

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ПРОТИВОИЗНОСНЫХ ПРИСАДОК К ТОПЛИВАМ ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.К. Горюнова, Н.М. Лихтерова, К.В. Шаталов, Е.А. Клеттер

Александра Константиновна Горюнова*, Наталья Михайловна Лихтерова, Константин Васильевич Шаталов, Елена Александровна Клеттер

ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», ул. Молодогвардейская, 10, Москва, Российская Федерация, 121467

E-mail: goryunova25@yandex.ru*, 25gosnii_16nio@mil.ru

В рамках государственной программы импортозамещения для разработки отечественной противоизносной присадки к топливам для реактивных двигателей на первом этапе были проанализированы физико-химические характеристики допущенных к применению зарубежных противоизносных присадок ДНК, HITEC 580 и Unicor J. В ходе этого анализа выявлено, что при производстве присадок HITEC 580 и Unicor J для улучшения их потребительских свойств (низкотемпературных характеристик) используют растворители. На втором этапе исследования методом хромато-масс-спектрометрии изучен и исследован состав применяемых в настоящее время присадок HITEC 580 и Unicor J. Показано, что в их составе используется один и тот же активный компонент – димеры ненасыщенных жирных кислот C₁₈, а именно смесь димеров линоленовой, линолевой и олеиновой кислот, среди которых преобладает димер образованный из линолевой и олеиновой кислот. В ходе анализа используемых в составе присадок растворителей показано, что при производстве присадки Unicor J используют ароматический растворитель, содержащий 92% моноароматических соединений, преимущественно ряда C₁₀, что, вероятно, является продуктом риформинга бензинов, а присадки HITEC 580 – алифатический растворитель, содержащий преимущественно n-алканы (41%). Из представленных результатов исследования следует, что при разработке рецептуры отечественной противоизносной присадки в качестве активного компонента необходимо выбирать соединения, содержащие 1 или 2 карбоксильные группы, а в качестве растворителя либо ароматический, либо алифатический, в зависимости от стоимости и наличия на отечественном рынке.

Ключевые слова: противоизносные присадки, топливо для реактивных двигателей, хромато-масс-спектрометрия

RESEARCH OF COMPOSITION OF ANTIWEAR ADDITIVES FOR JET FUELS

A.K. Goryunova, N.M. Likhterova, K.V. Shatalov, E.A. Kletter

Alexandra K. Goryunova*, Natalia M. Likhterova, Konstantin V. Shatalov, Elena A. Kletter

FAO «The 25-th State Research Institute of Chemmotology of Ministry of Defense of Russian Federation», Molodogvardeiskaya st., 10, Moscow, 121467, Russia

E-mail: goryunova25@yandex.ru*, 25gosnii_16nio@mil.ru

In the framework of the state import substitution program for the development of a domestic antiwear additive for jet fuels the physicochemical characteristics of the approved foreign antiwear additives of DNK, HITEC 580 and Unicor J were analyzed at the first stage. The analysis revealed that using solvents during the production of HITEC 580 additives and Unicor J improve their consumer properties (low temperature characteristics). At the second stage of the study the composition of currently used additives HITEC 580 and Unicor J was studied by gas chromatography-mass spectrometry. It was shown, that the same active component is used in their composition - dimers of unsaturated fatty acids C₁₈, namely a mixture of dimers of linolenic, linoleic and oleic acids, among which the dimer formed from linoleic and oleic acids prevails. An analysis of the solvents

used in the additive composition showed that in the production of Unicor J additives they use an aromatic solvent containing 92% of monoaromatic compounds, mainly of the C₁₀ series, which is probably the product of gasoline reforming, and HITEC 580 additives use an aliphatic solvent containing mainly n alkanes (41%). From the presented results of the study it follows that when developing a domestic antiwear additive formulation, it is necessary to choose compounds containing 1 or 2 carboxyl groups as the active component, and as the solvent either aromatic or aliphatic, depending on the cost and availability on the domestic market.

Key words: antiwear additives, jet fuel, gas chromatography-mass spectrometry

Для цитирования:

Горюнова А.К., Лихтерова Н.М., Шаталов К.В., Клеттер Е.А. Исследование состава противоизносных присадок к топливам для реактивных двигателей. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 1. С. 79–84

For citation:

Goryunova A.K., Likhterova N.M., Shatalov K.V., Kletter E.A. Research of composition of antiwear additives for jet fuels. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. [ChemChemTech].* 2021. V. 64. N 1. P. 79–84

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в составе отечественных топлив для реактивных двигателей допущены к применению три противоизносные присадки зарубежного производства: ДНК – дистиллированные нефтяные кислоты по ГОСТ 13302-77 (Karvan-L, Республика Азербайджан), HITEC 580 (Afton Chemical Ltd, США), Unicor J (Dorf Ketal, Индия) [1-4].

Для снижения импортозависимости разработка отечественной противоизносной присадки к топливам для реактивных двигателей, обеспеченной сырьевой и технологической базами, является актуальной задачей [5-7]. Для решения этой задачи на первом этапе были проведены исследования химического и компонентного составов зарубежных присадок.

Присадка ДНК представляет собой смесь очищенных моно- и бициклических нафтеновых кислот с молекулярной массой 180-230, получаемых высоковакуумной дистилляцией обезмасленного асидола – продукта выщелачивания нафтеновых кислот из фракций нефтепереработки [1, 8, 9].

В работах [10, 11] указано, что активным компонентом присадки HITEC 580 является димер линолевой кислоты, а согласно данным [12] присадка Unicor J содержит смесь димеров ненасыщенных жирных кислот C₁₈ (CAS № 61788-89-4).

Димеры ненасыщенных жирных кислот (далее – димеры) получают каталитической димеризацией кислот, которая приводит к образованию смеси ациклических, моноциклических и бициклических соединений [13]. В работах [14-19] указано, что процесс димеризации проводят при температуре 230-250 °С в течение нескольких часов под давлением и в присутствии монтмориллонита в качестве катализатора.

Лидерами по производству димеров являются США (более 100 тыс. т/год) и Китай (более 70 тыс. т/год). Большой объем производства связан с тем, что димеры находят широкое применение во многих отраслях промышленности, так их используют при производстве полиамидов, полиэфиров, красок, косметических средств. Кроме того, димеры являются ингибиторами коррозии и применяются в буровых растворах, присадках к топливам и смазкам [20].

Активное вещество при создании любых присадок к топливам выбирается исходя из представлений о механизме действия присадки и с учетом доступности и стоимости сырьевой базы. Дополнительные компоненты используются по мере необходимости.

Основные физико-химические характеристики димеров жирных кислот C₁₈ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические характеристики димеров жирных кислот C₁₈

Table 1. Physico-chemical characteristics of dimers of fatty acids C₁₈

Свойство	Значение
Температура застывания, °С	-12 – -18
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С	288
Плотность при 20 °С, кг/м ³	0,95
Кислотное число, мг КОН/г	190 – 197

Результаты сравнительного анализа требований, предъявляемых к противоизносным присадкам топлив для реактивных двигателей, приведены ниже (табл. 2).

Таблица 2

Физико-химические характеристики противоизносных присадок к топливам для реактивных двигателей
 Table 2. Physico-chemical characteristics of antiwear additives for jet fuels

№ п/п	Наименование показателя	ДНК		НІТЕС 580		Unicor J	
		Норма	Фактически	Норма	Фактически	Норма	Фактически
1	Внешний вид	Прозрачная однородная жидкость		-		Прозрачная жидкость янтарного цвета	
2	Массовая доля нефтяных кислот, %, не менее	96	97,8	-		-	
3	Массовая доля минерального масла в пересчете на органические вещества, %, не более	2,8	1,95	-		-	
4	Кислотное число, мг КОН/г	230-270	258	80-100	95	110-126	115,19
5	Цвет, единицы, ЦНТ, не более	4,5	3,5	-		-	
6	Плотность при 20 °С (15 °С), кг/м ³	-	0,948	-		(0,92-0,96)	(0,9304)
7	Температура застывания, °С, не выше	-		-18	-24	-18	-21
8	Кинематическая вязкость при 40 °С, сСт	-		110-136	131,1	55-95	74,04
9	Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не менее	-		66	81	62	67
10	Зольность, % мас.	-		<0,05	0	<0,05	0
11	Индекс сепарации (22,5 мг/л), не менее	-		70	88	70	94
12	Тест на коррозию	-		Pass	Pass	Pass	Pass

Сравнивая основные физико-химические показатели присадок НІТЕС 580 и Unicor J (табл. 2) и их активных компонентов – димеров жирных кислот C₁₈ (табл. 1), можно с уверенностью сказать, что для снижения кислотного числа, температуры застывания и температуры вспышки производители присадок вводили растворители. Кислотное число в композиции присадки уменьшается в два раза. Кислотное число присадки ДНК превышает в 2-3 раза кислотное число присадок НІТЕС 580 и Unicor J. Это связано с тем, что в присадке ДНК присутствует только активное вещество – нафтен-овые кислоты по ГОСТ 13302-77, которые и характеризуются таким кислотным числом.

На следующем этапе исследований нами методом хромато-масс-спектрометрии был изучен химический и компонентный состав присадок НІТЕС 580 и Unicor J.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для выделения активного компонента присадок Unicor J и НІТЕС 580 применяли экстракцию водным раствором аммиака. Для этого в стакан на 100 см³ помещали 20 см³ 10 % мас. раствора присадки НІТЕС 580 в гептане и 30 см³ 0,1 % мас. водного раствора аммиака. Смесь интенсивно перемешивали с помощью магнитной мешалки в течение

15 мин. Затем для лучшего разделения образовавшуюся эмульсию подвергали центрифугированию в течение 15 мин при скорости вращения ротора 2500 об/мин. После полного расслоения эмульсии гептановый (верхний) слой декантировали. Из экстракта отгоняли гептан на ротационном испарителе при температуре 55 °С и остаточном вакууме 110 мбар.

Маслообразный остаток, содержащий основные действующие компоненты присадки, анализировали методом масс-спектрометрии высокого разрешения на масс-спектрометре Bruker MicroTOF HR MS (ESI) в Международном аналитическом центре ИОХ.

Хромато-масс-спектрометрическое исследование состава растворителей проводилось на приборе «Хроматэк-Кристалл 5000».

Хроматографическое разделение проводили на капиллярной колонке длиной 30 м с внутренним диаметром 0,25 мм со слабо-полярной неподвижной жидкой фазой марки «НТ-5» в режиме программирования температуры.

Для определения качественного и количественного состава, использовали следующий режим разделения: 50 °С (1 мин.) – 3 °/мин – 150 °С (3 мин.) – 8 °С/мин – 290 °С (10 мин.). Температура инжектора 300 °С. Детектирование проводилось

анализом масс-спектрометров химических соединений, выходящих их хроматографической колонки. Регистрация хроматографических пиков осуществлялась в режиме записи полного ионного тока (ПИТ) с ионизацией электронами, скорость сканирования 0,2 с/сканирование. Диапазон сканирования 14–550 m/z . Энергия ионизирующих электронов в 70 эВ. Идентификация соединений осуществлялась по программе библиотечного поиска. Использована библиотека NIST 05.

Подготовка пробы к хроматографированию: 0,2 мкл образца растворяли в 1 мл дихлорметана. Объем пробы для хроматографического разделения составил 1 мкл.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Масс-спектры экстрактов действующих компонентов присадок HITEC 580 и UNICOR J приведены на рис. 1-2.

На спектрах преобладает молекулярный ион $(M-nH)^+$ 561,4968, что соответствует димеру, образованному из линолевой и олеиновой кислот, а ионы $(M-nH)^+$ с массой 562,5005 и 563,5109 соответствуют природным изотопам этого димера.

Ионы с массой $(M-nH)^+$ 563,5087 и 564,5158 соответствуют димеру двух олеиновых кислот его изотопу.

Ионы с массой $(M-nH)^+$ 559,4805 и 560,4836 соответствуют димеру двух линолевых кислот и его природному изотопу.

Ионы с массой 557,4650 и 558,4662 соответствуют димеру, образованному из линолевой и линоленовой кислот, и его изотопу.

Ионы с массой 555,4503 и 556,4543 соответствует димеру двух линоленовых кислот и его изотопу.

Таким образом, по данным масс-спектров можно сделать вывод, что присадки HITEC 580 и UNICOR J содержат смесь димеров линоленовой, линолевой и олеиновой кислот, среди которых преобладает димер образованный из линолевой и олеиновой кислот. Сравнение рис. 1-2 показывает практически полную идентичность масс-спектров экстрактов активного вещества присадок HITEC 580 и UNICOR J.

Результаты расчета группового углеводородного состава растворителей, использованных в присадках HITEC 580 и UNICOR J, показаны на рис. 3-4.

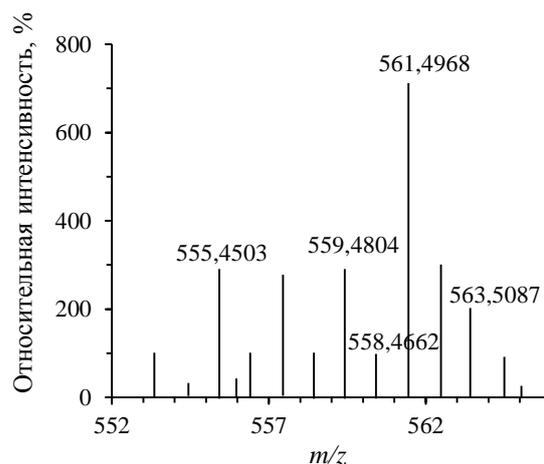


Рис. 1. Фрагмент масс-спектра экстракта присадки HITEC 580
Fig. 1. A fragment of the mass spectrum of the extract of the additive HITEC 580

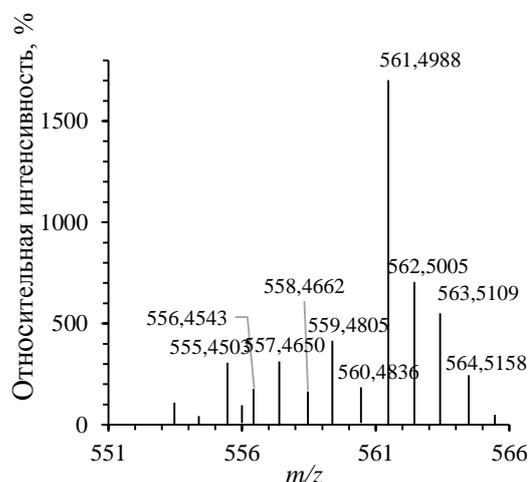


Рис. 2. Фрагмент масс-спектра экстракта присадки UNICOR J
Fig. 2. A fragment of the mass spectrum of the extract of the additive UNICOR J

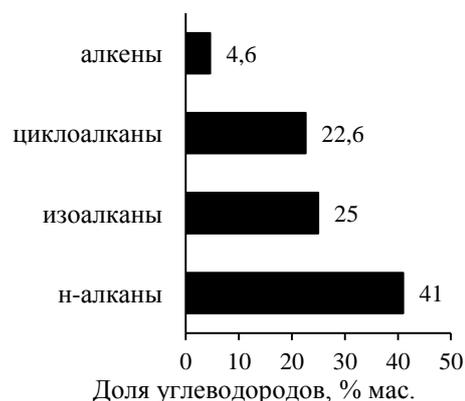


Рис. 3. Результат ГХ-МС определения группового углеводородного состава растворителя, использованного в присадке HITEC 580

Fig. 3. GC-MS result of the determination of the hydrocarbon-type content of the solvent used in the HITEC 580 additive

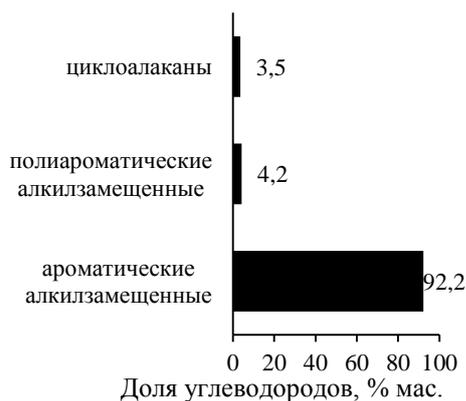


Рис. 4. Результат ГХ-МС определения группового углеводородного состава растворителя, использованного в присадке Unicor J

Fig. 4. GC-MS result of the determination of the hydrocarbon-type content of the solvent used in the Unicor J additive

Идентифицированные по масс-спектрам вещества были отнесены к следующим классам углеводородов – алканы, циклоалканы (нафтены), ароматические алкилзамещенные, полиароматические алкилзамещенные соединения. Таким образом, был рассчитан групповой углеводородный состав растворителей, использованных в присадках НТЕС 580 и Unicor J.

Результаты хромато-масс-спектрометрического анализа растворителей показали, что в качестве растворителя присадки НТЕС 580 применяют алифатический растворитель. Н-алканы преимущественно состоят из декана (5,9%), ундекана (17,2%) и додекана (15,1%); изоалканы преимущественно представлены рядами C_{11} – моно- и диметилзамещенными алканами (6,7%), C_{12} – моно- и диметилзамещенными алканами и моноэтилалканами (11,1%), C_{13} – моно- и диметилзамещенными алканами (4,2%); циклоалканы представлены в основном алкилзамещенными моноциклическими

углеводородами ряда C_{10} (4,2%) и C_{11} (4,1%) и бициклическими C_{10} – декалин (2,7%) и C_{11} – метил-декалин (6,5%); алкены представлены 17-пентаэтриаконтеном ($C_{35}H_{70}$).

В присадке Unicor J в качестве растворителя используется ароматический растворитель, вероятно, продукт риформинга бензинов. Моноароматические соединения представлены в основном составом C_{10} , а именно 1,2,4,5 – тетраметилбензол (21,81%), 1,2,3,4 – тетраметилбензол (21,44%) и 1-этил-3,5-диметилбензол (31,35%). Полиароматические соединения представлены нафталиновыми углеводородами.

ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенные исследования показали, что зарубежные присадки НТЕС 580 и Unicor J в своем составе содержат одинаковый активный компонент – димеры кислот C_{18} , преимущественно олеиновой и линолевой, но различные растворители – в присадке Unicor J используется ароматический растворитель, а в качестве растворителя присадки НТЕС 580 применяют алифатический растворитель.

На основании полученных будет разработана отечественная противоизносная присадка, в состав которой должен входить активный компонент, содержащий 1 или 2 карбоксильные группы и растворитель, либо алифатический, либо ароматический, в зависимости от цены и наличия на отечественном рынке. При разработке требований к отечественной противоизносной присадке необходимо включить требования по показателям: кислотное число, температура застывания, кинематическая вязкость при 40 °С, температура вспышки в закрытом тигле и зольность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. М.: Мир. 2005. 288 с.
2. Вишнякова Т.П., Голубева И.А., Крылов И.Ф., Лыков О.П. Стабилизаторы и модификаторы нефтяных дистиллятных топлив. М.: Химия. 1990. 192 с.
3. Данилов А.М. Развитие исследований в области присадок к топливам. *Нефтехимия*. 2015. Т. 55. № 3. С. 179-190. DOI: 10.7868/S0028242115030028.
4. Санников В.Ю., Ковба Л.В., Поплетеев С.И., Штанда Н.В., Кондукова Н.П., Савельева Л.В., Мельникова И.С. Исследование возможности применения в РФ присадки Unicor J для улучшения противоизносных свойств топлив для реактивных двигателей. *Науч. вестн. ГосНИИ ГА*. 2017. № 18. С. 72-83.
5. Данилов А.М., Овчинников К.А., Бартко Р.В. Задачи и практические результаты импортозамещения в области присадок к топливам и смазочным маслам. *Экспозиция Нефть Газ*. 2017. № 1 (54). С. 17-19.

REFERENCES

1. Danilov A.M. The use of additives in fuels. M.: Mir. 2005. 288 p. (in Russian).
2. Vishnyakova T.P., Golubeva I.A., Krylov I.F., Lykov O.P. Stabilizers and modifiers of petroleum distillate fuels. M.: Khimiya. 1990. 192 p. (in Russian).
3. Danilov A.M. Development of research in the field of fuel additives. *Neftekhimiya*. 2015. V. 55. N 3. P. 179-190 (in Russian). DOI: 10.7868/S0028242115030028.
4. Sannikov V.Yu., Kovba L.V., Popleteev S.I., Shtonda N.V., Kondukova N.P., Savelyeva L.V., Melnikova I.S. Study of the possibility of using Unicor J additives in the Russian Federation to improve the antiwear properties of fuels for jet engines. *Nauch. Vestn. GosNII GA*. 2017. N 18. P. 72-83 (in Russian).
5. Danilov A.M., Ovchinnikov K.A., Bartko R.V. Tasks and practical results of import substitution in the field of additives to fuels and lubricating oils. *Ekspozitsiya Neft Gaz*. 2017. N 1 (54). P. 17-19 (in Russian).

6. Данилов А.М., Салахов И.И., Сафиуллин А.М., Аббасов М.М., Безгина А.М. Разработка и внедрение противозносной присадки на основе жирных кислот из альтернативного растительного сырья. *Мир нефтепродуктов*. 2018. № 5. С. 44-45.
7. Горюнова А.К., Шаталов К.В., Лихтерова Н.М., Козина Л.Н. Влияние жирных кислот растительного происхождения на физико-химические характеристики и эксплуатационные свойства авиакеросинов. *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2017. № 8. С. 45-49.
8. Дейнеко П.С., Васильева Е.Н., Попова О.В., Башкатова С.Т. Нафтеновые кислоты как противозносные присадки к реактивным топливам. *Хим. технол. топлив и масел*. 1994. № 9-10. С. 6-8.
9. Иванова Л.В., Кошелев В.Н., Сокова Н.А., Буров Е.А., Примерова О.В. Нефтяные кислоты и их производные. Получение и применение. *Труды РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина*. 2013. № 1. С. 68-80.
10. Larkin C. Quantification of corrosion inhibitor/lubricity improver in military fuels using infrared spectroscopy. Technical Report. Department of chemistry and Environmental Science Lake Superior State University. Sault Ste. Marie, MI Spring. 2013. 28 p. [Электронный ресурс]. https://pdfs.semanticscholar.org/e775/83bc1d51be5f2ff5e2263a7484f1263a51d2.pdf?_ga=2.138763827.1230923793.1593951928-204898063.1582021415 (дата обращения 11.06.2020).
11. Hardy D.R., Black B.H., Wechter M.A. Quantitative determination of corrosion inhibitors in middle distillate jet fuels by gel permeation chromatography. *J. Chromatogr. A*. 1986. V. 366. P. 351-361. DOI: 10.1016/S0021-9673(01)93483-1.
12. Material Safety Data Sheet: Unisor J [Электронный ресурс]. http://www.chemcas.com/msds/cas/3014/61788-89-4_64742-94-5_109-60-4.asp. (дата обращения 11.05.2018).
13. Johnson D.W., Flake M., Adams R. Determination of corrosion Inhibitor Lubricity Improver in Jet Fuels by Liquid Chromatography-Electrospray Ionization Mass Spectrometry. *LC-GC. Special Issues*. 2014. V. 12 (3). P. 26-32.
14. Смит В.А., Дильман А.Д. Основы современного органического синтеза. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2009. 750 с.
15. Breuer T.E. Dimer Acids. Van Nostrand's Encyclopedia of Chemistry. New York. 2005. P. 1-5. DOI: 10.1002/0471740039.vec0827.
16. Попова Л.М., Курзин А.В., Вершилов С.В., Евдокимов А.Н. Химия и технология органических веществ на основе побочных продуктов ЦБП. СПб.: ВШТЭ СПб ГУПТД. 2016. 61 с.
17. Чинь Х.Ф., Некрасова В.Б., Царев Г.И., Рошин В.И. Каталитическая димеризация линолевой кислоты. *Изв. С-Пб лесотех. акад.* 2012. № 199. С. 226-234.
18. Чинь Х.Ф., Царев Г.И., Рошин В.И. Каталитическая димеризация жирных кислот. *Химия раст. сырья*. 2012. № 2. С. 195-197.
19. Чинь Х.Ф., Царев Г.И., Рошин В.И. Модификация таллового масла листовых пород. *Изв. вузов. Лесной журнал*. 2014. № 2 (338). С. 123-129.
20. Шарин Е.А., Ощенко А.П., Бурмистров О.А., Середа В.А., Колобков Б.И. Противозносные присадки к реактивному топливу. *Деловой журнал. NEFTEGAZ.RU*. 2017. № 4. С. 71-75.
6. Danilov A.M., Salakhov I.I., Safiullin A.M., Abbasov M.M., Bezgina A.M. Development and implementation of anti-wear additives based on fatty acids from alternative plant materials. *Mir Nefteproduktov*. 2018. N 5. P. 44-45 (in Russian).
7. Goryunova A.K., Shatalov K.V., Likhterova N.M., Kozinova L.N. The effect of vegetable fatty acids on the physicochemical characteristics and performance properties of jet fuel. *Neftepererabotka Neftekhim*. 2017. N 8. P. 45-49 (in Russian).
8. Deineko P.S., Vasilieva E.N., Popova O.V., Bashkatova S.T. Naphthenic acids as anti-wear additives for jet fuels. *Khim. Tekhnol. Topliv Masel*. 1994. N 9-10. P. 6-8 (in Russian).
9. Ivanova L.V., Koshelev V.N., Sokova N.A., Burov E.A., Exampleova O.V. Petroleum acids and their derivatives. Receiving and application. *Trudy RGU Nefti Gaza im. I.M. Gubkina*. 2013. N 1. P. 68-80 (in Russian).
10. Larkin C. Quantification of corrosion inhibitor/lubricity improver in military fuels using infrared spectroscopy. Technical Report. Department of chemistry and Environmental Science Lake Superior State University. Sault Ste. Marie, MI Spring. 2013. 28 p. [Electronic resource]. https://pdfs.semanticscholar.org/e775/83bc1d51be5f2ff5e2263a7484f1263a51d2.pdf?_ga=2.138763827.1230923793.1593951928-204898063.1582021415 (date of the application 11.06.2020).
11. Hardy D.R., Black B.H., Wechter M.A. Quantitative determination of corrosion inhibitors in middle distillate jet fuels by gel permeation chromatography. *J. Chromatogr. A*. 1986. V. 366. P. 351-361. DOI: 10.1016/S0021-9673(01)93483-1.
12. Material Safety Data Sheet: Unisor J [Electronic resource]. http://www.chemcas.com/msds/cas/3014/61788-89-4_64742-94-5_109-60-4.asp. (date of the application 11.05.2018).
13. Johnson D.W., Flake M., Adams R. Determination of corrosion Inhibitor Lubricity Improver in Jet Fuels by Liquid Chromatography-Electrospray Ionization Mass Spectrometry. *LC-GC. Special Issues*. 2014. V. 12 (3). P. 26-32.
14. Smith V.A., Dilman A.D. Fundamentals of modern organic synthesis. M.: BINOM. Laboratoriya znaniy. 2009. 750 p. (in Russian).
15. Breuer T.E. Dimer Acids. Van Nostrand's Encyclopedia of Chemistry. New York. 2005. P. 1-5. DOI: 10.1002/0471740039.vec0827.
16. Popova L.M., Kurzin A.V., Vershilov S.V., Evdokimov A.N. Chemistry and technology of organic substances based on by-products of pulp and paper industry. SPb.: VSHTe SPb GUPTD. 2016. 61 p. (in Russian).
17. Chin H.F., Nekrasova V.B., Tsarev G.I., Roshchin V.I. Catalytic dimerization of linoleic acid. *Izv. SPb. Lesotekh. Acad.* 2012. N 199. P. 226-234 (in Russian).
18. Chin H.F., Tsarev G.I., Roshchin V.I. Catalytic dimerization of fatty acids. *Khimiya Rast. Syr'ya*. 2012. N 2. P. 195-197 (in Russian).
19. Chin H.F., Tsarev G.I., Roshchin V.I. Modification of tall hardwood oil. *Izv. vuzov. Lesnoy Zhurn.* 2014. N 2 (338). P. 123-129 (in Russian).
20. Sharin E.A., Oschenko A.P., Burmistrov O.A., Sereda V.A., Kolobkov B.I. Anti-wear additives for jet fuel. *Delovoy Zhurn. NEFTEGAZ.RU*. 2017. N 4. P. 71-75 (in Russian).

Поступила в редакцию 06.07.2020

Принята к опубликованию 22.09.2020

Received 06.07.2020

Accepted 22.09.2020