

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:

При сжигании газообразного и жидкого топлива в различных типах установок определены следующие нормативы:

- для газотурбинных и газоперекачивающих установок, включая газовые турбины комбинированного цикла, ПДК варьируется от 150 до 300 мг/м³ в зависимости от типа используемого топлива;
- в случае поршневых, когенерационных, микротурбинных и тригенерационных установок, а также газомотокомпрессоров и других технологических установок с двигателями внутреннего сгорания (за исключением газотурбинных и газоперекачивающих) устанавливается норматив не менее 300 мг/м³.

Особые требования предъявляются к процессам сжигания отходов:

- при использовании и обезвреживании коммунальных отходов, RDF-топлива и топлива из коммунальных отходов допустимая концентрация составляет 200 мг/м³;
- для иных видов отходов и топлива из отходов (с содержанием отходов более 15 %) установлен показатель 50 мг/м³.

Строгие нормативы применяются к процессам нанесения покрытий:

- при работе с металлическими, пластмассовыми и деревянными поверхностями ПДК составляет 50 мг/м³;
- для операций с клейкими покрытиями установлен показатель 150 мг/м³;
- при проведении очистки поверхностей допустимая концентрация составляет 75 мг/м³.

Данные нормативы направлены на обеспечение экологической безопасности и сохранение качества атмосферного воздуха в районах размещения объектов железнодорожной инфраструктуры. Их соблюдение является обязательным условием для всех предприятий отрасли. Контроль за соблюдением установленных ПДК ООУ осуществляется уполномоченными органами государственного экологического контроля и аккредитованными субъектами на регулярной основе [4].

В Республике Беларусь единственным методом измерения концентрации ООУ в выбросах в атмосферный воздух, соответствующим требованиям законодательства об обеспечении единства измерений, является метод, представленный в государственном стандарте Республики Беларусь СТБ 17.13.05-51-2021/EN 12619:2013 «Определение массовой концентрации общего газообразного органического углерода. Метод с применением детектора с непрерывной пламенной ионизацией». Данный стандарт предусматривает использование газоаналитического оборудования для определения массовой концентрации ООУ.

Ключевым недостатком газоаналитического оборудования и реализуемого на его основе метода, описанного в стандарте, является применение единого коэффициента пересчета, определенного по пропану [5, 6]. Это снижает достоверность определения концентрации ООУ в составе сложных многокомпонентных газовых смесей с компонентами, значительно отличающимися как по молекулярному строению и количеству содержания в них атомов углерода, так и по концентрации.

Согласно имеющимся данным, неопределенность измерений может варьировать в достаточно широком диапазоне – от 20 до 50 % от полученного значения концентрации [5].

Методика также имеет существенные ограничения в отношении диапазона определяемой концентрации ООУ, и ее верхний предел обнаружения составляет 1 000 мг/м³, что накладывает серьезные ограничения на возможность работы с пробами, характеризующимися высоким содержанием органических веществ, и существенно сужает область применения метода.

Несмотря на указанные ограничения, СТБ 17.13.05-51-2021/EN 12619:2013 остается актуальным инструментом контроля содержания общего органического углерода, однако требует тщательного подхода к его применению и учета всех потенциальных источников погрешностей при проведении измерений [6].

Целью исследования является разработка методики анализа многокомпонентных газовых смесей в промышленных выбросах из организованных источников железнодорожных предприятий методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором с возможностью селективного определения состава и концентрации отдельных компонентов газовой смеси для последующего определения концентрации общего органического углерода.

Методология газовой хроматографии представляет собой один из наиболее перспективных подходов к решению данной проблемы. Газовая хроматография как метод разделения смесей базируется на различной скорости движения компонентов по колонке, разной способности к сорбции-десорбции и различной растворимости в неподвижной фазе.

Этот метод обладает целым рядом существенных преимуществ, среди которых выделяется высокая чувствительность и точность измерений, возможность автоматизации, высокая селективная способ-

ность, позволяющая эффективно анализировать даже самые сложные многокомпонентные смеси, что особенно важно при анализе промышленных выбросов [8]. Хроматографический анализ является пространственным рутинным методом, оборудование для которого производится в Российской Федерации, обслуживается в Республике Беларусь.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи.

1 Разработка алгоритма пробоотбора и пробоподготовки промышленных выбросов от железнодорожных предприятий с учетом специфики их состава и концентраций загрязняющих веществ:

- выбор сорбционных материалов;
- определение объема отобранной пробы;
- установление времени десорбции.

2 Оптимизация параметров хроматографического анализа:

- выбор типа хроматографической колонки;
- определение оптимальных температурного режима и скорости газа-носителя;
- настройка параметров работы пламенно-ионизационного детектора (ПИД-детектора);
- установление режимов ввода пробы.

3 Создание системы градуировки и калибровки методики:

- подбор стандартных образцов органических веществ;
- построение градуировочных характеристик;
- установление калибровочных коэффициентов;
- определение пределов обнаружения и линейности;
- расчет метрологических характеристик.

4 Обработка результатов.

На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма анализа многокомпонентных газовых смесей методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором для определения концентрации ООУ.



Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма анализа многокомпонентных газовых смесей методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором для определения концентрации ООУ

Вывод. В результате проведенных исследований разработана методика определения ООУ в промышленных выбросах в атмосферный воздух предприятий железнодорожной отрасли на основе анализа многокомпонентных газовых смесей методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором с возможностью селективного определения состава и концентрации отдельных компонентов газовой смеси. Предложенный подход экологического мониторинга ООУ успешно прошел экспериментальную апробацию на объектах железнодорожного транспорта.

Список литературы

- 1 Белорусская железная дорога [сайт]. – URL: <https://www.rw.by/> (дата обращения: 05.09.2025).
- 2 О деятельности, связанной с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух : постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь № 33 от 27.12.2023 (с изм. от 30.12.2024 № 75) // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 28.09.2025).
- 3 Органический углерод: вопросы гигиенического регламентирования и гармонизации / Е. А. Кузьмина, Е. О. Кузнецов, Н. В. Смагина [и др.] // Гигиена и санитария. – 2013. – № 6. – С. 60–64.
- 4 ЭкоНиП 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 : утв. постановлением М-ва природ. ресурсов и охраны окруж. среды Респ. Беларусь от 29.12.2022 № 32-Т // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – URL: <https://pravo.by/-document/?guid=12551&p0=W22339600p> (дата обращения: 28.09.2025).
- 5 СТБ 17.13.05-51-2021/EN 12619:2013. Выбросы от стационарных источников. Определение массовой концентрации общего газообразного органического углерода. Метод с применением детектора с непрерывной пламенной ионизацией. – Введ. 01.02.2022. – Минск : БелГИСС, 2022. – 20 с.
- 6 Цупрева, В. Анализаторы общего органического углерода компании Shimadzu для исследования проб различной природы / В. Цупрева // Аналитика. – 2013. – № 2. – С. 82–87.

УДК 621:534.614

ВЛИЯНИЕ СОБСТВЕННОЙ ВИБРАЦИИ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Е. Ф. КУДИНА, И. В. ПРИХОДЬКО, П. А. КУРИЦЫН
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Г. Р. ГОНЧАРОВ
ООО «IEK GROUP», г. Москва, Российская Федерация

А. К. ОНГАРБЕКОВ
ОПС «КазЦСЖТ», г. Астана, Республика Казахстан

Одним из наиболее интересных направлений исследований влияния вибрационных параметров является изучение собственной механической вибрации электрических машин. Она вызывается разбалансированностью вращающихся частей, механическими неисправностями или причинами электромагнитного характера [1, 2]. Повышенные вибрации электрических машин являются одной из главных причин их преждевременного выхода из строя, в первую очередь, это касается повреждения подшипников. Повышенная вибрация быстро изнашивает изоляцию обмоток и может привести к деформации вала, появлению трещин, повреждениям на корпусе, а также опорной рамы или фундамента. Недооценка этого фактора может иметь неоднозначные последствия.

Отсутствие диагностики в процессе эксплуатации оборудования может привести к выходу из строя как самого объекта – источника вибрации, так и всей технологической установки, в состав которой он входит, что может вызвать остановку технологического процесса или создать ситуацию, связанную с риском для жизни [3, 4]. В настоящее время оценку уровней вибрации производят с целью установления надежности работы оборудования. Самый распространенный – контактный способ. Как правило, он осуществляется при помощи пьезоэлектрических датчиков или так называемых акселерометров, устанавливаемых на корпусе объекта.

Вибрация электрической машины в значительной степени зависит от способа ее установки, и поэтому необходимо проводить измерение вибрации в условиях, близких к действительным условиям ее размещения в процессе эксплуатации. В зависимости от требований по вибрации электрические машины подразделяются на три категории, и от этого будут зависеть условия проведения испытаний и критерии поверки испытываемого оборудования.

Одно из наиболее важных условий проведения измерений – это правильное расположение датчиков в контрольных точках измерений вибрации. Поскольку реакции механических систем на возбуждение механическими колебаниями определяются сложными физическими процессами, то при измерении даже на одном элементе испытываемого объекта в близких друг к другу точках может наблюдаться различный характер исследуемых колебаний. Необходимо производить замеры вибрации в одних и тех же контрольных точках. Измерение параметров вибрации в контрольных точках производится на подшипниковых опорах агрегата, корпусе агрегата и на анкерных фундаментных болтах.

Испытание электрических машин связано с измерением нескольких видов вибрационных характеристик: