

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-4-440-451

EDN: HHVBDX

УДК 504.75:621.899

Научная статья / Research article

## Экологически чистый и экономически эффективный подход: получение смазочных материалов из отработанных масел

Д.В. Волков<sup>✉</sup>, А.В. Маркелов*Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация*<sup>✉</sup>volkovdv@ystu.ru

**Аннотация.** Актуальность проблемы регенерации, утилизации и повторного использования отработанных технических масел обусловлена современными тенденциями технологического развития, ужесточением нормативно-правового регулирования в области обращения с промышленными отходами, а также необходимостью реализации принципов ресурсосбережения и устойчивого природопользования. Цель исследования – разработка и обоснование комплексного технологического подхода к регенерации отработанных масел, ориентированного на восстановление эксплуатационных характеристик продукции при обеспечении экологической безопасности и экономической целесообразности. Объектом исследования являются отработанные технические масла, современные методы переработки, а также ассортимент получаемых на их основе товарных смазочных материалов с учетом сфер их промышленного применения. В основу методологии положен системный подход, объединяющий экологические, экономические и технологические аспекты. Рассмотрены особенности состава и свойств отработанных технических масел, трансформация их физико-химических характеристик под воздействием экзогенных и эндогенных факторов. Выявлены потенциальные риски гидроэкологического загрязнения, почвенно-экологических нарушений и антропогенного влияния на организм человека при нарушении правил утилизации. Проанализированы методологии регенерации отработанных масел, базирующиеся на фундаментальных и современных подходах. Выделены мембранные технологии, которые представляют собой инновационный метод очистки с использованием высокоселективных фильтрующих элементов, позволяющих осуществлять глубокую очистку масла на молекулярном уровне. Раскрыто производство товарных смазочных материалов из отработанных масел, рассмотрены этапы переработки и последовательность технологических операций. Определены экологические и экономические выгоды переработки, а также выявлены проблемы и перспективы развития отрасли. Комплексный подход затрагивает интегрирующие принципы экологической безопасности и экономической целесообразности. Результаты анализа подтверждают, что регенерация отработанных масел в смазочные материалы является устойчивым решением, способствующим формированию замкнутого цикла управления ресурсами.

© Волков Д.В., Маркелов А.В., 2025

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**Ключевые слова:** отработанное масло, утилизация, присадки, риски, смазочные материалы, методы переработки, экология

**Вклад авторов.** Волков Д.В. — участие в подготовке материалов, разработка и написание основных разделов статьи. Маркелов А.В. — формирование концепции исследования, внесение в подготовку ключевых разделов, научное редактирование текста. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

**История статьи:** поступила в редакцию 12.08.2025; доработана после рецензирования 04.09.2025; принята к публикации 09.09.2025.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Волков Д.В., Маркелов А.В. Экологически чистый и экономически эффективный подход: получение смазочных материалов из отработанных масел // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 4. С. 440–451. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-4-440-451>

## **An environmentally friendly and cost-effective approach: obtaining lubricants from waste oils**

**Danil V. Volkov<sup>✉</sup>, Alexander V. Markelov**

*Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation*

<sup>✉</sup>[volkovdv@ystu.ru](mailto:volkovdv@ystu.ru)

**Abstract.** The relevance of the problem of regeneration, recycling and reuse of waste technical oils is due to modern trends in technological development, tightening of legal regulation in the field of industrial waste management, as well as the need to implement the principles of resource conservation and sustainable nature management. The aim of the study is to develop and justify an integrated technological approach to the regeneration of waste oils, aimed at restoring the performance characteristics of products while ensuring environmental safety and economic feasibility. The object of the study is waste technical oils, modern processing methods, as well as the range of commercial lubricants obtained on their basis, taking into account the areas of their industrial application. The methodology is based on a systems approach that combines environmental, economic and technological aspects. The paper considers the features of the composition and properties of waste technical oils, the transformation of their physicochemical characteristics under the influence of exogenous and endogenous factors. Potential risks of hydroecological pollution, soil and environmental disturbances and anthropogenic impact on the human body in case of violation of disposal rules are identified. The study analyzes waste oil regeneration methodologies based on fundamental and modern approaches. Membrane technologies are highlighted, which represent an innovative cleaning method using highly selective filter elements that allow deep refining of oil at the molecular level. The article describes the production of commercial lubricants from waste oils, the processing stages, and the sequence of process operations. The environmental and economic benefits of recycling are determined, and the problems and prospects for the development of the industry are identified. The integrated approach covers the integrating principles of environmental

safety and economic feasibility. The results of the analysis confirm that the regeneration of waste oils into lubricants is a sustainable solution that contributes to the formation of a closed resource management cycle.

**Keywords:** waste oil, recycling, additives, risks, lubricants, recycling methods, ecology

**Authors' contribution.** *Volkov D.V.* — participation in the preparation of materials, development and writing of the main sections of the article. *Markelov A.V.* — formation of the research concept, introduction of key sections into the preparation, scientific editing of the text. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 12.08.2025; revised 04.09.2025; accepted 09.09.2025.

**Conflicts of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

**For citation:** Volkov DV, Markelov AV. An environmentally friendly and cost-effective approach: obtaining lubricants from waste oils. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(4):440–451. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-4-440-451>

## Введение

Актуальность исследования проблемы регенерации, утилизации и использования отработанных технических масел обусловлена совокупностью факторов современного технологического развития. В настоящее время актуализация данного вопроса определена ужесточением нормативно-правовой базы в сфере обращения с отходами производства, а также императивами ресурсосбережения и рационального природопользования.

Экологический аспект проблемы утилизации отработанных масел представляет собой фундаментальную значимость в контексте сохранения экосистем. Неадекватные методы утилизации данных отходов производства способны инициировать необратимые изменения в биосфере и антропосфере, что обуславливает необходимость разработки и внедрения инновационных технологий переработки.

**Цель исследования** – разработка комплексного подхода к переработке отработанных масел, обеспечивающего получение качественных смазочных материалов при соблюдении принципов экологической безопасности и экономической целесообразности.

## Объекты и методы

Объектами исследования выступают отработанные технические масла с их физико-химическими характеристиками и особенностями состава, современные технологические процессы их переработки, а также ассортимент товарных смазочных материалов, получаемых в результате переработки, с учетом их практического применения в различных отраслях промышленности.

Методологическая база исследования предполагает комплексный подход, интегрирующий принципы экологической безопасности, экономической целесообразности и технологического прогресса. Исследование компонентного

состава отработанных технических масел базируется на проведении комплексного анализа их физико-химических характеристик, что реализуется посредством применения современной методологической базы. Аналитическая платформа исследования интегрирует широкий спектр диагностических методов, обеспечивающих детальное изучение структурных особенностей и функциональных свойств исследуемых образцов.

Углеводородная основа отработанных масел демонстрирует сохранение базовой структуры, генетически связанной с исходным сырьем, при этом характеризуется присутствием до 15–20 % растворимых продуктов окислительных процессов, представленных смолистыми соединениями и оксикислотами. Присадочный комплекс демонстрирует гетерогенную природу, включающую как растворимые, так и нерастворимые компоненты, часть которых сохраняет потенциал для вторичного использования в процессе переработки.

Многокомпонентная структура отработанных масел формируется за счет взаимодействия базовых масляных композиций с измененной структурой продуктов окисления углеводородных соединений, металлосодержащих элементов (включая свинец, железо, кальций, фосфор, цинк, магний), функциональных присадок различного назначения, а также механических включений и продуктов износа.

Диагностический инструментарий комплексного анализа базируется на применении спектроскопических методов для структурно-составного анализа, хроматографического исследования компонентного состава, масс-спектрометрического определения элементной составляющей и фотометрической оценки уровня загрязненности образцов.

## **Результаты и обсуждение**

Ресурсный потенциал отработанных масел в рамках концепции рационального природопользования характеризуется высокой степенью утилитарности как вторичного сырьевого ресурса. Инновационные технологические решения обеспечивают продуктивную трансформацию их в компоненты для производства новой продукции, что способствует оптимизации потребления первичных природных ресурсов и минимизации энергоемкости производственных процессов смазочных материалов.

Композиционный состав отработанных технических масел демонстрирует их поликомпонентную природу, включающую как ценные технологические составляющие, так и потенциально экотоксичные компоненты. Химическая структура отражает гетерогенность, обусловленную спецификой базового масла (моторные, трансмиссионные, промышленные масла) и условиями их эксплуатационного цикла.

Токсикологический профиль отработанных масел характеризуется присутствием полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), полигало-

гендифенилов, серо- и хлорсодержащих присадок, металлоорганических (свинец, барий, сурьма, цинк) и нитритных соединений [1].

Трансформация физико-химических характеристик отработанных масел в процессе их эксплуатационного применения демонстрирует существенное изменение реологических параметров под воздействием как экзогенных, так и эндогенных факторов.

Экзогенное воздействие реализуется посредством загрязнения масляной основы продуктами пиролиза углеводородного топлива, атмосферной пыли, водной составляющей и абразивными металлическими частицами, а также посредством влияния климатических параметров окружающей среды, в частности температурного режима, при котором наблюдается снижение вязкостных характеристик масла с последующим ухудшением его защитных функциональных свойств.

Эндогенные процессы характеризуются комплексом деструктивных изменений, включающих окислительные реакции масляной основы, деградацию функциональных присадок (детергентных, диспергирующих, нейтрализующих компонентов), каталитическое воздействие контактирующих металлических поверхностей, а также реологические модификации, обусловленные испарением легких фракций и аккумуляцией продуктов неполного окисления углеводородного топлива.

Комплексный анализ последствий ненадлежащей утилизации отработанных масляных материалов демонстрирует существенную угрозу экосистемному балансу и антропогенному здоровью токсикологическими компонентами и металлосодержащими соединениями.

Гидроэкологическое загрязнение характеризуется формированием липидной пленки на акваториях, что существенно нарушает процессы газообмена и приводит к гипоксии водных биоценозов. Данное явление становится катализатором гибели ихтиофауны и прочих гидробионтов.

Почвенно-экологические нарушения обусловлены проникновением масляных субстанций в почвенный профиль. Это приводит к нарушению аэрационных процессов в ризосфере, что делает территорию нефункциональной для агропромышленного использования и подавляет развитие растительных организмов.

Антропогенное влияние отработанных технических масел инициирует комплекс неблагоприятных реакций в организме, среди которых первостепенное значение имеет канцерогенный эффект, обусловленный присутствием в составе масел ПАУ и прочих мутагенных веществ. Токсичность также затрагивает нервную систему, вызывая полиморфные неврологические расстройства с поражением как периферических, так и центральных структур [2].

Актуальные аспекты обеспечения экологической безопасности обуславливают необходимость разработки и применения инновационных технологий утилизации отработанных масел с целью минимизации негативного воздействия на экосистему и здоровье человека.

Традиционная методология регенерации отработанных масел базируется на трех фундаментальных подходах: фильтрационной обработке, центрифугировании и адсорбционной очистке с применением активированного угля.

Фильтрационный метод реализуется посредством пропускания загрязненного масла через специализированные фильтрующие материалы. В качестве фильтрующих матриц применяются металлические и полимерные сетки, керамические композиции и композитные материалы [3].

Двухстадийная фильтрация представляет собой последовательную обработку масляной субстанции: первичная очистка осуществляется через фильтр грубой очистки, последующая — через фильтр тонкой очистки.

Центрифугальный метод реализуется в специализированных сепарационных установках. Механизм разделения компонентов базируется на действии центробежных сил, при котором более тяжелые частицы (механические примеси, шлам, водная фаза) мигрируют к периферии, формируя самостоятельный фракционный слой [4].

Адсорбционный метод с применением активированного угля обусловлен его уникальными физико-химическими характеристиками. Развитая пористая структура и значительная удельная поверхность обеспечивают эффективное поглощение органических соединений, тяжелых металлов, шламовых включений и прочих веществ.

Современные подходы к очистке отработанных масел характеризуются интеграцией комбинированных технологий, включающих предварительную обработку (центробежная сепарация и механическая фильтрация) и мембранное разделение посредством ультрафильтрации.

Ультрафильтрационная технология представляет собой высокоэффективный метод очистки масляных композиций от механических примесей и загрязнений с применением специализированных ультрафильтров, обеспечивающих высокую степень очистки [5].

Мембранные технологии позволяют осуществлять глубокую очистку масла на молекулярном уровне, что делает их особенно эффективными в процессе регенерации смазочных материалов [5]. Перспективы развития мембранных технологий связаны с совершенствованием материалов для изготовления мембран, повышением их селективности и долговечности. Полимерные мембраны лидируют благодаря универсальности и экономичности, керамические — благодаря стойкости к агрессивным средам, а металлические — из-за высокой механической прочности [5].

Особую ценность представляет возможность многократного использования самих фильтрующих мембран, что способствует формированию замкнутого цикла переработки [6], минимизируя образование отходов.

К перспективным методам глубокой переработки относят также гидрокрекинг, вакуумную перегонку, каталитические процессы.



Гидрокрекинг – высокотехнологичный химический процесс, в ходе которого тяжелые углеводородные фракции преобразуются в более легкие с использованием водорода. Результатом является производство высококачественного базового масла [7].

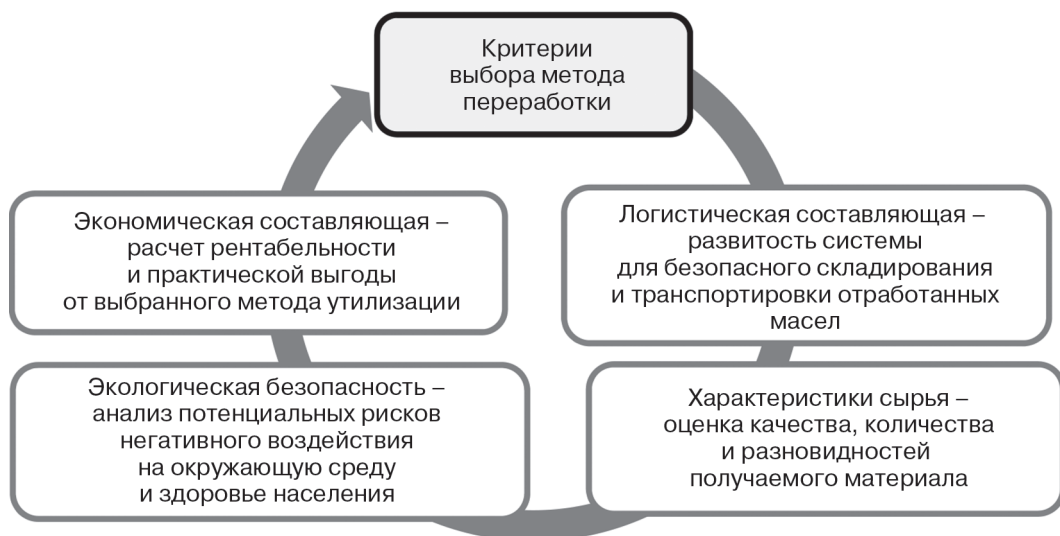
Вакуумная перегонка позволяет получать промежуточные продукты – вакуумный газойль и гудрон [7], которые впоследствии подвергаются дальнейшей переработке.

Каталитические процессы демонстрируют высокую эффективность благодаря способности ускорять химические реакции и обеспечивать получение целевых продуктов. Примером служит каталитический крекинг – процесс разложения тяжелых нефтяных фракций с использованием катализатора для производства высокооктанового бензина и дизельного топлива [8].

Следует отметить, что при определении оптимального способа утилизации и переработки отработанного масла необходимо учитывать комплекс целевых критериев. Это позволит выбрать наиболее эффективную и экологически безопасную технологию обработки из доступных на данный момент решений.

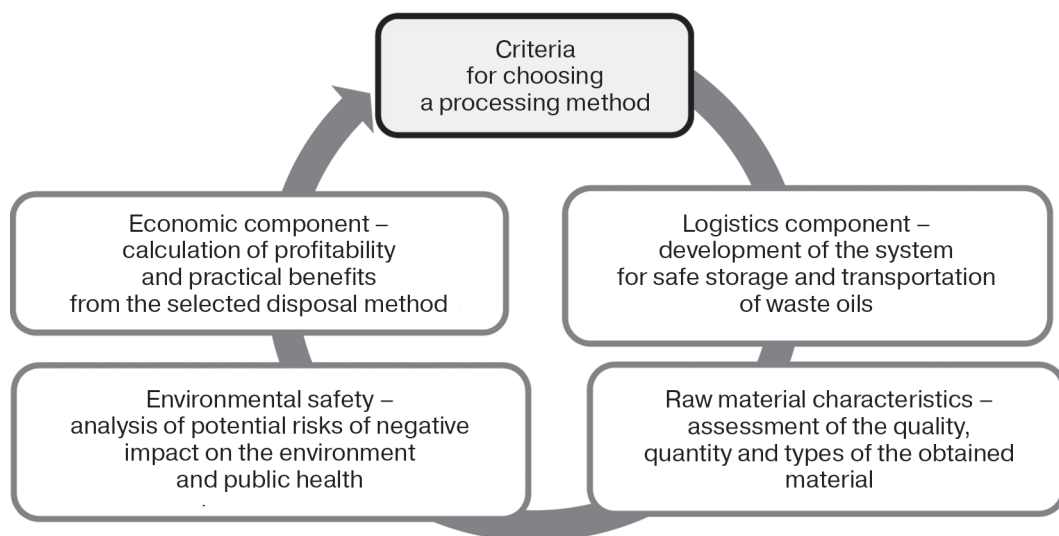
Основные критерии при выборе метода включают экологическую безопасность, экономическую эффективность, техническую реализуемость, качество получаемых продуктов и соответствие современным стандартам переработки (рис.1).

При выборе метода осуществляется комплексный учет также требований территориального планирования, нормативно-правовой базы, социально-экономических преимуществ, включая создание рабочих мест, а также учет мнений представителей общественности.



**Рис. 1.** Критерии выбора метода переработки

Источник: составлено Д.В. Волковым, А.В. Маркеловым.



**Figure 1.** Criteria for choosing a processing method

Source: compiled by D.V. Volkov, A.V. Markelov.

Производство товарных смазочных материалов из отработанных масел включает несколько этапов переработки и последовательность технологических операций [9] (рис. 2).



**Рис. 2.** Этапы технологических операций переработки

Источник: составлено Д.В. Волковым, А.В. Маркеловым.

**Figure 2.** Stages of technological operations of processing

Source: compiled by D.V. Volkov, A.V. Markelov.

В современной технологии производства смазочных материалов широко применяются различные типы функциональных присадок, каждая из которых выполняет строго определенные задачи. Модифицирующие присадки направ-



лены на оптимизацию физико-химических характеристик смазочных материалов и повышение индекса вязкости базового масла [10]. Защитные присадки формируют комплекс добавок, обеспечивающих сохранность как самого масла, так и элементов двигателя и механизмов, подавляя агрессивное воздействие окислителей [9]. Очищающие присадки предотвращают формирование углеродистых отложений, способствуют растворению существующих загрязнений.

Комплексное применение указанных присадок позволяет создавать высокоэффективные смазочные материалы с оптимальным сочетанием эксплуатационных характеристик.

Основные виды продукции, получаемые из регенерированного масла:

- *моторное и трансмиссионное масло*, в том числе базовые компоненты для производства моторных масел различных классов, трансмиссионные масла с добавлением необходимых присадок, специальные масла для промышленного оборудования [3];

- *пластичные смазки*: мыльные смазки (гидратированные кальциевые и литиевые), углеводородные пластичные смазки, консервационные материалы для защиты техники от коррозии;

- *топливные продукты*: дизельное топливо (основной продукт, 80–85 % от объема переработки), бензин (4–5 % от объема переработки), котельно-печное топливо [3];

- *нефтехимическое сырье*: фракции для производства нефтяного кокса, компоненты для получения дорожных и строительных битумов, сырье для коксования угольной шихты;

- *специализированные продукты*: флотореагенты для обогащения полезных ископаемых, композиционные составы для временной защиты техники, спекающие добавки для коксохимической промышленности [4].

Переработка отработанных масел включает как экологические, так и экономические выгоды.

Экологические выгоды переработки проявляются в нескольких ключевых аспектах.

*Во-первых*, это улучшение системы утилизации. Применение современных технологий переработки значительно сокращает загрязнение атмосферы, предотвращая выбросы  $\text{CO}_2$  и токсичных веществ, при этом углерод остается в составе нового продукта.

*Во-вторых*, рациональное использование природных ресурсов. Повторное применение масел существенно снижает потребность в производстве новых смазочных материалов, что минимизирует экологический ущерб на всех этапах — от добычи нефти до ее переработки.

*В-третьих*, создание альтернативных источников энергии. Переработка позволяет получать качественное топливо из отработанных масел, которое эффективно заменяет ископаемые углеводороды и способствует снижению углеродного следа.

Особую роль играет концепция замкнутого производственного цикла, где современные технологии регенерации обеспечивают возврат в производство 70–85 % исходного сырья [7]. Это не только снижает потребность в новых материалах, но и формирует устойчивую систему ресурсопользования, где отходы становятся ценным вторичным сырьем.

Комплексный экономический эффект от вторичной переработки масел проявляется в нескольких ключевых направлениях: в оптимизации производственных затрат, повышении качества продукции, увеличении срока службы оборудования и ресурсной эффективности.

Государство поддерживает предприятия по переработке отработанных масел через систему финансовых мер, таких как налоговые льготы, субсидии на модернизацию, льготные кредиты и гранты на инновационные проекты.

Однако внедрение этой практики сталкивается с серьезными препятствиями.

*Экономические барьеры:* высокие затраты на переработку, недоступность оборудования для малых предприятий. Только 4 % потребляемых в России масел (около 8 млн т в год) перерабатывается экологичным способом [1].

*Технологические сложности:* проблематичность очистки масел из-за их состава и наличия присадок, необходимость разработки индивидуальных технологий для каждого сорта масла.

*Организационные проблемы:* сложности со сбором и транспортировкой отходов, отсутствие эффективной системы сбора у мелких производителей.

*Нормативные пробелы:* недостаточное развитие законодательной базы в сфере переработки.

*Информационный дефицит:* низкая осведомленность населения и малого бизнеса об экологических рисках неправильной утилизации. Многие не знают, что один литр масла загрязняет до миллиона литров воды, что приводит к незаконной утилизации отходов.

## **Заключение**

В результате анализа можно сделать вывод, что производство смазочных материалов из отработанных масел — это перспективное и взаимовыгодное решение для экологии и экономики. Экономическая выгода подтверждается сокращением энергозатрат и уменьшением зависимости от первичной нефтепереработки. Экологическая значимость заключается в предотвращении загрязнения окружающей среды и рациональном использовании ресурсов.

Развитие данного направления способствует формированию замкнутого производственного цикла, где отходы становятся ценным сырьем.

К перспективным направлениям развития отрасли относятся разработка инновационных фильтрующих материалов, создание высокоэффективных адсорбентов, применение нанотехнологий в процессе очистки, внедрение

автоматизированных систем контроля, интеграция в глобальные экологические проекты и формирование эффективной системы сбора и транспортировки отходов.

Авторы считают, что дальнейшее продвижение направления регенерации требует не только научно-технических разработок, но и системной интеграции в нормативную и экономическую среду.

Только при условии тесного взаимодействия государства, бизнеса и общества возможно достижение значимых результатов в области переработки отработанных масел, поскольку успешная утилизация должна обеспечивать баланс между экологической безопасностью, экономической эффективностью и социальной ответственностью.

### Список литературы

- [1] Радкевич М.В., Шипилова К.Б. Эколого-экономические проблемы использования отработанного моторного масла автомобилей // *Universum: Технические науки* 2019. № 1. С. 5–9. EDN: YVDXOP
- [2] Dr Kumar B. Oil and and lubricant hazard effects on human health // *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 2017. Vol. 4. No. 4. P. 2348–7968.
- [3] Гэри Дж.Х., Хэндверк Г.Е., Кайзер М.Дж. Технология и экономика нефтепереработки / пер. с англ. 5-го изд. под ред. О. Ф. Глаголевой. Санкт-Петербург : Профессия, 2013. 439 с.
- [4] Danane F., Ahmia A., Bakiri A., Lalaoui N. Experimental regeneration process of used motor oils // *Journal of Renewable Energies*. 2023. Vol. 17. No. 2. P. 345–351. <https://doi.org/10.54966/jreen.v17i2.448> EDN: WSQXBR
- [5] Nissar A., Hanief M., Mir F.Q. Recycling of waste lubricating oil using ultra filtration membrane and modeling and prediction of its rheological behavior using Gauss-Newton algorithm // *Research on Engineering Structures and Materials*. 2023. Vol. 10 no. 1. P. 389–411. <http://dx.doi.org/10.17515/resm2023.52ma0719rs> EDN: OYCYWH
- [6] Дорохина Е.Ю., Кучер Д.Е., Харченко С.Г. Экономика замкнутых циклов: тенденции и перспективы : монография. Москва : МАКС Пресс, 2023. 128 с. EDN: WRUZQH
- [7] Durrani H. Ai Khan. Re-refining recovery methods of used lubricating oil // *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*. 2014. Vol. 3. No. 3. P. 1216–1220.
- [8] Moses K.K., Aliyu A., Hamza A., Mohammed-Dabo I.A. Recycling of waste lubricating oil: A review of the recycling technologies with a focus on catalytic cracking, techno-economic and life cycle assessments // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2023. Vol. 11. No. 6. Article no. 111273. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111273> EDN: BSXBXS
- [9] Суховерхов В.Д., Василькевич И.М. Современные аспекты производства и применения масел и присадок к ним // *Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний*. 2008. № 6. С. 31–34. EDN: KLTXPV

### References

- [1] Radkevich MV, Shipilova KB. Environmental and economic problems of using spent motor oil of vehicles. *Universum: Technical Sciences*. 2019; (1): 5–9. (In Russ.). EDN: YVDXOP

- [2] Kumar B. Oil and lubricant hazard effects on human health. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 2017;4(4):2348–7968
- [3] Gary JH, Handwerk GE, Kaiser MJ. *Petroleum Refining. Technology and Economics*. Russian edition, O.F. Glagoleva (ed.). Saint Petersburg: Professiya; 2013 (In Russ.)
- [4] Danane F, Ahmia A, Bakiri A, Lalaoui N. Experimental regeneration process of used motor oils. *Journal of Renewable Energies*. 2023;17(2):345–351. <https://doi.org/10.54966/jreen.v17i2.448> EDN: WSQXBR
- [5] Nissar A, Hanief M, Mir FQ. Recycling of waste lubricating oil using ultra filtration membrane and modeling and prediction of its rheological behavior using Gauss-Newton algorithm. *Research in Engineering, Structures and Materials*. 2023;10(1): 389–411. <http://dx.doi.org/10.17515/resm2023.52ma0719rs> EDN: OYCYWH
- [6] Dorokhina EYu, Kucher DE, Kharchenko SG. *Economy of closed cycles: trends and prospects: monograph*. Moscow: MAKSPress; 2023. (In Russ.) EDN: WRUZQH
- [7] Durrani H, Ai Khan. Re-refining recovery methods of used lubricating oil. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*. 2014;3(3):1216–1220.
- [8] Moses KK, Aliyu A, Hamza A, Mohammed-Dabo IA. Recycling of waste lubricating oil: A review of the recycling technologies with a focus on catalytic cracking, techno-economic and life cycle assessments. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2023;11(6):111273. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111273> EDN: BSXBXS
- [9] Suhoverkhov VD, Vasilkevich IM. Modern aspects of the production and application of oils and additives to them. *World of Oil Products. Bulletin of Oil Companies*. 2008;(6):31–34. EDN: KLTXP (In Russ.)

### Сведения об авторах:

Волков Данил Владимирович, аспирант кафедры инфраструктуры и транспорта, Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, Ярославль, Московский пр-т, д. 88. E-mail: volkovdv@ystu.ru

Маркелов Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инфраструктуры и транспорта, Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, Ярославль, Московский пр-т, д. 88. E-mail: aleksandr203.37@mail.ru

### Bio notes:

Danil V. Volkov, postgraduate student of the Department of Infrastructure and Transport, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky Ave., Yaroslavl, 150023, Russian Federation. E-mail: volkovdv@ystu.ru

Alexander V. Markelov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Infrastructure and Transport, 88 Moskovsky Ave., Yaroslavl, 150023, Russian Federation. E-mail: aleksandr203.37@mail.ru