

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 665.11:621.89.09

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-41-45



Противоизносная присадка к смазочным материалам, полученная из жиросодержащих отходов мясоперерабатывающих предприятий

Сергей Михайлович Гайдар, д-р техн. наук, профессор

techmash@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>; Scopus Author ID: 57191589797; Researcher ID: I-4723-2018

Оксана Михайловна Лапсарь, аспирант

o.lapsary@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. Жиросодержащие отходы мясоперерабатывающей промышленности, представляющие собой жир-сырец, являются недорогим возобновляемым сырьем для производства ПАВ (поверхностно-активного вещества). Предложена технология переработки жира-сырца в поверхностно-активные вещества, включающая в себя два технологических процесса: деэмульгирование жиросодержащей водной эмульсии и получение технического жира (триглицерида); переработку технического жира в поверхностно-активное вещество (амидожирные кислоты). Представлена технологическая схема переработки жира-сырца в технический жир. Технология переработки триглицеридов реализована на лабораторной пилотной установке. Синтез поверхностно-активных веществ происходил при нагревании технического жира, моноэтаноламина и борной кислоты до температуры 180°C в течение 1,5 ч при соотношении (мас. %): технический жир – 65,3...72,4; моноэтаноламин – 14,5...170; борная кислота – 100. Полученное поверхностно-активное вещество испытано на четырехшариковой машине трения как противоизносная присадка к смазочным маслам. Результаты трибологических испытаний показали высокую эффективность полученного поверхностно-активного вещества при использовании его в качестве противоизносной добавки в базовое масло И-20 в количестве 10%. Износ для контрольного образца (базовое масло) составил 207 мкм, а для смазочной композиции на основе амидожирных кислот – 167 мкм. Разработанная технология переработки жира-сырца в поверхностно-активные вещества может быть рекомендована для производства технической продукции: ингибиторов коррозии, противоизносной присадки, эмульгаторов, технических моющих средств и т.д.

Ключевые слова: жиросодержащие отходы мясоперерабатывающей промышленности, синтез поверхностно-активных веществ из технического жира, моноэтаноламин, жир-сырец, триглицерид, ПАВ, амиды жирных кислот, противоизносная присадка

Благодарности. Исследование «Разработка технологии переработки жиросодержащих отходов мясной отрасли» выполнено при финансовой поддержке внутриуниверситетского конкурса «Аспирантский научный контракт» в рамках программы развития университета в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Формат цитирования: Гайдар С.М., Лапсарь О.М. Противоизносная присадка к смазочным материалам, полученная из жиросодержащих отходов мясоперерабатывающих предприятий // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 2. С. 41-45. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-41-45>

© Гайдар С.М., Лапсарь О.М., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Obtaining an anti-wear additive to lubricants based on fat-containing waste from meat processing enterprises

Sergey M. Gaidar, DSc (Eng), Professor

techmash@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>; Scopus Author ID: 57191589797; Researcher ID: I-4723-2018

Oksana M. Lapsar, postgraduate student

o.lapsary@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Abstract. Fat-containing waste from the meat processing industry (crude fat) is an inexpensive renewable raw material for the production of surfactants. The authors propose a technology of processing crude fat into surfactants that consists of two

technological processes: demulsification of a fat-containing aqueous emulsion and production of technical fat (triglyceride); technical fat processing into a surfactant (amide-fatty acids). The article presents a technological scheme of processing crude fat into technical fat. The technology of processing triglycerides has been tested in a laboratory pilot plant. Surfactants were synthesized when technical fat, monoethanolamine and boric acid were heated to a temperature of 180°C for 1.5 hours at a ratio (wt.%): technical fat – 65.3 to 72.4; monoethanolamine – 14.5 to 170; boric acid – 100. The resulting surfactant was tested on a four-ball friction machine as an anti-wear additive to lubricating oils. The results of tribological tests have shown the high efficiency of the obtained surfactant when used as an anti-wear additive in the base oil I-20 in an amount of 10%. Wear for the control sample (base oil) amounted to 207 microns, and that for a lubricant composition based on fatty acid amides – to 167 microns. The developed technology of processing crude fat into surfactants can be recommended for obtaining technical products: corrosion inhibitors, anti-wear additives, emulsifiers, technical detergents, etc.

Keywords: fat-containing waste from the meat processing industry, synthesis of surfactants from technical fat, monoethanolamine, crude fat, triglyceride, surfactants, fatty acid amides, anti-wear additives

Acknowledgements. The research “Development of fat-containing waste processing technology for the meat industry” was carried out with the financial support of the intra-university competition “Postgraduate Research Contract” within the framework of the University development programme in accordance with the “Priority 2030” strategic academic leadership programme.

For citation: Gaidar S.M., Lapsar O.M. Obtaining an anti-wear additive to lubricants based on fat-containing waste from meat processing enterprises. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(2):41-45. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-41-45>

Введение. Жиродержащие отходы мясоперерабатывающей промышленности представляют собой жир-сырец низкого качества или жиродержащую эмульсию 4 класса опасности. Такие отходы не подлежат захоронению или утилизации при высоких температурах^{1,2} [1, 2]. При ежегодной переработке 110...115 млн т сельскохозяйственного сырья образуется более 50 млн т побочного сырья [3]. Не все жиродержащие отходы можно переработать в корма. Жир-сырец может применяться для получения различной технической продукции, используемой в промышленности: пеногасителей, ингибиторов коррозии, флотореагентов, эмульгаторов и т.д.³ [3].

Утилизация побочного сырья приводит к экологическому ущербу и снижению рентабельности производства. Исследования показали, что при максимальном использовании побочного сырья экономические показатели могут быть повышены в три раза⁴ [4].

Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия предусмотрены мероприятия по развитию переработки продукции животноводства, в том числе планируется увеличить сбор и переработку побочных сырьевых ресурсов для выработки

различных видов продукции и довести интегрированный показатель глубины переработки до 90...95%⁵.

Жиродержащие отходы мясоперерабатывающей промышленности являются недорогим возобновляемым сырьем для производства ПАВ. Основным исходным сырьем для синтеза ПАВ являются жирные кислоты, получаемые из растительных и животных жиров (триглицеридов)^{6,7} [5, 6].

Цель исследований: разработать технологию синтеза поверхностно-активных веществ из жиродержащих отходов мясоперерабатывающей промышленности.

Материалы и методы. Технический жир представляет собой сложные эфиры трехатомного спирта (глицерин) и высших жирных кислот.

В составе триглицеридов присутствуют насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты⁸.

Синтез поверхностно-активных веществ из технического жира проводился на основе моноэтаноламина (МЭА) $H_2N - CH_2 - CH_2 - OH$ ⁹ [7].

Благодаря особенностям строения атома В, имеющего на внешней оболочке 3 электрона и не имеющего в трехвалентных соединениях полного электронного октета, атом бора обладает большим сходством с электронодонорными реагентами, образуя с ними молекулярные соединения, вследствие чего он становится тетракоординационным и приобретает тетраэдрическую конфигурацию.

¹ Сизенко Е.И., Комаров В.И. Вторичные сырьевые ресурсы пищевой и перерабатывающей промышленности АПК России и охрана окружающей среды: Справочник / Под общ. ред. Е.И. Сизенко. М., 1999. 68 с.

² Глубокая переработка отходов животноводства // Агробизнес. ФГБНУ «Росинформагротех»-2018. URL: https://agbz.ru/articles/glubokaya-pererabotka-othodov-jivotnovodstva/?sphrase_id=2205929.

³ Федоренко В.Ф., Мишуков Н.П., Голубев И.Г., Неменуцкая Л.А., Коноваленко Л.Ю. Глубокая переработка сельскохозяйственного сырья: научное издание. ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. 160 с.

⁴ Технология переработки жиров / Н.С. Артюнян, Е.А. Аришева, Л.И. Янова, И.И. Захарова, Н.Л. Меламуд. М.: Агропромиздат, 1985. 368 с.

⁵ Файвишеский М.Л. Переработка непищевых отходов мясоперерабатывающих предприятий // СПб.: ГИОРД, 2000. 256 с.

⁶ Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества: свойства и применение: Справочник. Л.: Химия, 1981. 304 с.

⁷ Убой животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях, побочные продукты животноводства: ИТС 43-2017.

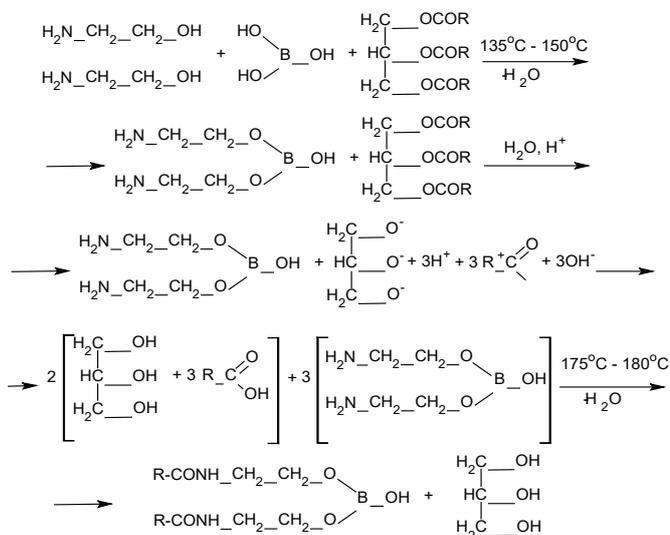
⁸ Химия жиров / Б.Н. Тюпюников, З.И. Бухштаб, Ф.Ф. Гладкий и др. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1992. 448 с.

⁹ Шенфельд Н. Неионогенные моющие средства продукты при соединениях окиси этилена. М.: Химия, 1965. 487 с.

При получении амидов жирных кислот использовалось соединение бора – борная кислота H_3BO_3 ¹⁰.

Метод переработки жиросодержащих отходов мясоперерабатывающей промышленности состоит из двух этапов. На первом этапе жир-сырец отделяется от воды и перерабатывается в технический жир (рис. 1).

На втором этапе из технического жира синтезируются амидожиры кислоты^{11,12}. Способ получения амидов жирных кислот включает в себя стадию нагревания технического жира, моноэтаноламина и борной кислоты до температуры 180°C в течение 1,5 ч при соотношении технического жира, моноэтаноламина и борной кислоты (мас.%): 65,3...72,4; 14,5...170; до 100 [8]. Реакция гидролитического расщепления жира и получения амида жирных кислот реализуется по схеме:



В реактор загружаются сначала аминспирт и борная кислота. Реакционная масса перемешивается при подогреве до 110°C. В результате образуется гомогенная смесь, в которой протекает реакция конденсации с образованием бората аминспирта и выделением воды при температуре 135...150°C. При введении в реактор триглицеридов параллельно происходит воздействие на жир водяного пара и катализатора, роль которого выполняет борная кислота. Борная кислота дает активный протон, который способствует присоединению молекулы воды в процессе гидролиза триглицерида. В результате происходит гидролитическое расщепление триглицерида с образованием жирных кислот и глицерина.

При гидролизе триглицеридов происходит разрыв связей ацил-кислород, а не акил-кислород, вследствие чего к спиртовому остатку присоединяется H^+ , а к ацильной группе – OH^- .

При повышении температуры реакционной массы до температуры 180°C происходит реакция конденсации

¹⁰ Арутюнян Н.С., Аришева Е.А., Янова Л.И. и др. Технология переработки жиров: учебник. М.: Агропромиздат, 1985. 368 с.

¹¹ Стопский В.С., Ключкин В.В., Андреев Н.В. Химия жиров и продуктов переработки жирового сырья: учебник. М.: Колос, 1992. 286 с.

¹² Бор, его соединения и сплавы / Под ред. Г.В. Самсонова. Киев: Издательство АН Украинской ССР, 1960. 591 с.

с образованием амидов жирных кислот (АЖК). В готовом продукте получаем смесь амидов жирных кислот и глицерина.

Образец ПАВ синтезирован из жиросодержащих отходов мясоперерабатывающей промышленности на установке (рис. 2).

Трибологические показатели определялись на четырёхшариковой машине КТ-2 с помощью температурного метода оценки смазочной способности, в котором реализована низкая скорость относительного перемещения трущихся тел (0,24 мм/с) и практически отсутствие фрикционного нагрева, а температура в узле трения задаётся от внешнего источника тепла [9]. Схема узла трения представлена на рисунке 3. Исследование проводили в диапазоне температур 30...300°C.



Рис. 1. Технологическая схема переработки жира-сырца в технический жир

Fig. 1. Technological scheme of processing crude fat into technical fat



Рис. 2. Экспериментальная установка, обеспечивающая синтез поверхностно-активных веществ из технического жира:

- 1 – магнитная мешалка с подогревом;
- 2 – стеклянная колба; 3 – термометр; 4 – холодильник;
- 5 – емкость для сбора конденсата

Fig. 2. Experimental installation used to synthesize surfactants from technical fat:

- 1 – heated magnetic stirrer; 2 – glass flask; 3 – thermometer;
- 4 – refrigerator; 5 – condensate collection tank

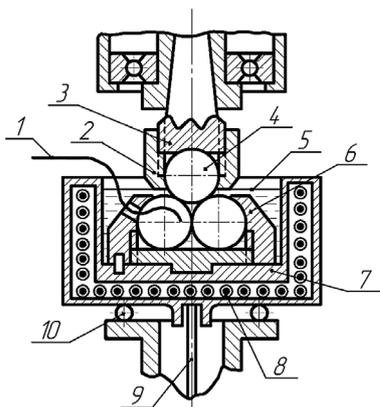


Рис. 3. Схема узла трения машины КТ-2:

- 1 – термопара; 2 – накидная гайка; 3 – шпиндель;
- 4 – шарик; 5 – масло; 6 – оправка;
- 7 – масляная чашка; 8 – нагреватель; 9 – торсион

Fig. 3. Diagram of the friction unit of the KT-2 machine:

- 1 – thermocouple; 2 – cap nut; 3 – spindle;
- 4 – ball; 5 – oil; 6 – mandrel;
- 7 – oil cup; 8 – heater; 9 – torsion bar

Температура узла трения ступенчато повышалась со скоростью ~4°C в минуту. Коэффициент трения оценивался в течение 60 с через каждые 10°C. Осевая нагрузка на узел трения составляла 108,4 Н (контактная нагрузка на один шар – 44,2 Н). Для испытаний синтезируемого ПАВ применили стандартные подшипниковые шарики из стали 100Cr6 (аналог отечественной стали ШХ15) диаметром 7,94 мм [10]. В качестве регистрируемых параметров выступали температура смазочного материала и значение момента трения, на основе которого определяли коэффициент трения. Графики зависимости коэффициента трения от температуры строились по результатам трех повторных испытаний.

После трибологических испытаний шарики промывали в растворителе для удаления остатков смазочного материала, на оптическом микроскопе измеряли диаметр пятен износа и делали фотографии для оценки степени повреждения поверхности шариков [11].

Результаты и их обсуждение. Разработанная технология переработки жиросодержащих отходов мясоперерабатывающей промышленности в технический жир позволяет в дальнейшем синтезировать органическое соединение – амиды жирных кислот, являющиеся поверхностно-активным веществом (ПАВ). Полученное на экспериментальной установке ПАВ использовали в качестве противоизносной добавки к базовому маслу И-20. Оптимальная концентрация ПАВ в смазочной композиции, определенная по результатам трибологических испытаний, составила 10% (рис. 4)

Износ образцов, определяемый при температуре 90°C, характерный для режима эксплуатации ДВС, для контрольного образца (масло И-20) составил 207 мкм, а для смазочной композиции – 167 мкм. Результаты представлены на рисунках 5, 6.

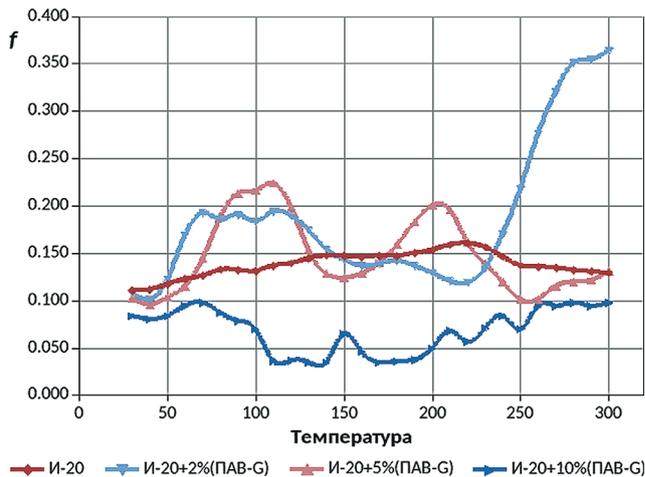


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения f от концентрации ПАВ и температуры

Fig. 4. Relationship between the friction coefficient f , the concentration of surfactants, and temperature

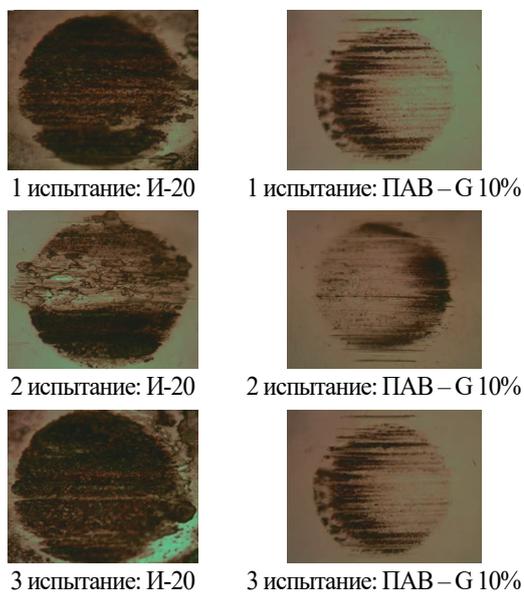


Рис. 5. Пятна износа при проведении трибологических испытаний

Fig. 5. Wear spots observed during tribological tests

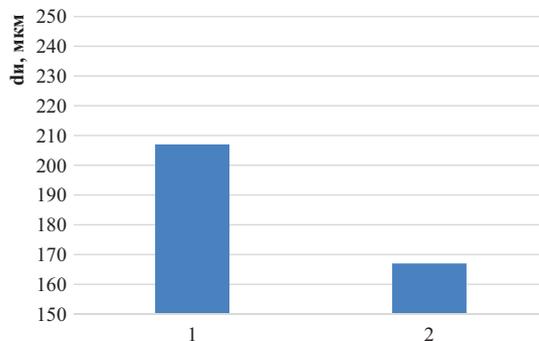


Рис. 6. Гистограмма средних значений диаметров пятен износа при температуре 90°C:

- 1 – И-20; 2 – ПАВ (10%)

Fig. 6. Histogram of average wear spot diameters at a temperature of 90°C:

- 1 – I-20; 2 – surfactant (10%)

Результаты трибологических исследований позволяют рекомендовать разработанное ПАВ для производства технической продукции: ингибиторов коррозии, противозносной присадки, эмульгаторов, технических моющих средств и т.д.

Выводы

1. Разработанная технология переработки жира-сырца в поверхностно-активные вещества является

безотходной технологией, позволяющей расширить ассортимент технических материалов, получаемых жиросодержащих отходов мясоперерабатывающей промышленности.

2. Противозносная присадка, добавленная к базовым маслам в количестве 10%, показала высокую эффективность: износ для контрольного образца с базовым маслом составил 207 мкм, а для смазочной композиции – 167 мкм.

Библиографический список

1. Технологическая линия переработки жиросодержащих отходов: Патент. RU113270 U1 Российская Федерация, МПК C11B13/00 / А.В. Соловьев, И.В. Карпов, А.А. Червяков. № 2011139445/13. Заяв. 27.09.2011; опублик. 10.02.2012. EDN: JOYWWS
2. Коноваленко Л.Ю. Убой и первичная переработка скота в России: состояние и перспективы // Пищевая промышленность. 2016. № 12. С. 16-19. EDN: XHBLN.
3. Ланенцкий В.А. Использование отходов масложировой промышленности // Масложировая промышленность. 2008. № 5. С. 14-17. EDN: JUWFCB.
4. Гарзанов А.Л., Клячко А.А., Наумов М.М. Опыт создания очистных сооружений для птицефабрик // Мясная индустрия. 2013. № 1. С. 63. EDN: PXTWUZ.
5. Гарзанов А.Л., Клячко А.А., Наумов М.М., Пелевин Б.П. Очистка сточных вод современного предприятия // Мясная индустрия. 2015. № 9. С. 34-35. EDN: UIOXRH.
6. Горбунова Н.А. Проблемы и перспективы развития технической базы мясной отрасли // Мясной ряд. 2006. № 1 (23). С. 42-45.
7. Гайдар С.М., Карелина М.Ю., Хоанг Д.К., Ершов В.С., Акулов А.А., Волков А.О. Исследования сырья растительного происхождения для синтеза ингибиторов коррозии с целью продления срока службы металлоконструкций и техники в условиях повышенной влажности // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. № 1 (64). С. 17-23. EDN: YEQRTH.
8. Способ получения моно- и диэтаноламидов жирных кислот: Патент № RU2787477 от 09.01.2023 г. / С.М. Гайдар, В.Е. Коноплев, О.М. Лапсарь, Т.И. Балькова, А.М. Пикина, И.А. Посуныко. Заяв. № 2022109878 от 13.04.2022 г. EDN: BNRHNN.
9. Буяновский И.А., Лашхи В.Л., Самусенко В.Д. Развитие температурного метода оценки смазочной способности масел // Мир нефтепродуктов: Вестник нефтяных компаний. 2017. № 2. С. 28-33. EDN: XVABJP.
10. Буяновский И.А., Лашхи В.Л., Самусенко В.Д., Доценко А.И. Трибологические характеристики сульфонатов кальция как детергентов к моторным маслам // Трение и износ. 2017. Т. 38, № 2. С. 100-106. EDN: YOCWXJ.
11. Самусенко В.Д., Албагачиев А.Ю., Буяновский И.А. Трибологические испытания при высоких температурах смазок российского производства для космических механизмов // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, г. Уфа, 2019 г. Т. 4. Уфа: Башкирский государственный университет, 2019. С. 489-490. EDN: LLYNGP.

С.М. Гайдар, О.М. Лапсарь имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.12.2022; поступила после рецензирования и доработки 01.02.2023; принята к публикации 03.02.2023

References

1. Solovyov A.V., Karpov I.V., Chervyakov A.A. Technological line for processing fat-containing waste: Pat. RU113270 U1 Russian Federation, IPC C11B13/00 / No. 2011139445/13; applied on 27.09.2011; issued on 10.02.2012. (In Rus.)
2. Konovalenko L.Y. Slaughter and primary processing of livestock in Russia: state and prospects. *Food industry*. 2016;12:16-19. (In Rus.)
3. Lanetskiy V.A. The use of waste from the fat-and-oil industry. *Fat-and-oil industry = Maslozhirovaya promyshlennost*. 2008;5:14-17. (In Rus.)
4. Garzanov A.L., Klyachko A.A., Naumov M.M. The experience of creating treatment facilities for poultry farms. *Meat industry*. 2013;1:63. (In Rus.)
5. Garzanov A.L., Klyachko A.A., Naumov M.M., Pelevin B.P. Wastewater treatment of a modern enterprise. *Meat industry*. 2015;9:34-35. (In Rus.)
6. Gorbunova N.A. Problems and development prospects of the technical facilities of the meat industry. *Myasnoy ryad*. 2006;1(23):42-45. (In Rus.)
7. Gaidar S.M., Karelina M.Yu., Hoang D.K., Ershov V.S., Akulov A.A., Volkov A.O. Studies of plant-based raw materials for the synthesis of corrosion inhibitors in order to extend the service life of metal structures and equipment in conditions of high humidity. *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2021;1(64):17-23. (In Rus.)
8. Method of obtaining mono- and diethanolamides of fatty acids: Patent No. RU2787477 dated 09.01.2023 / Gaidar S.M., Konoplev V.E., Lapsar O.M., Balkova T.I., Pikina A.M., Posunko I.A. Application No. 2022109878 dated 13.04.2022 (In Rus.)
9. Buyanovsky I.A., Lashkhi V.L., Samusenko V.D. Developing a temperature method for assessing the lubricity of oils. *World of Petroleum Products*. 2017;2:28-33. (In Rus.)
10. Buyanovsky I.A., Lashkhi V.L., Samusenko V.D., Dotsenko A.I. Tribological characteristics of calcium sulfonates as detergents to motor oils. *Friction and wear*. 2017;38(2):100-106. (In Rus.)
11. Samusenko V.D., Albagachiev A.Yu., Buyanovskiy I.A. Tribological tests at high temperatures of Russian-made lubricants for space mechanisms. *XII Vserossiyskiy syezd po fundamentalnym problemam teoreticheskoy i prikladnoy mekhaniki*, Ufa, 2019. Ufa: Bashkir State University, 2019;4:489-490. (In Rus.)

S.M. Gaidar, O.M. Lapsar have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Received 01.12.2022; revised 01.02.2023; accepted 03.02.2023