

## 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 C<sub>18</sub>, 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 C<sub>10</sub>, 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 C<sub>18</sub>, 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 C<sub>10</sub> 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 C<sub>18</sub> (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 C<sub>18</sub> представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Физико-химические характеристики димеров жирных кислот C<sub>18</sub>**

**Table 1. Physico-chemical characteristics of dimers of fatty acids C<sub>18</sub>**

Свойство	Значение
Температура застывания, °С	-12 – -18
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С	288
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	-	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 C<sub>18</sub> (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 см<sup>3</sup> помещали 20 см<sup>3</sup> 10 % мас. раствора присадки НІТЕС 580 в гептане и 30 см<sup>3</sup> 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.

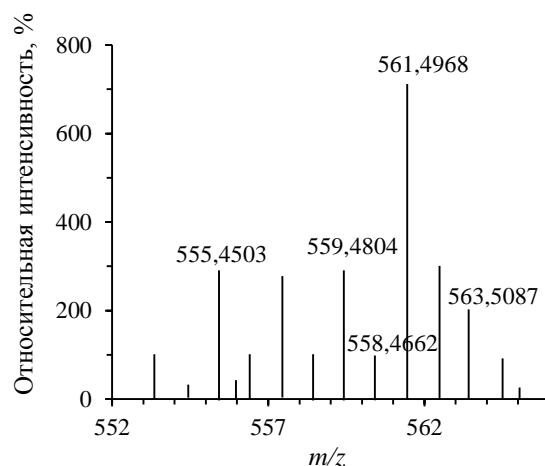


Рис. 1. Фрагмент масс-спектра экстракта присадки HITEC 580  
Fig. 1. A fragment of the mass spectrum of the extract of the additive HITEC 580

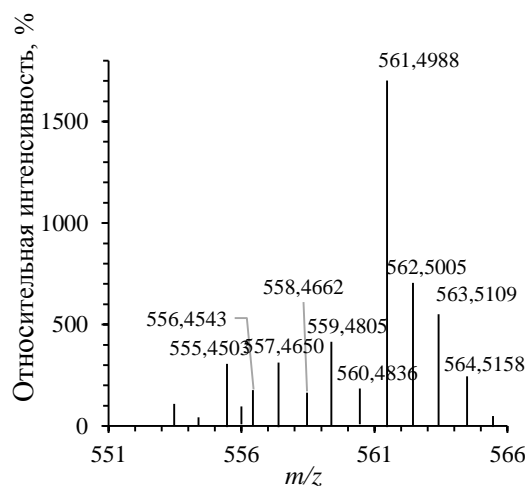


Рис. 2. Фрагмент масс-спектра экстракта присадки UNICOR J  
Fig. 2. A fragment of the mass spectrum of the extract of the additive UNICOR J

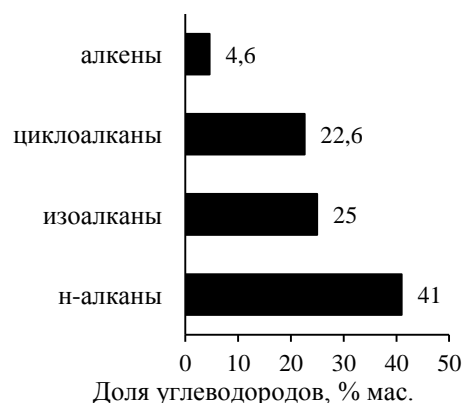


Рис. 3. Результат ГХ-МС определения группового углеводородного состава растворителя, использованного в присадке HITEC 580

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

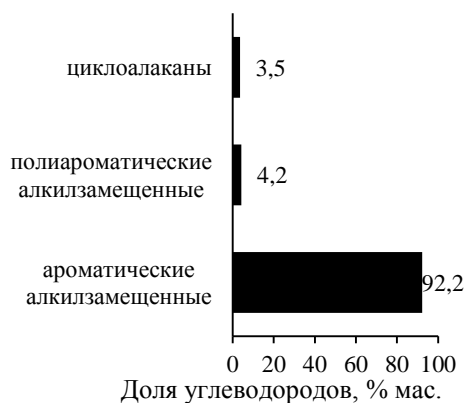


Рис. 4. Результат ГХ-МС определения группового углеводородного состава растворителя, использованного в присадке Unicor J

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  $C_{11}$  – метилдекалин (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](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: Unicor J [Электронный ресурс]. [http://www.chemcas.com/msds/cas/3014/61788-89-4\\_64742-94-5\\_109-60-4.asp](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](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: Unicor J [Electronic resource]. [http://www.chemcas.com/msds/cas/3014/61788-89-4\\_64742-94-5\\_109-60-4.asp](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