

УДК 504.3.054

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ СОДЕРЖАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ ИЗНАШИВАНИЯ ШИН И ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**Лисицкий Кирилл Юрьевич**, студент, направление подготовки 27.03.01 Стандартизация и метрология, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: lisitskiy.kirill@yandex.ru

Научные руководители: **Третьяк Людмила Николаевна**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой метрологии, стандартизации и сертификации, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: tretyak\_ln@mail.ru

**Вольнов Александр Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры метрологии, стандартизации и сертификации, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: Volnov\_AS@mail.ru

***Аннотация.** Показано, что основными источниками выбросов дисперсных частиц, оказывающих негативное влияние на окружающую среду и здоровье населения городов, являются продукты изнашивания шин, тормозных механизмов автотранспортных средств, а также дорожного покрытия. Проведен анализ факторов, влияющих на выброс дисперсных частиц в процессе изнашивания шин, тормозных механизмов автотранспортных средств. Выявлена потребность в установлении закономерностей изнашивания дорожного покрытия, шин и тормозных механизмов, а также их влияния на степень образования и состав дисперсных частиц, не относящихся к отработавшим газам. Цель исследования – разработать проект методики оценки содержания дисперсных частиц при изнашивании шин и тормозных механизмов автотранспортных средств в реальных условиях эксплуатации. Проанализированы существующие методики измерений концентраций дисперсных частиц и нормы их допустимых выбросов в приземном слое атмосферы. Проведено функциональное моделирование процесса «Оценить содержание дисперсных частиц в процессе изнашивания шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия» в нотации IDEF0. Разработана специальная измерительная система, предлагаемая автором для оценки фактического состава и концентраций дисперсных частиц, образующихся при движении автотранспортных средств в продуктах изнашивания шин, тормозных механизмах и дорожном покрытии.*

***Ключевые слова:** автотранспортное средство, шина, тормозной механизм, дорожное покрытие, изнашивание, выброс, дисперсные частицы, методика измерений, измерительная система.*

***Для цитирования:** Лисицкий К. Ю. Предложения по оценке содержания дисперсных частиц в процессе изнашивания шин и тормозных механизмов автотранспортных средств // Шаг в науку. – 2022. – № 3. – С. 32–38.*

## PROPOSALS FOR ASSESSING THE CONTENT OF DISPERSED PARTICLES IN THE PROCESS OF WEAR OF TIRES AND BRAKE MECHANISMS OF VEHICLES

**Lisitskiy Kirill Yurievich** student, training program 27.03.01 Standardization and metrology, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: lisitskiy.kirill@yandex.ru

Research advisors: **Tretyak Lyudmila Nikolaevna**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Metrology, Standardization and Certification, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: tretyak\_ln@mail.ru

**Volnov Alexander Sergeevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metrology, Standardization and Certification, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: Volnov\_AS@mail.ru

**Abstract.** It is shown that the main sources of emissions of dispersed particles that have a negative impact on the environment and the health of the population of cities are the wear products of tires, brake mechanisms of vehicles, as well as the road surface. The analysis of the factors influencing the emission of dispersed particles in the process of wear of tires, brake mechanisms of motor vehicles was carried out. The need has been identified to establish the patterns of wear of the road surface, tires and brake mechanisms, as well as their influence on the degree of formation and composition of dispersed particles that are not related to exhaust gases. The purpose of the study is to develop a draft methodology for assessing the content of dispersed particles during the wear of tires and brake mechanisms of vehicles in real operating conditions. The existing methods for measuring the concentrations of dispersed particles and the norms for their permissible emissions in the surface layer of the atmosphere are analyzed. Functional modeling of the process «Estimate the content of dispersed particles in the process of wear of tires, brake mechanisms and road surface» in the IDEF0 notation was carried out. A special measuring system has been developed, proposed by the author to assess the actual composition and concentrations of dispersed particles formed during the movement of vehicles in the wear products of tires, brakes and road surfaces.

**Key words:** motor vehicle, tire, brake mechanism, road surface, wear, emission, dispersed particles, measuring technique, measuring system.

**Cite as:** Lisitskiy, K. Yu. (2022) [Proposals for assessing the content of dispersed particles in the process of wear of tires and brake mechanisms of vehicles]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 3, pp. 32–38.

В настоящее время благодаря внедрению эффективных технологий нейтрализации загрязняющих веществ (ЗВ) из состава отработавших газов выбросы дисперсных частиц (ДЧ) постепенно снижаются [1, 5]. При этом все большую обеспокоенность вызывают ДЧ, выбрасываемые при изнашивании тормозных механизмов, а также частицы, образующиеся в результате взаимодействия шин с дорожным покрытием. Впоследствии, взвесь дорожной пыли, накапливающаяся на дорожном полотне и поднимаемая ветром или автотранспортным потоком, может оказывать отрицательное влияние на здоровье населения, проживающего в непосредственной близости к дороге [2–5]. Количество дорожной пыли существенно зависит от особенностей улично-дорожной сети, параметров автотранспортного потока, технического состояния, срока службы покрышек, тормозных накладок, колодок и дисков. Помимо климатических условий к внешним факторам, определяющим степень образования ДЧ, относят опыт и стиль вождения. Во время городского ездового цикла процесс изнашивания будет протекать гораздо быстрее, чем при движении по трассе, т.к. движение по городу подразумевает частую потребность в применении тормозной системы. При этом нельзя забывать и о состоянии дорожного полотна, которое существенно влияет на состояние и срок эксплуатации автомобильных шин и тормозных колодок.

В последние годы были опубликованы многочисленные всесторонние исследования [1, 5, 6], охватывающие такие аспекты, как износ шин, тормозов, коэффициенты их выбросов, особенности распространения, химическая характеристика и возможные неблагоприятные последствия для здоровья. При этом в научном сообществе существует общее мнение о том, что «отсутствует стандартизированная методология отбора проб и измерения ДЧ износа шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия». Это основная причина, по которой вы-

воды доступных исследований могут быть несопоставимы, или даже противоречить друг другу. Что касается выбросов частиц износа шин, ситуация выглядит гораздо более сложной. С одной стороны, существует общее мнение, что более 90% по массе материала, выбрасываемого в результате износа шин, составляют частицы диаметром, превышающим 10 мкм. Исследования также показывают, что массовое распределение частиц износа шин по размерам имеет по крайней мере один пик крупной фракции. С другой стороны, состав частиц износа шин в настоящее время полностью не ясен: не установлено существуют ли в окружающей среде «чистые» частицы износа шин или все частицы состоят из смеси материалов, поступающих от шин, дороги, и нанесенный на него материал. При этом вклад частиц износа шин в окружающие ДЧ10 и ДЧ2,5 оценивается в диапазоне от 0,8–8,5% до 0,25–3,0% по массе соответственно.

Анализ методик расчета выбросов ДЧ, разработанных ранее зарубежными и отечественными учеными, показал, что в них отсутствует детализация гранулометрического состава. Кроме этого, не везде учитываются влияющие факторы (разные типы покрытий, шин, тормозных механизмов), а исследование чаще всего проводят дифференциально, учитывая только один источник выбросов. Так в европейском институте энергетики и транспорта проводились лабораторные измерения степени износа шин в режиме реального времени в закрытой камере, что исключало фоновые и другие загрязняющие частицы [7, 8]. При этом важно отметить, что симулятор шин может не обеспечивать реальных условий, потому что материал дороги, контактное напряжение шины, направление передачи нагрузки (вертикальное или горизонтальное) и аэродинамика в камере отличаются от условий движения АТС на дороге. Результаты показали, что физические свойства ДЧ могут меняться в зависимости от условий

движения, включая скорость шин, нагрузку, скорость скольжения и резкое торможение.

Лабораторные исследования степени изнашивания тормозных механизмов также обычно проводятся в изолированной камере [7]. Данные по выбросам ДЧ были получены путем деления массы собранной пыли на количество примененных торможений в отдельном пробеге. Показано, что при условии замедления объемы выбросов пыли увеличиваются. При этом продолжительное трение во время торможения с малым замедлением может вызвать усталость фрикционной поверхности колодки.

В настоящее время существует большое разнообразие измерительных устройств, предназначенных для контроля количества и массовых концентраций ДЧ в окружающей среде. Измерительные устройства основаны на различных принципах, таких как, например, гравиметрические свойства частиц. Эти устройства можно использовать в качестве стационарной измерительной станции, но также можно использовать для мобильных измерений, используя их в системе, установленной на транспортном средстве или прицепе. При этом для отбора проб дорожной пыли также не существует единого метода. Существуют методы, использующие «сухие методы», такие как уборка пылесосом, которые отбирают взвешенную фракцию дорожной пыли, а также метод мокрого отбора проб, используемый для определения общего имеющегося количества дорожной пыли и др.

Таким образом, исследования показывают, что для достоверной оценки содержания ДЧ в процессе изнашивания шин, тормозных механизмов АТС необходимо учесть множества факторов. При этом большинство рассмотренных исследований проводилось в лабораториях без учёта реальных условий эксплуатации АТС. На основе проведенного анализа нами разработана методика оценки содержания ДЧ в процессе изнашивания шин и тормозных механизмов АТС. Методика предназначена для комплексной оценки состава и концентраций ДЧ в продуктах изнашивания шин, тормозных механизмов АТС в условиях эксплуатации. Метод основан на прямом измерении массовых концентраций ДЧ, с последующей оценкой их состава и концентраций.

В методике оценки основные режимы движения АТС гармонизированы с ездовым циклом, имитирующим реальные условия эксплуатации Real Driving Emissions (RDE). RDE – это ездовой цикл для контроля содержания ЗВ в отработавших газах АТС, применяемый в Европейском союзе. Нами предлагается проводить аналогичные исследования не только для контроля концентраций ЗВ в отработавших газах, но и ДЧ, образующихся в процессе изнашивания шин, тормозных механизмов АТС и дорожного покрытия. Для этого нами предлагается дооснащать испытуемое АТС разработанной портативной из-

мерительной системой, которая позволяет собирать данные для контроля содержания ДЧ. При анализе характера движения АТС в городских условиях необходимо учитывать скоростные ограничения движения. Скорость автомобилей в городе составляет от 15 до 40 км/ч, на пересечённой местности от 60 до 90 км/ч, на автомагистрали >90 км/ч (>100 км/ч не менее 5 мин). Автомобиль должен пройти техническое обслуживание и технический осмотр. Применение в составе измерительной системы счётчика частиц даст возможность контролировать гранулометрический состав выбросов ДЧ от продуктов изнашивания шин и тормозных механизмов АТС. Впоследствии, предложенная нами измерительная система позволит установить зависимости концентраций ДЧ 2,5 и 10 мкм от скорости, различных режимов движения АТС, типа шин, тормозных механизмов, а также дорожного покрытия.

На основе разработанной методики нами смоделирован процесс «Оценить содержание ДЧ в процессе изнашивания шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия» с применением методологии IDEF0. Входом процесса является: АТС с неизвестными концентрациями ДЧ при изнашивании шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия, а также потребность в их оценке. Выходом диаграммы является АТС с известными концентрациями ДЧ, протокол результатов определения концентраций ДЧ, а также удовлетворение потребности в оценке содержания ДЧ (рисунк 1). Декомпозиция рассматриваемого нами процесса позволила детализировать основные этапы его проведения: планирование и подготовка исследования по оценке содержания ДЧ, установка устройства отбора проб воздуха на АТС и проверка его работоспособности, оценка содержания ДЧ при движении АТС согласно ездовому циклу, анализ результатов и разработка организационно-технических мероприятий (рисунк 2).

Нами учитывались требования разработанной методики и построенной функциональной модели, предусматривающих внесение в протокол перед началом измерений исходной информации об АТС (марка, модель, тип транспортного средства, год выпуска, пробег, тип и марка автомобильных шин, тормозных механизмов).

Методика измерений предполагает отбор проб воздуха из зоны контакта шины с дорожным покрытием с последующим определением в составе пробы концентраций ДЧ с учётом их гранулометрического состава на различных режимах движения АТС.

Схема измерительной системы, предлагаемой для количественной оценки содержания ДЧ в продуктах изнашивания шин, тормозных механизмов АТС и дорожного покрытия, представлена на рисунке 3.

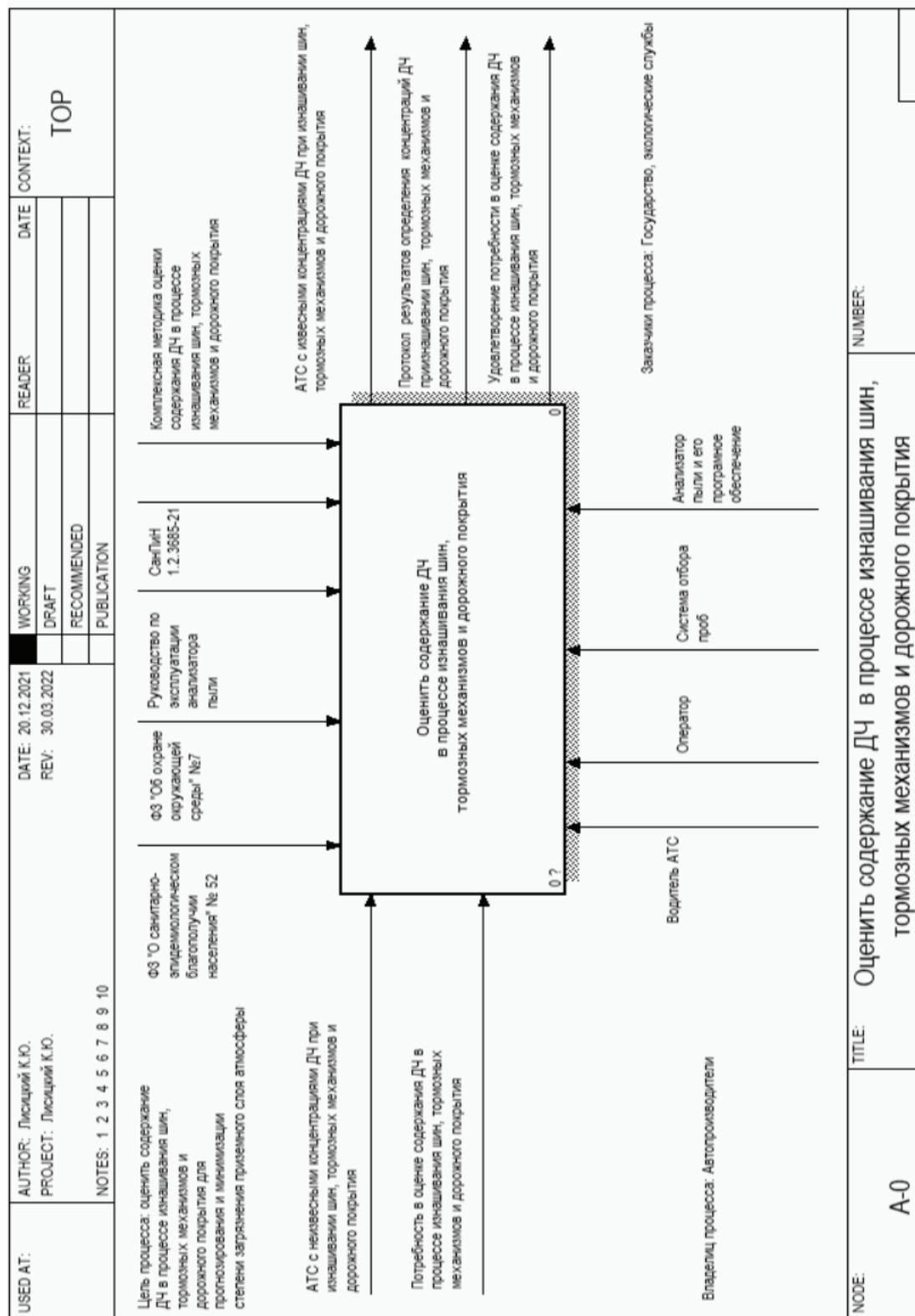


Рисунок 1. Контекстная диаграмма процесса «Оценить содержание ДЧ в процессе изнашивания шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия»  
 Источник: разработано автором

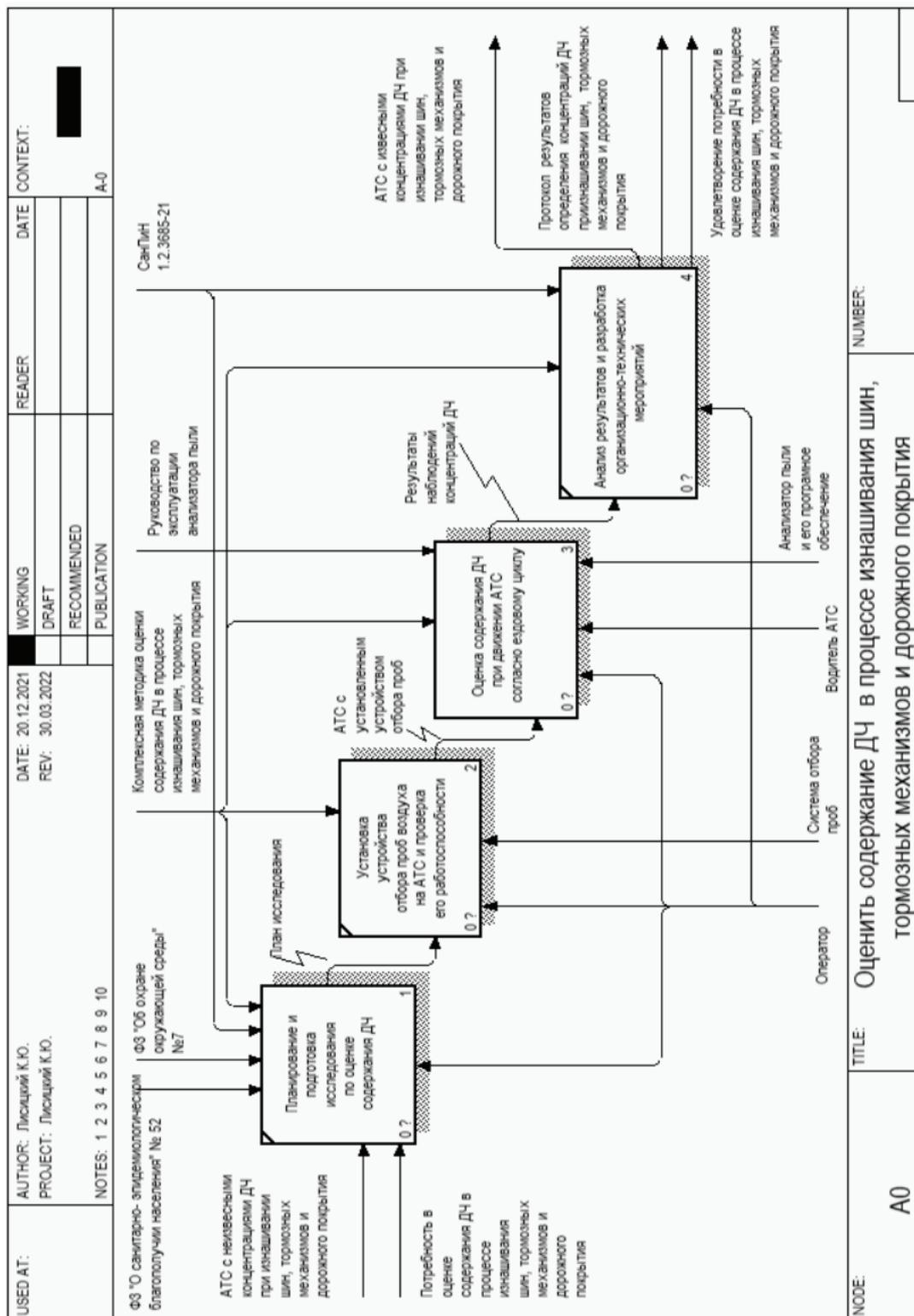
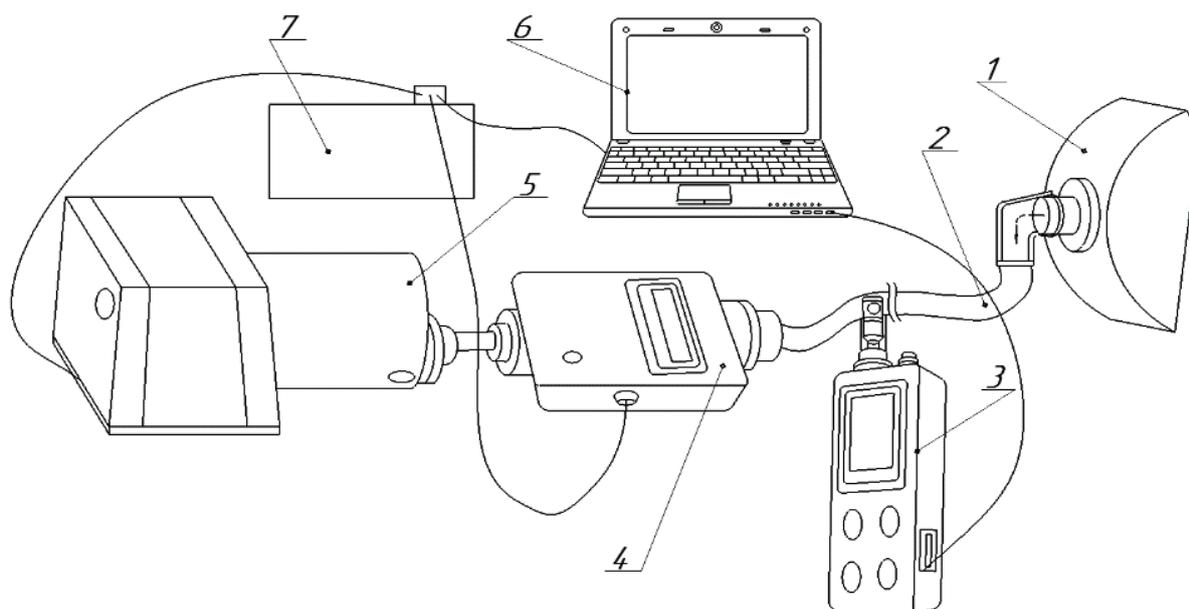


Рисунок 2. Декомпозиция процесса «Оценить содержание ДЧ в процессе изнашивания шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия»  
 Источник: разработано автором



1 – устройство отбора проб; 2 – патрубок; 3 – счётчик частиц; 4 – расходомер; 5 – компрессор; 6 – ноутбук с программой для определения массовых концентраций ДЧ; 7 – питание (аккумулятор)

Рисунок 3. Схема измерительной системы, предлагаемой для количественной оценки содержания ДЧ  
Источник: разработано автором

Установка устройства отбора проб для количественной оценки содержания ДЧ в продуктах изнашивания шин, тормозных механизмов АТС и дорожного покрытия в портативном исполнении работает следующим образом. Подготовительный этап: устройство отбора проб 1 устанавливают на подкрылок АТС и соединяют с патрубком 2 устройства; проверяют герметичность измерительной системы; подсоединяют и включают счётчик частиц 3; включают ноутбук 6 и запускают программу для определения массовых концентраций ДЧ при помощи информации, полученной от счётчика частиц 3. На требуемом режиме движения АТС или при других необходимых условиях включается компрессор 5. Через устройство отбора проб 1 и герметично закрепленный патрубок 2 отобранный воздух попадает в измерительную систему, где с помощью счётчика частиц определяется концентрация ДЧ с учётом их гранулометрического состава. Для защиты от попадания влаги на устройстве отбора проб может дополнительно устанавливаться каплеотбойник. Массовые выбросы ДЧ определяются на основе полученных от счётчика частиц 3 и расходомера 4 результатов наблюдений, с использованием

специализированного программного обеспечения, установленного на ноутбуке 6. После измерений содержания ДЧ следует провести очистку измерительной системы.

Результаты исследований заносятся в протокол. По концентрациям ДЧ<sub>10</sub>, ДЧ<sub>2,5</sub> делается вывод о степени изнашивания тормозного диска, барабана, колодок, накладок, а также об их экологической безопасности.

Таким образом, разработка достоверных методов оценки изнашивания автомобильных шин и тормозных механизмов в условиях их реальной эксплуатации позволит автопроизводителям путём подбора соответствующих комплектующих обеспечивать комплексную экологическую безопасность выпускаемых АТС. При этом первоочередной задачей на государственном уровне становится совершенствование системы оценки экологической безопасности АТС не только с учётом экологического класса двигателя, но и продуктов изнашивания автомобильных шин, тормозных механизмов и накладок. Для этого в ближайшее время в стране необходима разработка или гармонизация норм и методик по комплексному контролю выбросов ДЧ от АТС.

### Литература

1. Азаров В. К. Разработка комплексной методики исследований и оценки экологической безопасности и энергоэффективности автомобилей: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. / В. К. Азаров. – Москва: НИИ автомоб. и автомотор. Ин-т «НАМИ», 2014. – 137 с.

- 
2. Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов 2019. Общие руководящие указания по подготовке национальных инвентаризаций выбросов [Электронный ресурс] / The European Environment Agency (EEA). – Режим доступа: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019> (дата обращения: 13.05.2022).
  3. Третьяк Л. Н. Оценка экологической безопасности автотранспортных потоков по концентрациям дисперсных частиц с учетом их гранулометрического состава (на примере Оренбурга) / Л. Н. Третьяк, А. С. Вольнов // Интеллект. Инновации. Инвестиции, 2020. – № 2. – С. 134–147.
  4. Трофименко Ю. В. Оценка загрязнения воздуха аэрозольными частицами размером менее 10 мкм от транспортных потоков на городских автомагистралях / Ю. В. Трофименко, В. С. Чижова // Экология и промышленность России, 2012. – № 9. – С. 41–45.
  5. Чижова В. С. Повышение экологической безопасности автотранспортного комплекса путём снижения загрязнения воздуха дисперсными частицами размером менее десяти микрометров: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.10: защищена 17.05.16 / Чижова Вера Сергеевна. – М.: Моск. автомобил.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ), 2016. – 166 с.
  6. Düring I. PM10-Emissionen an Außerortsstraßen mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM10-Konzentrationen aus Messungen an der A 1 Hamburg und Ausbreitungsrechnungen [Electronic resource] / I. Düring, R. Böisinger, A. Lohmeyer // Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 125. – Access: <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/108/file/V125.pdf> (дата обращения: 12.05.2022).
  7. Grigoratos T. Non-exhaust traffic related emissions. Brake and tyre wear PM [Electronic resource] / T. Grigoratos, G. Martini // Publications Office of the European Union, 2014. – Access: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC89231> (дата обращения: 12.05.2022). <https://doi.org/10.2790/22000>.
  8. Kim Gibaek Characteristics of Tire Wear Particles Generated by a Tire Simulator under Various Driving Conditions. [Electronic resource] / Kim, Gibaek and Seokhwan Lee // Environmental science & technology. – Access: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b03459> (дата обращения: 12.05.2022). <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03459>.

Статья поступила в редакцию: 19.05.2022; принята в печать: 25.08.2022.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.