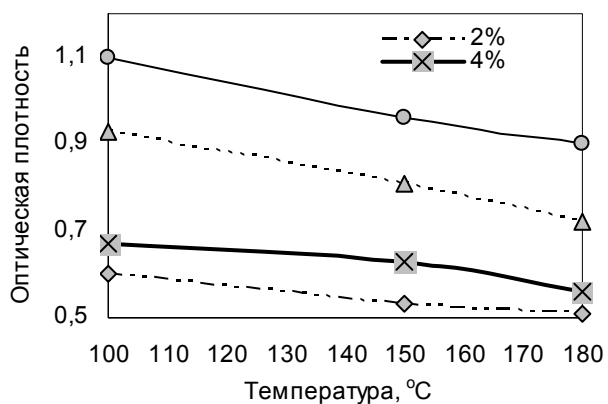
Исследование диспергирующих свойств нефтяного масла с добавлением сукцинимидных присадок С-2.1–С-2.5 и С-3.1–С-3.5 выявило аналогичную закономерность. При добавлении 30% мас. эфирного компонента в состав масла-разбавителя наблюдается первоначальное ухудшение свойств, которое сменяется незначительным улучшением при увеличении концентрации эфира до 50%, после чего эффективность продолжает снижаться при дальнейшем повышении содержания ДОС. Во всех исследованных случаях отмечается общая тенденция к ухудшению диспергирующих свойств с повышением температуры.



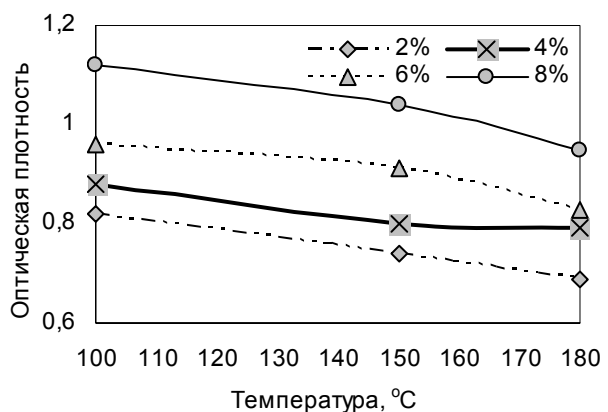
а



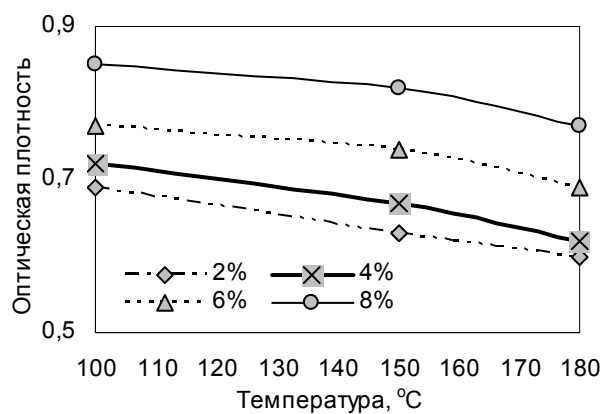
б



в

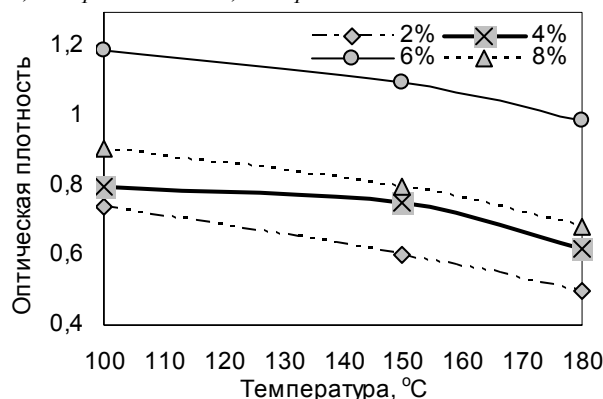


г

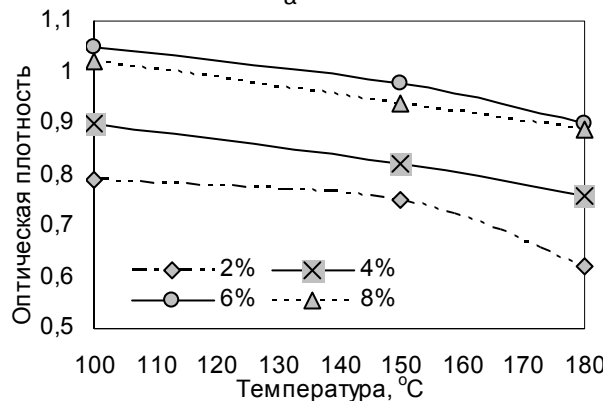


д

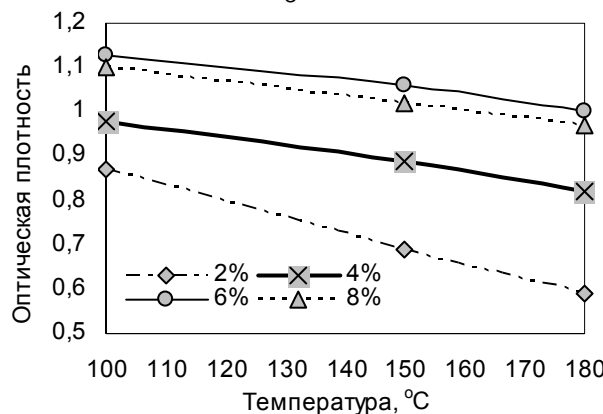
Рис. 2. Диспергирующие свойства нефтяного масла, содержащего сукцинимидные присадки С-2.1–С-2.5: а – присадка С-2.1; б – присадка С-2.2; в – присадка С-2.3; г – присадка С-2.4; д – присадка С-2.5



а



б



в

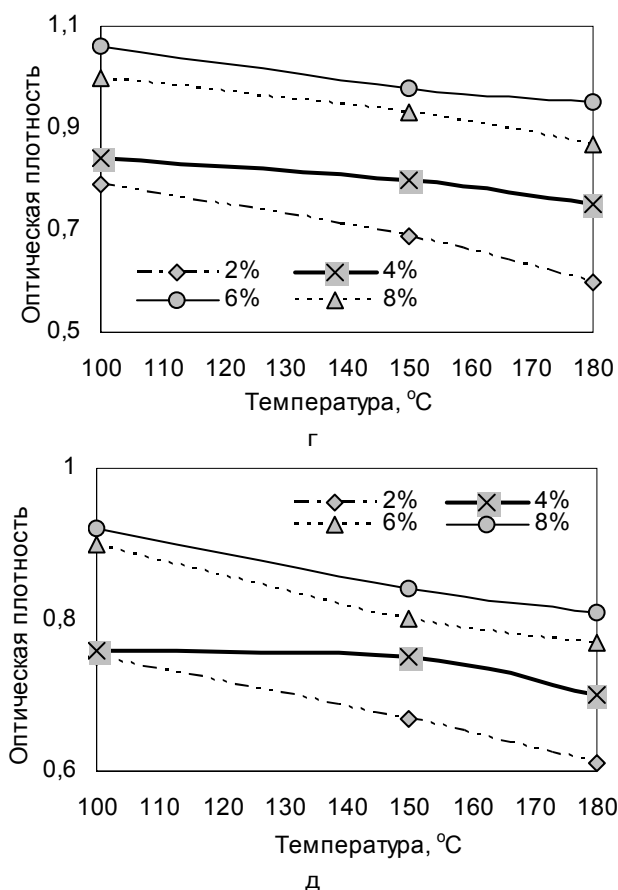


Рис. 3. Диспергирующие свойства нефтяного масла, содержащего сукцинимидные присадки С-3.1–С-3.5: а – присадка С-3.1; б – присадка С-3.2; в – присадка С-3.3; г – присадка С-3.4; д – присадка С-3.5

Кроме того, были исследованы диспергирующие характеристики нефтяного масла с добавлением чистого ДОС, результаты наглядно представлены на рис. 4.

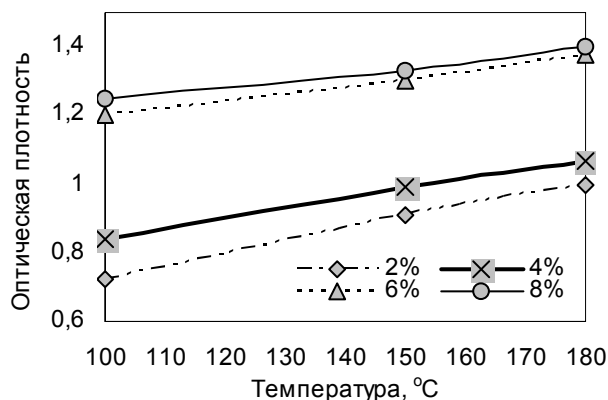


Рис. 4. Диспергирующие свойства нефтяного масла, содержащего чистый ДОС

Таким образом, введение сложного эфира в состав масла-разбавителя сукцинимидных присадок не приводит к улучшению диспергирующих свойств нефтяного масла, что, предположительно, обусловлено конкуренцией молекул сукцинимидной присадки и ДОС на поверхности загрязняющей частицы. Вместе с тем наблюдается, что при введении чистого ДОС диспергирующие свойства масла находятся на том же уровне, что и при введении сукцинимидной присадки без содержания ДОС. Более того, ДОС демонстрирует более стабильную работу в составе нефтяного масла по сравнению с сукцинимидными присадками.

Литература

1. Клишин П.В., Латышев А.П., Алибеков Р.И. и др. Современные тенденции совершенствования двигателей внутреннего сгорания и их влияние на изменение требований к моторным топливам и маслам // Технологии нефти и газа. – 2015. – №6. – С.3-6.
2. Чудиновских А.Л., Лашхи В.Л., Бартко Р.В. Роль теории химмотологии моторных масел в практике их применения // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2013. – №6. – С.39-42.
3. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. – СПб.: Химиздат, 2010. – 307 с.
4. Рудник Л.Р. Присадки к смазочным материалам. Свойства и применение. – СПб.: Профессия, 2013. – 928 с.
5. Дощенко А. В., Майорова Е. И., Бурая И. В. Влияние строения высших аминов на свойства присадок сукцинимидного типа // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. Промышленность. – 2023. – №1 (47). – С.82-87.
6. Силин М. А., Иванова Л. В., Буров Е. А., Кошелев В. Н., Бордубанова Е. Г. Синтез и испытание полиалкенилсукцинимидов как компонентов моющих присадок к моторному топливу // Нефтехимия. – 2012. – Т.52, №4. – С.304-309.

References

1. Klishin P.V., Latyshev A.P., Alibekov R.I. *Sovremennye tendentsii sovershenstvovaniya dvigateley vnutrennego sgoraniya i ikh vliyanie na izmenenie trebovaniy k motornym toplivam i maslam* [Current trends in the improvement of internal combustion engines and their impact on changing requirements for motor fuels and oils]. *Tekhnologii nefi i gaza* [Oil and Gas Technologies], 2015, no 6, pp.3-6.
2. Chudinovskikh A.L., Lashkhi V.L., Bartko R.V. *Rol' teorii khimmotologii motornykh masel v praktike ikh primeneniya* [The role of the theory of chemmotology of motor oils in the practice of their application]. *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompaniy* [World of oil products. Bulletin of oil companies], 2013, no.6, pp.39-42.
3. Danilov A.M. *Primenenie prisadok v toplivakh* [Use of additives in fuels]. Saint-Petersburg, Khimizdat Publ., 2010, 307 p.
4. Rudnik L.R. *Prisadki k smazochnym materialam. Svoistva i primeneniye* [Lubricant additives. Properties and application]. Saint-Petersburg, Professiya Publ., 2013, 928 p.
5. Doshchenok A. V., Maiorova E. I., Buraya I. V. *Vliyanie stroeniya vysshikh aminov na svoystva prisadok suksinimidnogo tipa* [Influence of structure of higher

7. Майорова Е.И., Антух К.П., Уткин А.Г., Бурая И.В., Бакунин В.Н., Ермак А.А. Оценка диспергирующих свойств сукцинимидных присадок к смазочным маслам // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. Промышленность. – 2021. – №3. – С.67-72.
6. Silin M.A., Ivanova L.V., Burov E.A., Koshelev V.N., Bordubanova E.G. [Synthesis and testing of polyalkenyl succinimides as components of detergent additives for motor fuels]. *Petroleum Chemistry*, 2012, vol.52, no.4, pp.272-277.
7. Maiorova E.I., Antukh K.P., Utkin A.G., Buraya I.V., Bakunin V.N., Ermak A.A. *Otsenka dispergiruyushchikh svoystv suksinimidnykh prisadok k smazochnym maslam* [Evaluation of the dispersing properties of succinimide additives for lubricating oils]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B. Prikladnye nauki. Promyshlennost'* [Bulletin of Polotsk State University. Series B. Applied Sciences. Industry], 2023, no.3, pp.67-72.