

приобретает адаптация передового опыта с учетом региональных особенностей, включая климатические условия, экономические параметры и специфику нормативно-правового регулирования.

Современные подходы к проектированию и эксплуатации сетей канализации предполагают обязательное использование специализированного программного обеспечения и инновационных технологических решений. Это позволяет эффективно решать актуальные проблемы эксплуатации, возникающие вследствие износа сетей, изменения нагрузок и других факторов.

Несмотря на существующие национальные различия в методах управления, обусловленные преимущественно климатическими и экономическими особенностями, наблюдается конвергенция подходов в части внедрения передовых технологий. Такая унификация объясняется их доказанной эффективностью в оперативном реагировании на аварийные ситуации и предотвращении аварийных ситуаций, что в конечном итоге способствует повышению надежности и устойчивости работы систем канализации.

Проведенный анализ зарубежного опыта демонстрирует, что современные системы канализации переходят на качественно новый уровень развития за счет внедрения цифровых технологий (ВІМ, ІоТ) и интеллектуальных систем управления. Для успешной адаптации этих технологий необходимо учитывать региональные особенности, включая климатические условия, экономические возможности и нормативную базу, что требует дальнейших междисциплинарных исследований.

Список литературы

1 **Брылева, И.** Как ВІМ-технологии повышают КПД проектной организации? / И. Брылева // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2022. – № 1. – С. 17–20.

2 Водный сектор в Германии: методы и опыт. – URL: <https://pubdoc.ru/doc/235260/vodnyj-sektor-v-germanii---metody-i-opyt> (дата обращения: 05.05.2025).

УДК 539.621

ЭКОТРИБОЛОГИЯ СМАЗКИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

И. Н. КОВАЛЕВА

Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель

А. В. ПИГУНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Введение. Выбор и оптимизация свойств смазочных материалов остается важной проблемой современного машиностроения. Изначально использовались биожирь (растительные масла и животные жиры), позже вытесненные минеральными маслами, а затем их синтетическими аналогами. Сейчас на рынке смазочных материалов преобладают продукты нефтепереработки, создавая экологические проблемы и стимулируя разработку биоразлагаемых аналогов с использованием возобновляемых ресурсов. Биожирь привлекательны своей доступностью и заменяемостью, несмотря на более низкие физико-химические показатели по сравнению с минеральными и синтетическими материалами, особенно при экстремальных нагрузках и низких температурах [1, 2]. Триботехнические характеристики биожиров, уступающие нефтяным маслам, можно повысить введением специальных добавок [3]. Исчерпавшую свой ресурс смазку на основе биожиров можно использовать не только в качестве вторичного смазочного материала, но и как биотопливо, обеспечивая утилизацию и выработку тепловой энергии.

Железнодорожный транспорт оказывает значительное воздействие на окружающую среду, включая загрязнение почвы и воды. Традиционные минеральные и синтетические смазки вызывают серьезные экологические проблемы, такие как трудности с утилизацией и учет выбросов в окружающую среду. Современные разработки в области экотрибологии направлены на создание биоразлагаемых и экологически безопасных смазок, которые могли бы успешно применяться в подшипниках колесных пар, тормозных системах и лубрикации (смазывания) кривых участков рельсового пути [1–3]. Применение функциональных присадок и технологий модификации растительных масел позволяет достичь необходимого уровня защиты узлов трения от износа и коррозии. Примером являются смазочные композиции на основе касторового масла, обладающего уникальными анти-

фрикционными характеристиками и способностью формировать прочные защитные слои на металлических поверхностях [4]. Такие разработки открывают перспективы для широкого внедрения экологически безопасных смазочных материалов в железнодорожном транспорте, снижая негативное воздействие на природу и повышая эффективность эксплуатации подвижного состава. Разработка экологически чистых смазочных материалов на основе биожиров для узлов трения железнодорожного транспорта является актуальной задачей ввиду глобальных тенденций устойчивого развития и снижения зависимости от углеводородных ресурсов [5]. **Цель работы** – сравнительный анализ экологических и триботехнических показателей биожиров и нефтяных смазочных материалов для определения области применения биожиров на железнодорожном транспорте.

Объекты и методы исследований. В качестве объектов исследований рассмотрены растительные и животные жиры, распространенные нефтяные масла без присадок и консистентные смазки на основе нефтяных масел. Кинематическую вязкость η (мм²/с) определяли при температуре 40 °С с помощью вискозиметра ВПЖ 2 (0,99) и термостата А2м (БМЦ, Беларусь) по ГОСТ 33-2016. Исследования триботехнических характеристик объектов исследований, диаметра пятна износа $D_{и}$ (мм) и нагрузку сваривания $N_{св}$ (кгс) проводили по ГОСТ 32502-2013 на приборе ЧШМ-К1 (Технопром-комплект, Украина).

Результаты исследований. В таблицах 1, 2 приведены результаты испытаний объектов исследований, в таблице 3 представлены результаты анализа экологических показателей. Проведённые эксперименты и изучение научных публикаций свидетельствуют о том, что растительные и животные жиры представляют собой перспективную замену нефтяных масел для создания экологически чистых смазочных материалов. Эти вещества пригодны для эксплуатации в узлах трения железнодорожного подвижного состава, непосредственно взаимодействующих с внешней средой, а также для производства консервирующих составов и очищающих растворов при подготовке техники к эксплуатации после длительного хранения.

Таблица 1 – Технические характеристики объектов исследования

Промышленная смазка для ж.-д. транспорта	Температура каплепадения*, °С	Диапазон рабочих температур*, °С	$D_{и}$, мм при 20 кгс	$N_{св}$, кгс
Циатим 203	150	-50 ... +90	0,52±0,01	85,0±0,3
Буксол	180	-60 ... +120	0,50±0,02	80,0±0,1
Пума	140	-60...+130	0,70±0,01	66,0±0,1

*Данные приведены из открытых интернет-источников.

Таблица 2 – Технические характеристики масла

Масло	η , мм ² /с при 40 °С	*Диапазон рабочих температур, °С	$D_{и}$, мм при 20 кгс	$N_{св}$, кгс
Рапсовое	32,7±0,1	-20 ... +80	0,67±0,03	126,0±0,1
Пальмовое	42,3±0,1	-20 ... +80	0,51±0,01	141,0±0,1
Касторовое	45,8±0,2	-20 ... +80	0,55±0,03	133,0±0,2
Говяжий жир	48,4±0,1	-20 ... +80	0,41±0,01	188,0±0,1
Минеральное И-40	51,0±0,2	-40...+120	0,60±0,03	200,0±0,3
ПАО 100	53,0±0,3	-60...+140	0,67±0,04	230,0±0,3

*Данные приведены из открытых интернет-источников.

Таблица 3 – Экологический показатель и области применения смазочных материалов

Смазочный материал	Процент за 21 день [6]	Преимущества / Недостатки	Узлы трения ж.-д. транспорта и др.	Нагрузка / Скорость / Температура
Минеральные масла	10–45	Дешевые, распространенные / Нестабильные, неэкологичные	Буксовый узел, механизм стрелочного перевода	Большие нагрузки / Большие скорости / -40...+100
Полиальфаолефины / синтетические масла	20–80	Эффективные, условно экологичные / Дорогие, сложный процесс производства	Многоцелевые подшипники скольжения ж/д транспорта	Большие нагрузки / Большие скорости / -100...+180
Биожир	75–100	Дешевые, возобновляемые, экологичные / Слабая окислительная стабильность и устойчивость к низким температурам	Смазка контактной пары «колесо–рельс», винтовые пары рельса, механизм стрелочного перевода, моющие и консервационные составы	Средние нагрузки / Малые и средние скорости / -20 ... +90 (короткий срок эксплуатации до замены)

Список литературы

- 1 **Reeves, C. J.** Advancements in eco-friendly lubricants for tribological applications: Past, present, and future / C. J. Reeves, P. L. Menezes // *Ecotribology: research developments*. – Cham : Springer, 2016. – P. 41–61.
- 2 Состояние и перспективы развития производства биоразлагаемых пластичных смазок (обзор) / О. П. Паренего, Р. З. Сафиева, С. В. Антонов [и др.] // *Нефтехимия*. – 2017. – Т. 57, №. 6. – С. 766–768.
- 3 Неорганическая полимерная присадка к пластичным смазочным материалам / И. В. Колесников, М. А. Савенкова, А. П. Сычев [и др.] // *Трение и износ*. – 2021. – Т. 42, №. 5. – С. 532–538. – DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-532-538.
- 4 Rheological and mechanical properties of oleogels based on castor oil and cellulosic derivatives potentially applicable as bio-lubricating greases: Influence of cellulosic derivatives concentration ratio/ R. Sanchez, J. M. Franco, M. A. Delgado [et al.] // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. – 2011. – Т. 17, №. 4. – С. 705–711.
- 5 **Wasilczuk, M.** Ecology in Tribology: Selected Problems of Eliminating Natural Oil-Based Lubricants from Mashine Friction Couplers / M. Wasilczuk, J. Łubiński, K. Zasińska // *Tribologia*. – 2023. – Vol. 304, №. 2. – P. 97–103. DOI: 10.5604/01.3001.0053.6129.
- 6 Microalgae Biomass as a New Potential Source of Sustainable Green Lubricants / L. I. Farfan-Cabrera, M. Franco-Morgado, A. González-Sánchez [et al.] // *Molecules*. – 2022. – Vol. 27, iss. 4. – P. 1205. – DOI: 10.3390/molecules27041205.

УДК 543.068

МЕТОД АНАЛИЗА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОБЩЕГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСАХ В АТМОСФЕРЕ ОТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

К. М. КОМИССАРОВА, В. В. МАКЕЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современных условиях вопросы экологической безопасности приобретают первостепенное значение для всех отраслей промышленности. Особое внимание уделяется железнодорожному транспорту как ключевому элементу транспортной системы Республики Беларусь. Становление и развитие железнодорожной инфраструктуры сопровождается увеличением объёмов грузо- и пассажироперевозок, что неизбежно приводит к возрастанию экологической нагрузки на окружающую среду.

Анализ экологической ситуации показывает, что значительная часть железнодорожных объектов располагается в непосредственной близости от населённых пунктов. Это создаёт потенциальную угрозу для здоровья работников отрасли и населения. Комплексный характер проблемы определяется несколькими факторами: растущая транспортная нагрузка на инфраструктуру и высокая плотность железнодорожной сети, локализация объектов вблизи населённых пунктов, что требует постоянного совершенствования природоохранных мероприятий и поддержания экологического баланса [1].

Одним из значимых факторов негативного воздействия на экологическую обстановку является выброс общего органического углерода (ООУ), который поступает в атмосферный воздух от железнодорожных предприятий в составе промышленных выбросов в атмосферный воздух. Данный показатель служит индикатором техногенной нагрузки на атмосферный воздух и может оказывать комплексное воздействие на состояние окружающей среды [2, 3].

На объектах железнодорожной инфраструктуры формирование общего органического углерода происходит в результате деятельности различных предприятий: вагонные и локомотивные депо, дистанции гражданских сооружений, дистанции пути, шпалопропиточный завод, на которых реализуются лакокрасочные работы, пропитка древесных материалов, сжигание газообразного и жидкого топлива, в том числе на основе отходов [1].

В Республике Беларусь действует комплексный подход к контролю выбросов общего органического углерода, регламентируемый техническим нормативным правовым актом ЭкоНП 17.08.06-001-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух (в том числе озоновый слой). Требования экологической безопасности в области охраны атмосферного воздуха». Нормативный документ устанавливает дифференцированные требования к предельно допустимым концентрациям (ПДК) выбросов ООУ в зависимости от характера производственных процессов: