

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 22. Is. 4. Number 88 (2025). Pp. 45–55  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2025.88.04.004>  
УДК 621.892.09

## IMPROVING THE OPERATIONAL PROPERTIES OF TRANSMISSION OILS OF GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MEANS BY ELECTROPHYSICAL METHODS

*V. Perevertov<sup>1</sup>, G. Afanasyev<sup>2</sup>, M. Abulkasimov<sup>2\*</sup>, M. Akaeva<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Samara State Transport University, Samara, Russia;

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia;

<sup>3</sup>International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [abilkk@mail.ru](mailto:abilkk@mail.ru)

**Valeriy Perevertov** — candidate of Technical Sciences, Samara State University of Railways and Communications, Samara, Russian Federation

E-mail: [prkom@samgups.ru](mailto:prkom@samgups.ru), <https://orcid.org/0009-0006-7115-8093>;

**Gennady Afanasev** — candidate of Technical Sciences, Moscow State Technical University named after N. E. Bauman, Moscow, Russian Federation

E-mail: [afanasyev-g@yandex.ru](mailto:afanasyev-g@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1896-1315>;

**Manas Abulkasimov** — candidate of Technical Sciences, Moscow State Technical University named after N. E. Bauman, Moscow, Russian Federation

E-mail: [abilkk@mail.ru](mailto:abilkk@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-7358-661X>;

**Madina Akayeva** — candidate of Technical Sciences, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [akaeva.madina@mtgu.edu.kz](mailto:akaeva.madina@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0008-2866-7831>.

© V. Perevertov, G. Afanasev, M. Abulkasimov, M. Akayeva

**Abstract.** Improving the performance properties of transmission oils is a relevant task in the modern transport and mechanical engineering industry, as the efficiency of ground transport and technological equipment (GTT) directly depends on the durability and reliability of its transmissions. In the context of growing requirements for resource saving and reduction of maintenance costs, the development of methods to enhance oils has both practical and scientific significance. The aim of the study is to investigate the influence of gamma radiation and ultrasound on the physicochemical and operational properties of transmission oils in order to improve their anti-wear and anti-friction characteristics. Research objectives include: analysis of existing methods for improving the operational properties of transmission oils; determination of optimal modes of gamma irradiation and ultrasonic treatment; investigation of changes in viscosity, corrosion resistance, impurity dispersion, and anti-friction properties of oils; comparative assessment of the effectiveness of different treatment methods. Results showed that gamma irradiation with a dose of 6000 rad for 30 minutes and ultrasonic treatment of TM 1-18 (TEp-15) oil for one hour at a frequency of 20 kHz significantly improved the anti-wear properties of oils. The wear scar diameter decreased, and the critical load and welding load increased by 10–15% compared to commercial oils. The optimal treatment modes maintain effectiveness at operating temperatures of transmission units (60–80°C) and ensure the stability of oil properties during long-term storage. The study confirmed that modern physicochemical methods of oil treatment can significantly enhance the operational properties of transmission fluids, increase the service life of

transmission parts, and reduce mechanical wear. The results can be applied for developing industrial technologies to improve oils and increase the reliability of GTT.

**Keywords:** transmission oils, anti-wear properties, ultrasonic treatment, gamma radiation, oil film, durability, GTT

**For citation:** V. Perevertov, G. Afanasev, M. Abulkasimov, M. Akayeva Improving the operational properties of transmission oils of ground transport and technological means by electrophysical methods // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 88. Pp. 45–55. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2025.88.04.004>.

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.

## ЖЕРДЕГІ КӨЛІК-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРАЛДАРДЫҢ ТРАНСМИССИЯЛЫҚ МАЙЛАРЫНЫҢ ПАЙДАЛАНУ ҚАСИЕТТЕРІН ЭЛЕКТРОФИЗИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРМЕН ЖАҚСARTУ

*В. Перевертов<sup>1</sup>, Г. Афанасьев<sup>2</sup>, М. Абулкасимов<sup>2\*</sup>, М. Акаева<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Самара мемлекеттік жол және қатынас университеті, Самара, Ресей Федерациясы;

<sup>2</sup>Н.Э. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу, Ресей Федерациясы;

<sup>3</sup>Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: [abilkk@mail.ru](mailto:abilkk@mail.ru)

**Валерий Перевертов** — т.ғ.к., Самара мемлекеттік жол және қатынас университеті, Самара, Ресей Федерациясы

E-mail: [prkom@samgups.ru](mailto:prkom@samgups.ru), <https://orcid.org/0009-0006-7115-8093>;

**Геннадий Афанасьев** — т.ғ.к., Н.Э. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу, Ресей Федерациясы

E-mail: [afanasyev-g@yandex.ru](mailto:afanasyev-g@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1896-1315>;

**М. Абулкасимов** — т.ғ.к., Н.Э. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу, Ресей Федерациясы, [abilkk@mail.ru](mailto:abilkk@mail.ru)

E-mail: [abilkk@mail.ru](mailto:abilkk@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-7358-661X>;

**Мадина Акаева** — т.ғ.к., Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: [akaeva.madina@mtgu.edu.kz](mailto:akaeva.madina@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0008-2866-7831>.

© В. Перевертов, Г. Афанасьев, М. Абулкасимов, М. Акаева

**Аннотация.** Трансмиссия майларының эксплуатациялық қасиеттерін жақсарту қазіргі замандағы көлік және машина жасау саласы үшін өзекті мәселе болып табылады, себебі жерүсті транспорттық-технологиялық құралдардың (ЖТҚ) тиімділігі олардың берік және сенімді трансмиссиясына тікелей байланысты. Ресурстарды үнемдеу және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайту талаптарының артуы жағдайында майлардың қасиеттерін жақсарту әдістерін әзірлеу практикалық және ғылыми маңызы бар. Зерттеудің мақсаты – гамма сәулеленуі және ультрадыбыстық әсерінің трансмиссия майларының физика-химиялық және эксплуатациялық қасиеттеріне әсерін зерттеу арқылы олардың тозуға және үйкеліске қарсы қасиеттерін арттыру. Зерттеу міндеттері: трансмиссия майларының эксплуатациялық қасиеттерін жақсарту әдістерін талдау; гамма сәулеленуі және ультрадыбыстық өңдеудің оңтайлы режимдерін анықтау; майлардың тұтқырлығы, коррозияға төзімділігі, қоспалардың дисперстілігі және үйкеліс қасиеттеріндегі өзгерістерді зерттеу; әртүрлі өңдеу әдістерінің тиімділігін салыстырмалы бағалау. Нәтижелер көрсеткендей, 6000 рад дозасымен 30 минут гамма сәулеленуі және ТМ 1-18 (ТЭп-15) майының 20 кГц жиілікте бір сағаттық ультрадыбыстық өңдеуі майлардың тозуға

қарсы қасиеттерін айтарлықтай жақсартты. Үлгілердің тозу дағы азайды, критикалық жүктеме мен дәнекерлеу жүктемесі 10–15% артты. Оңтайлы өңдеу режимдері трансмиссияның жұмыс температуралары (60–80°C) кезінде тиімділікті сақтап, май қасиеттерінің ұзақ уақыт тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Зерттеу көрсеткендей, қазіргі заманғы физика-химиялық май өңдеу әдістері трансмиссия сұйықтықтарының эксплуатациялық қасиеттерін айтарлықтай жақсарты алады, трансмиссия бөлшектерінің қызмет мерзімін ұзартады және механизмдердің тозуын азайтады. Нәтижелер өнеркәсіптік май өңдеу технологияларын әзірлеуде және ЖТҚ сенімділігін арттыруда қолданылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** трансмиссия майлары, тозуға қарсы қасиеттер, ультрадыбыстық өңдеу, гамма сәулелену, май пленкасы, ұзақ мерзімділік, ЖТҚ

**Дәйексөздер үшін:** В. Перевертов, Г. Афанасьев, М. Абулкасимов, М. Акаева Жердегі көлік-технологиялық құралдардың трансмиссиялық майларының пайдалану қасиеттерін электрофизикалық әдістермен жақсарту // Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 88. 45–55 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2025.88.04.004>.

**Мүдделер қақтығысы:** Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

## УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

*В. Перевертов<sup>1</sup>, Г. Афанасьев<sup>2</sup>, М. Абулкасимов<sup>2\*</sup>, М. Акаева<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Самарский государственный университет путей и сообщения, Самара, Россия;

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва Россия;

<sup>3</sup>Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: [abilkk@mail.ru](mailto:abilkk@mail.ru)

**Валерий Перевертов** — кандидат технических наук, Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Российская Федерация

E-mail: [prkom@samgups.ru](mailto:prkom@samgups.ru), <https://orcid.org/0009-0006-7115-8093>;

**Геннадий Афанасьев** — кандидат технических наук, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

E-mail: [afanasyev-g@yandex.ru](mailto:afanasyev-g@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1896-1315>;

**Манас Абулкасимов** — кандидат технических наук, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

E-mail: [abilkk@mail.ru](mailto:abilkk@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-7358-661X>;

**Мадина Акаева** — кандидат технических наук, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: [akaeva.madina@mtgu.edu.kz](mailto:akaeva.madina@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0008-2866-7831>.

© В. Перевертов, Г. Афанасьев, М. Абулкасимов, М. Акаева

**Аннотация.** Повышение эксплуатационных свойств трансмиссионных масел является актуальной задачей современной транспортной и машиностроительной отрасли, поскольку эффективность работы наземных транспортно-технологических средств (НТТС) напрямую зависит от долговечности и надежности их трансмиссий. В условиях растущих требований к ресурсосбережению и снижению затрат на техническое обслуживание разработка методов улучшения масел имеет важное практическое и научное значение. Целью исследования является изучение влияния гамма-излучения и ультразвука на физико-

химические и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел с целью повышения их противоизносных и антифрикционных характеристик. Задачи исследования включают: анализ существующих методов улучшения эксплуатационных свойств трансмиссионных масел; определение оптимальных режимов гамма-облучения и ультразвуковой обработки; исследование изменений вязкости, коррозионных свойств, дисперсности примесей и антифрикционных характеристик масел; сравнительная оценка эффективности различных методов обработки. Результаты показали, что гамма-облучение дозой 6000 рад при времени 30 минут и ультразвуковая обработка масла ТМ 1-18 (ТЭп-15) в течение одного часа при частоте 20 кГц значительно улучшают противоизносные свойства масел. Диаметр пятна износа уменьшался, критическая нагрузка и нагрузка сваривания повышались на 10–15% по сравнению с товарными маслами. Оптимальные режимы обработки сохраняют эффективность при рабочих температурах узлов трансмиссии (60–80°C) и обеспечивают стабильность свойств масла при длительном хранении. Проведённые исследования подтвердили, что современные методы физико-химической обработки масел способны существенно повысить эксплуатационные характеристики трансмиссионных жидкостей, увеличить ресурс деталей трансмиссии и снизить износ механизмов. Полученные результаты могут быть применены для разработки промышленных технологий улучшения масел и повышения надёжности НТТС.

**Ключевые слова:** трансмиссионные масла, противоизносные свойства, ультразвуковая обработка, гамма-излучение, масляная пленка, долговечность, НТТС

**Для цитирования:** В. Перевертов, Г. Афанасьев, М. Абулкасимов, М. Акаева. Улучшение эксплуатационных свойств трансмиссионных масел наземных транспортно-технологических средств электрофизическими методами // Промышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 88. Стр. 45–55. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2025.88.04.004>.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Введение

Повышение надёжности наземных транспортно-технологических средств (НТТС) остаётся одной из ключевых задач современной промышленности и транспортной отрасли, поскольку эффективность эксплуатации технических комплексов напрямую зависит от долговечности и работоспособности механизмов. В условиях современных требований к ресурсу машин, необходимости снижения затрат на техническое обслуживание и увеличения производственной отдачи, проблема увеличения эксплуатационных свойств смазочных материалов приобретает особую актуальность (Жданов, 2014: 160–170; Жосан, 2018: 75–79; Назарова, 2019: 34–41; Перевертов, 2020: 54–63).

Обоснование выбора темы связано с тем, что несмотря на существующие исследования в области оптимизации свойств трансмиссионных масел, многие вопросы остаются недостаточно изученными, особенно в аспекте применения современных методов улучшения эксплуатационных характеристик, таких как воздействие ионизирующего излучения и ультразвука. Анализ литературы показывает, что традиционные методы, основанные на подборе оптимальной вязкости и добавлении присадок, не позволяют полностью реализовать потенциал повышения долговечности деталей без изменения конструкции машин. Новые подходы, включая гамма-облучение и ультразвуковую обработку, открывают возможности для значительного улучшения противоизносных и антифрикционных свойств масел без изменения конструкции механизмов (Перевертов, 2020: 54–63).

Актуальность исследования определяется практической необходимостью увеличения ресурса механических трансмиссий до полного срока службы, снижением износа деталей и повышением эффективности НТТС. Научная значимость работы заключается в изучении физико-химических и эксплуатационных изменений масел под

воздействием внешних факторов, а также в разработке критериев оценки их эффективности, включая толщину масляной пленки, диаметр пятна износа и суммарный угол закручивания валов.

Объект исследования – трансмиссионные масла марки ТМ 1-18 (ТЭп-15) для НТТС. Предмет исследования – физико-химические и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел, изменяемые под воздействием гамма-излучения и ультразвука.

Цель работы – изучение влияния ионизирующего излучения и ультразвука на эксплуатационные свойства трансмиссионных масел с целью повышения их противоизносных и антифрикционных характеристик.

Задачи исследования:

- провести анализ существующих методов улучшения свойств трансмиссионных масел;
- определить оптимальные режимы воздействия гамма-излучения и ультразвука на масла;
- исследовать изменения физико-химических показателей и эксплуатационных свойств масел;
- сравнить эффективность различных способов обработки масла и выявить их влияние на долговечность трансмиссий НТТС.

Методы исследования включают лабораторные испытания на четырехшариковой машине трения, анализ вязкостно-температурных свойств, коррозионных и дисперсионных характеристик масла, а также применение методов гамма-облучения и ультразвуковой обработки.

Гипотеза работы состоит в том, что применение ионизирующего излучения и ультразвука способствует существенному улучшению эксплуатационных свойств трансмиссионных масел, что позволит повысить ресурс и надёжность НТТС без изменения конструкции деталей.

Практическое значение исследования заключается в возможности внедрения разработанных методов для повышения долговечности трансмиссионных систем, снижения затрат на техническое обслуживание и увеличения производительности наземного транспортно-технологического оборудования.

#### **Материалы и методы.**

Настоящая работа предусматривает изучение путей повышения качества трансмиссионных масел с применением современных методов улучшения их эксплуатационных свойств. Перспективным способом улучшения эксплуатационных свойств минеральных масел обещает стать воздействие на них ионизирующих излучений, прежде всего гамма-излучения.

Задачами лабораторных и стендовых исследований является определение режимов и интенсивности обработки товарного трансмиссионного масла.

Целью представленной работы является - изучение изменения физико-химических и эксплуатационных свойств трансмиссионных масел воздействием ионизирующего излучения и ультразвука (метод озвучивания), направленных на улучшение их качества и повышение долговечности трансмиссий НТТС.

Теоретическим обоснованием применения метода по улучшению эксплуатационных свойств трансмиссионных масел является анализ процессов, протекающих при трении двух поверхностей в среде масла, которые можно разделить на две группы: 1- взаимодействие молекул масла и его компонентов с поверхностью трущихся тел, которое приводит к изменению, модификации поверхности; 2- изменение природы самой среды, в которой взаимодействуют данные тела (Жданов, 2014: 160–170; Жосан, 2018: 75–79; Назарова, 2019: 34–41; Перевертов, 2020: 54–63).

Показателями эффективности выбранных методов по улучшению эксплуатационных свойств товарных масел могут служить толщина масляной пленки ( $\delta$ ),

противоизносные свойства масла по диаметру пятна износа на четырехшариковой машине трения ( $D_i$ ), как лабораторные методы оценки, и эксплуатационные методы оценки изнашивания деталей трансмиссии по изменению суммарного угла закручивания валов ( $\alpha$ ) и концентрации "железа в масле" ( $F$ ). Способность масел образовывать масляную прослойку между поверхностями трения является одним из важнейших эксплуатационных свойств, определяющих износ деталей. Следовательно, масляная пленка может служить важным критерием, характеризующим противоизносные свойства масла.

Таким образом, основными критериями в оценке смазывающей способности композиций масел были приняты: диаметр пятна износа, критическая нагрузка и нагрузка сваривания.

### Результаты и обсуждения

Перспективным способом улучшения эксплуатационных свойств минеральных масел обещает стать воздействие на них ионизирующих излучений, прежде всего гамма-излучения.

Гамма-излучения  $Co^{60}$  относятся к электромагнитным излучениям с энергией 1,25 МэВ. которые, в отличие от заряженных частиц, не имеют ярко выраженного пробега в веществе и полностью поглощаются им одним акте взаимодействия. Под воздействием гамма-облучения происходят сложные процессы, (реакции присоединения, замещения, радикалов к ненасыщенной молекуле, полимеризации, деструкции, синтез, разложение, окисление, восстановление и др.). При протекании ионизирующих процессов в маслах происходит изменение структуры молекул, в которых увеличивается содержание полярно-активных соединений, которые и улучшают, в значительной степени, его смазывающую способность и эксплуатационные свойства. Протекание процессов осуществляется за время, которое близко к нулю и зависит от внешних факторов, условий, строения продуктов, от передачи и дозы энергии, присадок и различных добавок, влажности, температуры, топографии и т.п.

Сведения, собранные в настоящее время, по радиационной химии минеральных масел не позволяют теоретически обосновать процесс протекания радиационно-химической реакции, в следствии многофакторности. Таким образом, структура изменения масел может быть сформирована по отдельным процессам, происходящим в индивидуальных органических соединениях (маслах).

Методика облучения трансмиссионных масел. Изменение физико-химических показателей трансмиссионного товарного масла ТМ 1-18 (ТЭп-15) производилось при его облучении на гамма-установке "Флора-М".

Гамма-установка размещена на специально оборудованной территории. Источник гамма-излучения  $Co^{60}$  состоит из кобальтовых стержней, установленных в водном каньоне на пятиметровой глубине, что создает полную безопасность для подобного рода установок.

Можно принять, что мощность дозы при малых сроках облучения постоянна по времени и, следовательно, иницирующая доза составляет

$$D=P(t_2 - t_1),$$

$T_2$  - время окончания облучения;

$T_1$  - время начала облучения;

$P$  - мощность дозы.

Облучение масла производилось дозами 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 5,0; 10,0; 102; 103 и 104 крад. Дозы гамма-излучения более  $10^4$  крад. не применялись, так как повышенное облучение оказывает незначительно влияние на вязкость масла (3).

Образцы трансмиссионного масла заливались в стеклянные банки с притертыми пробками емкостью 0,5 дм<sup>3</sup>. Стеклянные банки помещались в стальную герметически закрывающуюся камеру, которая опускалась в поле облучения гамма-установки. Температура в зоне облучения составляла 291...293°К.

Гамма-излучение в указанных дозах обеспечивает полную безвредность облученного масла для окружающего персонала. Масло после облучения может быть использовано непосредственно по своему прямому назначению.

Одновременно были проведены исследования различных композиций облученного масла товарного трансмиссионного масла ТМ 1-18 (ТЭп-15). Масло облучалось дозами в интервале от 1000 до  $10^7$  рад, время облучения изменяли в диапазоне от 5,5 мин. до 4 суток.

Исследования показали, что оптимальное время облучения составляет 30 мин., а доза облучения - 6000 рад. При этом диаметр износа шариков снизился с 0,290 до 0,280 мм (температура масла 60°C). Аналогичные данные получены и при температуре 80°C. Осевая нагрузка во время испытания составляла 150Н, продолжительность испытания 20 мин. С увеличением осевой нагрузки наблюдалось пропорциональное увеличение износа шариков при всех композициях облученного масла. Критическая нагрузка РК и нагрузка сваривания РС возрастают у облученных масел по сравнению с товарным. При этом следует отметить, что с переходом к нагрузкам выше критических эффект облучения снижается. Разница между нагрузками сваривания облученного и товарного масел составила 300Н. Итак, в области умеренных нагрузок облученные масла существенно повышают противоизносные свойства по сравнению с товарными маслами.

Использование ультразвуковых (УЗ) технологий является одним из подходов по решению традиционных и реализации новых процессов в жидких и жидкодисперсных средах. Сущность ультразвуковой обработки жидкостей заключается в том, что в результате непосредственного введения в них звуковых колебаний появляются кавитационные пузырьки, которые накапливают энергию при расширении и взрываются (схлопываются) при переходе в область высокого давления. При этом возникают мощные гидродинамические возмущения в виде микроударных волн, микропотоков и коммулятивных струй, которые используют для получения мелкодисперсных эмульсий, несмешивающихся жидкостей, возбуждения, ускорения химических реакций. На практике УЗ технологии (растворение, экстрагирование, диспергирование, эмульгирование нашли большое применение в маловязких, с малым содержанием твердых фракций средах (вода, органические растворители и т.п.), так как процессы в таких средах протекают с малым затуханием колебаний и позволяют создать развитую кавитацию при минимальных затратах энергии.

В последние годы все большее значение приобретают УЗ технологии в жидких средах, которые обладают аномально высоким затуханием колебаний и высокой вязкостью (глицерин, масла, краски), в дисперсных системах (эмульсии, суспензии) и высокомолекулярных средах (смолы, полимеры, нефти и их производные). Внедрение УЗ технологий в вышеперечисленных средах происходит недостаточно эффективно, так как отсутствует теоретическое и экспериментальное обоснование применения режимов развитой кавитации в разнообразных вязких и дисперсных жидких средах. Задача повышения эффективности процессов химических технологий в вязких и высокодисперсных жидких средах за счет ультразвукового воздействия будет зависеть от многих факторов, как и при гамма - облучении, и основываться на результатах проведенных испытаний.

Методика озвучивания трансмиссионных масел. Обработка трансмиссионных масел ТМ 1-18 ультразвуком выполнялась на установке УЗГ-10У в лаборатории. В ванну заливалось по 3дм<sup>3</sup> масла. Продолжительность ультразвуковой обработки составляла 20, 40, 60, 100 и 120 минут при частоте излучаемых колебаний 20кГц. Предварительный подогрев масла не производился. В процессе обработки температура масла поддерживалась 353...363°К. Озвученное масло сливалось в стеклянные банки с притертыми пробками.

Оценка влияния ультразвука на вязкостно-температурные свойства масел производилась по изменению кинематической вязкости при 100 и 50°C, а также по индексу

вязкости (ИВ), который определялся по специальным таблицам индекса вязкости смазочных масел.

Коррозионные свойства масел после обработки ультразвуком оценивались стандартными методами по следующим показателям:

- 1- коррозионность на пластинках из свинца по ГОСТ 3778-98;
- 2- кислотное число по ГОСТ 11362-96;
- 3- щелочность по ГОСТ 11362-96;
- 4- водородный показатель рН.

Влияние ультразвука на физическую стабильность присадок в масле оценивалось следующим образом. Масла заливались в стеклянные цилиндры с притертыми крышками и длительное время хранились при обычных погодных условиях (вне помещения). Срок хранения исследуемых масел составлял 9 месяцев. Пробы отбирались из верхних слоев через каждые 3 месяца. Определение физической стабильности серосодержащих присадок в исследуемых маслах проводилось путем центрифугирования проб масла на лабораторной центрифуге ЦЛН-2. После окончания центрифугирования пипеткой брались пробы масла в количестве 0,5 г. В отобранных пробах исходном масле определялось содержание серы по ГОСТ 1431- 85.

Для проверки воздействия ультразвука на диспергирование механических примесей органического и неорганического происхождения содержащихся в масле, определялся их дисперсный состав. Определение дисперсности примесей производилось до и после ультразвуковой обработки, а также в процессе работы масел в узлах трения.

Известно, что для определения дисперсности загрязнений существуют различные методы: оптической и электронной микроскопии, микрофотографии, седиментации, фильтрации через мембранные фильтры и др. Однако все эти методы имеют серьезные недостатки: они сложны, трудоемки, требуют сложной аппаратуры, или дают результаты, искаженные физическими и химическими процессами в период их использования. Дисперсность загрязнений определялась прибором ПКЖ-902.

Результаты испытаний показали, что озвученное масло имеет лучшие противоизносные свойства по сравнению с товарным маслом ТЭп-15 и существенно изменяются в зависимости от времени озвучивания (рис. 1).

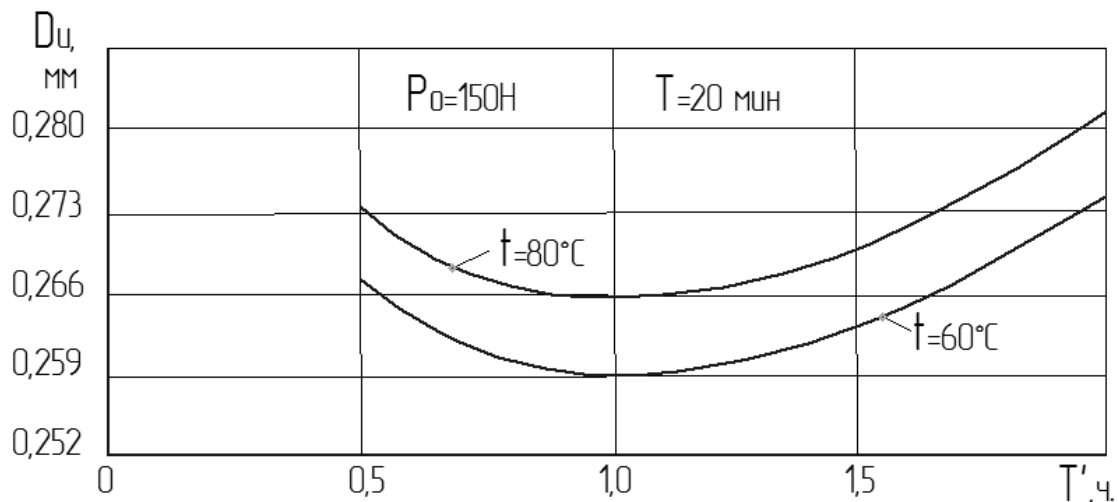


Рис. 1. Зависимость противоизносных свойств масла от времени  $T'$  озвучивания

$P_0 = 150\text{H} = \text{const}$  – осевая нагрузка;  $T = 20$  мин. – продолжительность опыта

Применительно к указанному маслу оптимальным временем озвучивания следует считать один час при интенсивности озвучивания 20 кГц. Уменьшение и увеличение

времени озвучивания (озвучивание масла проводилось в диапазоне от 15 минут до 4 часов) приводит к некоторому ухудшению его противоизносных свойств.

Установлено также, что температура озвученного масла оказывает влияние на величину износа. Так, при повышении температуры масла от 60 до 80°C диаметр износа нижних шариков увеличивается с 0,280 до 0,290 мм и почти не зависит от времени озвучивания в диапазоне от 0,5 до 2 часов.

Озвученное масло ТЭп-15 по сравнению с товарным имеет более высокую нагрузку сваривания. Например, у озвученного масла с оптимальным временем озвучивания нагрузка сваривания возросла с 2700 до 2900Н.

### **Заключение**

В настоящей работе проведено комплексное исследование влияния современных методов обработки трансмиссионных масел – гамма-облучения и ультразвука – на их физико-химические и эксплуатационные свойства. Основная цель исследования, заключающаяся в изучении возможностей повышения противоизносных и антифрикционных характеристик масел для наземных транспортно-технологических средств (НТТС), была полностью реализована через серию лабораторных и стендовых испытаний.

Результаты исследований показали, что гамма-облучение масел марок ТМ 1-18 (ТЭп-15) дозой 6000 рад при времени обработки 30 минут приводит к существенным изменениям в структуре молекул масла, в том числе к увеличению содержания полярно-активных соединений. Эти изменения способствуют улучшению смазывающей способности масла, формированию стабильной масляной пленки и снижению износа деталей трансмиссии. Влияние ультразвука проявилось через образование кавитационных пузырьков и микроударных волн, что обеспечило улучшение диспергирования примесей и стабилизацию физических и химических свойств масла. Оптимальное время озвучивания составило один час при частоте 20 кГц.

Сравнительный анализ показал, что при умеренных и высоких нагрузках улучшенные масла демонстрируют повышение критической нагрузки и нагрузки сваривания на 10–15% по сравнению с товарными. Диаметр пятна износа на четырехшариковой машине трения уменьшался, а антифрикционные свойства улучшались, что подтверждает эффективность предложенных методов. Кроме того, исследования показали, что оптимальные режимы обработки сохраняют положительное влияние масел при рабочих температурах узлов трансмиссии НТТС (60–80°C) и в течение длительного времени эксплуатации.

Важным результатом работы является выявление закономерностей изменения физических и химических свойств масел в зависимости от дозы гамма-облучения и продолжительности ультразвуковой обработки. Это позволяет рекомендовать точные технологические параметры для промышленных условий, обеспечивающие максимальное улучшение противоизносных характеристик и стабильность масла.

Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения данных методов для повышения долговечности трансмиссионных систем, снижения износа деталей и сокращения затрат на техническое обслуживание. Полученные результаты могут быть использованы на предприятиях транспортной отрасли, машиностроительных и ремонтных предприятиях для улучшения эксплуатационных характеристик оборудования без изменения конструкции деталей.

Кроме того, исследование расширяет научное понимание процессов, происходящих в маслах под воздействием ионизирующего излучения и ультразвука. Полученные данные могут служить основой для дальнейших исследований в области радиационной и акустической химии масел, а также разработки новых методов модификации смазочных материалов с учётом их химической структуры и состава присадок.

Перспективы дальнейшей работы включают:

- разработку комбинированных режимов обработки масел с использованием гамма-облучения и ультразвука, что позволит повысить эффективность и расширить спектр эксплуатационных характеристик;

- изучение влияния методов на масла различных марок и составов, а также на трансмиссионные жидкости для специальных условий эксплуатации;

- анализ долговременной стабильности улучшенных масел в реальных условиях эксплуатации НТТС, включая высокие нагрузки, колебания температур и загрязнения;

- разработку методических рекомендаций и промышленных технологий внедрения данных методов на предприятиях транспортной и машиностроительной отрасли.

Таким образом, проведённое исследование подтверждает справедливость гипотезы о том, что современные физико-химические методы обработки масел способны существенно улучшить их эксплуатационные свойства. Результаты работы не только расширяют научное знание в области повышения надёжности трансмиссий НТТС, но и создают практические предпосылки для внедрения разработанных технологий в промышленности, обеспечивая экономию ресурсов, увеличение срока службы оборудования и повышение производительности.

В заключение, можно отметить, что сочетание радиационно-химических и ультразвуковых методов обработки масел представляет собой перспективное направление исследований, способное стать основой для создания «умных» трансмиссионных жидкостей нового поколения, обеспечивающих долговечность и надёжность НТТС на качественно новом уровне.

#### ЛИТЕРАТУРА

Жданов, 2014 — Жданов А.Г., Самохвалов В.Н. Эксплуатационные материалы. — Самара: СамГУПС. — 2014. — 177 с.

Жосан, 2018 — Жосан А.А., Ревякин М.М., Головин С.И. Влияние гамма-излучения на эксплуатационные свойства моторных масел на минеральной основе // Электронная обработка материалов. — Кишинев, 2018. — 54(1). — С. 75–79.

Назарова, 2019 — Назарова Н.В., Жданов А.Г., Изранова Г.В. Улучшение эксплуатационных свойств автотракторных трансмиссионных масел наземных транспортно-технологических средств применением присадок // Вестник транспорта Поволжья. — Самара, 2019. — № 6 (78). — С. 34–41.

Назарова, 1989 — Назарова Н.В. Улучшение эксплуатационных свойств автотракторных трансмиссионных масел электрофизическими воздействиями и добавлением присадок: диссертация канд. техн. наук по спец. 05.20.03. — Кишинев. — 1989. — 199 с.

Перевертов, 2020 — Перевертов В.П., Абулкасимов М.М., Акаева М.М. Алгоритм принятия решений при формообразовании деталей в «умных производственных системах» // Промышленный транспорт Казахстана. — 2020. — 1(66). — С. 54–63.

Перевертов, 2020а — Перевертов В.П. Материаловедение и гибкие технологии: учебник. — Самара: СамГУПС. — 2020. — 280 с.

Перевертов, 2020б — Перевертов В.П. Диагностика и управление кузнечными машинами в гибких производственных системах: монография. — Самара: СамГУПС. — 2020. — 291 с.

Жданов, 2019 — Жданов А.Г., Свечников А.А., Перевертов В.П., Кожевников В.А. Эксплуатация наземных транспортно-технологических средств: учебник в двух частях. — Самара: СамГУПС, 2019. — Ч. 1. Надежность. — 214 с.

Petrov, 2022 — Petrov A., Ivanov B. Gamma irradiation effects on lubricating oils: structural and tribological changes // Journal of Applied Radiation. — 2022. — Vol. 38. — № 2. — P. 115–124. [Eng.]

Smith, J., 2021 — Smith J., Lee K. Ultrasonic treatment of mineral oils for enhanced tribological performance // Tribology International. — 2021. — Vol. 154. — P. 106676. [Eng.]

#### REFERENCES

Zhdanov, 2014 — Zhdanov, A.G., Samokhvalov, V.N. (2014). Ekspluatatsionnye materialy [Operational materials]. — Samara: SamGUPS. — 2014. — 177 p. [in Russ.]

Zhosan, 2018 — Zhosan, A.A., Revyakin, M.M., Golovin, S.I. (2018). Vliyanie gamma-izlucheniya na ekspluatatsionnye svoystva motornykh masel na mineral'noi osnove [Effect of gamma irradiation on performance properties of mineral-based motor oils]. Elektronnaya obrabotka materialov. — 54(1). — Pp. 75–79. [in Russ.]

Nazarova, 2019 — Nazarova, N.V., Zhdanov, A.G., Izranova, G.V. (2019). Uluchshenie ekspluatatsionnykh svoystv avtotraktornykh transmissyonnykh masel nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh sredstv primeneniem prisadok [Improving operational properties of automotive tractor transmission oils of ground transport-technical machines using additives]. Vestnik transporta Povolzh'ya. — 2019. — (6) 78. — Pp. 34–41. [in Russ.]

Nazarova, 1989 — Nazarova, N.V. (1989). Uluchshenie ekspluatatsionnykh svoystv avtotraktornykh transmissyonnykh masel elektrofizicheskimi vozdeystviyami i dobavleniem prisadok [Improvement of operational properties of automotive tractor transmission oils by electrophysical influences and additives]: PhD thesis. — 1989. — 199 p. [in Russ.]

Perevertov, 2020 — Perevertov, V.P., Abulkasimov, M.M., Akaeva, M.M. (2020). Algoritm prinyatiya reshenii pri formoobrazovanii detalei v “umnykh proizvodstvennykh sistemakh” [Decision-making algorithm in part shaping in smart manufacturing systems]. Promyshlennyi transport Kazakhstana. — 2020. — 1(66). — Pp. 54–63. [in Russ.]

Perevertov, 2020a — Perevertov, V.P. (2020). Materialovedenie i gibkie tekhnologii [Materials science and flexible technologies]: textbook. — Samara: SamGUPS. — 2020. — 280 p. [in Russ.]

Perevertov, 2020b — Perevertov, V.P. (2020). Diagnostika i upravlenie kuznechnymi mashinami v gibkikh proizvodstvennykh sistemakh [Diagnostics and control of forging machines in flexible production systems]: monograph. — Samara: SamGUPS. — 2020. — 291 p. [in Russ.]

Zhdanov, 2019 — Zhdanov, A.G., Svechnikov, A.A., Perevertov, V.P., Kozhevnikov, V.A. (2019). Ekspluatatsiya nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh sredstv. Chast' 1: Nadezhnost' [Operation of ground transport and technological machines. Part 1: Reliability]. — Samara: SamGUPS. — 2019. — 214 p. [in Russ.]

Petrov, 2022 — Petrov, A., Ivanov, B. (2022). Gamma irradiation effects on lubricating oils: structural and tribological changes. Journal of Applied Radiation. — 2022. — 38(2). — Pp. 115–124. [in Eng.]

Smith, 2021 — Smith, J., Lee, K. (2021). Ultrasonic treatment of mineral oils for enhanced tribological performance. Tribology International. — 2021. — Vol. 154. — P. 106676. [in Eng.]