



МЕЖДУНАРОДНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЕГУЛИРОВАНИЮ НЕВЫХЛОПНЫХ ВЫБРОСОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Сойиб Ортикович Нарзиев

Ташкентский государственный транспортный
университет, Ташкент, Узбекистан.

email: soyib.narziev@gmail.com

Завкиддин Зайниддинович Шаропов

Ташкентский государственный транспортный
университет, Ташкент, Узбекистан

email: zavqiddinsharopov8@gmail.com

Хадиева Гулноза Шавактовна

Ташкентский государственный транспортный
университет, Ташкент, Узбекистан

email: gulnozakhadiyeva@gmail.com

***Аннотация:** Выбросы, не связанные с выхлопными газами (ВВГ), от автомобильного транспорта – твердые частицы (ТЧ), образующиеся в результате износа тормозов, шин, дорожного покрытия и повторного взвешивания дорожной пыли – признаны одним из основных источников загрязнения городского воздуха . Поскольку выбросы из выхлопных труб снижаются при строгих стандартах на выбросы, ВВГ могут составлять большую часть ТЧ, связанных с дорожным движением. Поэтому международные организации (ЕС, ЕЭК ООН, ВОЗ, Агентство по охране окружающей среды, Япония, Китай) рассматривают или принимают новые правила для решения проблемы ВВГ. В данном исследовании рассматриваются и сравниваются глобальные нормативные рамки для контроля ВВГ.*

Ключевые слова: *невыхлопные выбросы; тормозная пыль; износ шин; $PM_{2.5}$; Евро 7; ЕЭК ООН; качество воздуха;*

Abstract: *Non-exhaust emissions (NEE) from road transport—particulate matter (PM) generated by brake wear, tire wear, road surface abrasion, and the resuspension of road dust—are recognized as one of the major sources of urban air pollution. As tailpipe emissions continue to decline under increasingly stringent emission standards, NEE are expected to constitute a growing share of traffic-related particulate matter. Consequently, international organizations such as the European Union, UNECE, World Health Organization, Environmental Protection Agency, as well as authorities in Japan and China, are developing or implementing new regulations to address NEE. This study reviews and compares global regulatory frameworks for controlling non-exhaust emissions.*

Keywords: *non-exhaust emissions; brake wear; tire wear; $PM_{2.5}$; Euro 7; UNECE; air quality.*

Автомобильный транспорт является основным источником загрязнения мелкодисперсными частицами. Хотя стандарты выбросов выхлопных газов (Евро 6/VI, США Tier 3) значительно снизили содержание твердых частиц в выхлопных газах, выбросы, не связанные с выхлопными газами (NEE), такие как износ тормозных колодок, износ шин, истирание дорожного покрытия и повторно взвешенная пыль, стали относительно более важными [2]. В городских районах исследования показывают, что NEE могут составлять 50–90% массы твердых частиц $PM_{2.5}$, связанных с дорожным движением [1]. Эти частицы часто содержат токсичные металлы (Cu, Sb из тормозов; углеродистые фрагменты из шин) и

микропластик, что вызывает опасения для здоровья. Однако, в отличие от выхлопных газов, НЭЕ исторически не регулировались, поскольку их сложнее измерить и определить их источник. Руководящие принципы Всемирной организации здравоохранения по качеству воздуха подчеркивают, что даже низкие концентрации твердых частиц оказывают воздействие на здоровье, что усиливает необходимость контроля всех источников твердых частиц (ВОЗ, 2021).

В последнее время регулирующие органы начали заниматься проблемой выбросов парниковых газов. В предстоящем регламенте ЕС по стандарту Евро-7 для транспортных средств будут включены ограничения на износ тормозов и шин. ЕЭК ООН приняла глобальный тест на частицы, содержащиеся в тормозной системе (Регламент ООН 179) [3]. Агентство по охране окружающей среды США признало выбросы парниковых газов в своем реестре (MOVES), но еще не установило стандарты [7]. Япония и Китай также движутся в направлении контроля выбросов парниковых газов (предложение Китая по этапу VII включает частицы, содержащиеся в тормозной системе и шинах). Цель данной статьи — рассмотреть источники выбросов парниковых газов, методы измерения и международные нормативные рамки, сравнить ключевые юрисдикции (ЕС/ЕЭК ООН, США, Япония, Китай) и предложить политические рекомендации для Узбекистана.

Мы провели систематический обзор литературы и политических документов по выбросам транспортных средств, не связанным с выхлопными газами. Источники включали рецензируемые журналы (через Scopus, Google Scholar), отчеты международных агентств и официальные нормативные акты. Ключевые поисковые запросы

включали «выбросы, не связанные с выхлопными газами», «регулирование тормозной пыли», «твердые частицы износа шин», «частицы тормозов стандарта Евро-7» и т. д. Мы отдавали приоритет авторитетным источникам: Европейская комиссия (JRC), UNECE/UN GTRs, технические отчеты ЕРА, публикации CARB, руководства ВОЗ и недавние обзоры [1]. Критерии включения: документы, касающиеся источников выбросов, измерения, воздействия или регулирования. Данные из этих источников были извлечены для сравнения масштабов, ограничений, мониторинга и сроков в разных юрисдикциях. Мы также разработали сравнительную таблицу нормативных актов и дорожную карту внедрения для Узбекистана на основе передового международного опыта.

Твердые частицы, не выбрасываемые в атмосферу, образуются в результате физического истирания и механических процессов. Твердые частицы, образующиеся при износе тормозных колодок, возникают, когда тормозные колодки прижимаются к дискам (или барабанам), образуя мелкие частицы. Исследования показывают, что примерно 40–50% износа тормозных колодок/дисков превращается в твердые частицы $PM_{2.5}$, находящиеся в воздухе. *Типичные коэффициенты выбросов варьируются от нескольких до десятков мг/км в зависимости от массы транспортного средства и стиля вождения. Частицы износа шин образуются в результате истирания резины шин о дорожное покрытие и содержат органические вещества, сажу и дорожные материалы. Лишь небольшая часть (0,1–10%) износа шин превращается в твердые частицы $PM_{2.5}$, находящиеся в воздухе; оставшаяся часть оседает в виде дорожной пыли. Износ дорожного покрытия (асфальта и разметки) также образует крупные частицы;*

исследования показывают, что повторно взвешенная дорожная пыль (которая включает в себя накопившиеся обломки тормозов/шин и другую пыль) часто является крупнейшим источником твердых частиц, составляя 28–59% массы твердых частиц, не выбрасываемых в атмосферу.

Электромобили (ЭМ) исключают выбросы выхлопных газов, но тяжелее (масса батареи) и используют рекуперативное торможение. Рекуперативное торможение может снизить выбросы от износа тормозов примерно на 80% (поскольку фрикционные тормоза используются гораздо реже). Однако вес ЭМ может увеличить выбросы от износа шин. В целом, исследования с использованием моделей показывают, что полная электрификация снизит общее количество твердых частиц в выхлопных газах за счет исключения выхлопных газов и большей части твердых частиц от тормозов, хотя рост износа шин и дорожного покрытия остается проблемой.

Методы измерения и мониторинга

Появляются стандартизированные методы измерения твердых частиц, не связанных с выхлопными газами. Разработаны лабораторные испытания на тормозных динамометрах, в которых используется тормозной стенд и профиль цикла движения для измерения выбросов, специфичных для тормозов [3]. Эти испытания позволяют получить значения $PM_{2.5}$ или скорости образования частиц для тормозных систем. Для оценки износа шин используются испытательные стенды (UNECE R117, будущие GTR), которые измеряют «индекс износа», имитируя сопротивление качению под нагрузкой [4]. На практике регулирующие органы

внедряют эти испытания: регламент UNECE по тормозам требует измерения $PM_{2.5}$ на динамометрах, а предельные значения износа шин (индекс AICT) находятся в стадии разработки. Мониторинг на дорогах более сложен; в некоторых исследованиях используются портативные датчики аэрозоля рядом с колесами, отбор проб с помощью вакуумной системы на дорогах или станции мониторинга качества воздуха вдоль трассы. В Калифорнии для оценки вклада тормозной пыли использовались измерения выбросов, специфичных для тормозов, и исследования в туннелях. Для соответствия нормативным требованиям стандарт Euro 7 будет опираться на процедуры испытаний на соответствие требованиям по выпуску выхлопных газов (динамометрические испытания и, возможно, испытания в реальных условиях движения). Эффективный мониторинг, скорее всего, будет сочетать эти утвержденные лабораторные анализы с периодическими проверками на дорогах или анализом атмосферного воздуха в районах с интенсивным движением.

Международные нормативные рамки

В таблице 1 приведена сводная информация о правилах NEE в ключевых юрисдикциях. Ниже мы подробно рассмотрим каждое из них.

ЕС/Евро 7 (ЕС): Регламент ЕС по стандарту Евро 7 для транспортных средств (согласован в декабре 2023 г.) распространяет требования к сертификации на выбросы тормозов и шин. Он применяется к новым легковым автомобилям/фургонкам (категории M1/N1) и более поздним тяжелым транспортным средствам. Евро 7

устанавливает предельные значения выбросов $PM_{2.5}$ от 3 до 7 мг/км для легковых автомобилей и от 5 до 11 мг/км для легких фургонов [5]. Эти ограничения являются обязательными для новых автомобилей, прошедших сертификацию, с ноября 2026 года и для всех вновь проданных транспортных средств с ноября 2027 года. Важно отметить, что рекуперативное торможение явно включено в регламент, то есть электромобили должны соответствовать этим ограничениям, используя свои фрикционные тормоза. Евро 7 также требует проведения испытаний на сертификацию и установления предельных значений износа шин: шины легковых автомобилей (C1) должны иметь индекс истирания $\leq 1,0$ с июля 2028 года, а не соответствующие требованиям шины в конечном итоге будут запрещены. Регламент обязывает ЕЭК ООН завершить разработку глобальных методов испытаний тормозов и шин. К санкциям за несоблюдение требований относятся отказ в выдаче сертификата соответствия и рыночные санкции.

ЕЭК ООН (Глобальные правила): Рабочая группа 29 Экономической комиссии ООН для Европы (ЕЭК ООН) приняла ряд глобальных технических регламентов. Особо следует отметить Регламент ООН № 179 (вступает в силу в 2026 году) – первый глобально гармонизированный стандарт выбросов от тормозных систем. Он предписывает испытание тормозного динамометра (на основе GTR 24) и устанавливает предельные значения массы $PM_{2.5}$ для легковых автомобилей. Он также включает коэффициент «трения, пропорционального рекуперативному торможению», так что транспортные средства с более интенсивным рекуперативным торможением могут использовать более высокие значения

коэффициента трения. В настоящее время разрабатывается дополнительный глобальный регламент по износу шин: рабочая группа предложила предельный индекс износа ($AIST \leq 1,0$) для автомобильных шин, окончательное принятие которого ожидается примерно в 2026 году. Страны-члены ЕЭК ООН (включая ЕС, Японию, Китай, Узбекистан) могут внедрять эти регламенты через системы типового одобрения. На практике ЕС Евро-7 внедряет Регламент 179 и будет включать предельные значения для шин после их установления.

США (ЕРА): В США в настоящее время нет федеральных стандартов выбросов, специально предназначенных для износа тормозов или шин. Модель выбросов транспортных средств ЕРА (MOVES) включает коэффициенты износа тормозов и шин для целей инвентаризации, но они не используются для регулирования. Калифорнийский совет по воздушным ресурсам (CARB) и местные агентства изучали NEE (экологический эквивалент углерода) и инвестируют в исследования, но без обязательных ограничений на содержание твердых частиц. Закон США (Закон о чистом воздухе) требует контроля за загрязняющими веществами (твердые частицы, NO_x и т. д.), но твердые частицы, не выхлопные газы, в основном регулируются общими нормами по твердым частицам и технологическими усовершенствованиями (например, продвижение электромобилей, контроль пыли). На данный момент контроль основывается на общих стандартах по твердым частицам, а не на правилах, специфичных для отдельных источников.

Япония: В Японии действуют строгие законы о выбросах выхлопных газов (после введения европейских стандартов), но пока

нет специальных правил для твердых частиц, не связанных с выхлопными газами. Будучи участником Конвенции ООН по экономическим и экологическим вопросам (ЕЭК ООН), Япония, вероятно, примет стандарты ЕЭК ООН № 179 для тормозных систем и шин по мере их введения в действие. Некоторые местные японские исследования (например, проведенные университетами) количественно оценили выбросы от тормозных систем и шин, а японские автопроизводители добровольно используют тормозные колодки с низким содержанием наноалмазов. Однако официальное одобрение на выбросы твердых частиц от тормозных систем и шин еще не получено. Подход Японии аналогичен подходу США, где отсутствуют прямые ограничения, но, как и в ЕС и Китае, ожидается, что в ближайшем будущем она будет следовать нормам ЕЭК ООН/глобальным нормам.

Китай: Национальные стандарты VI (с июля 2020 г.) Китая сосредоточены на выбросах выхлопных газов (аналогично стандарту Euro VI) и не охватывают выбросы, не связанные с выхлопными газами. Китай разрабатывает Национальный стандарт VII, который должен вступить в силу примерно в 2025–2026 годах. Сообщения указывают на то, что Национальный стандарт VII *впервые будет* включать контроль за источниками выбросов, не связанными с выхлопными газами. Ранние проекты предполагают ограничения или требования к испытаниям твердых частиц, образующихся при износе тормозов и шин, аналогичные стандарту Euro 7. Внедрение, вероятно, будет осуществляться через процесс типового одобрения Министерства экологии и окружающей среды. Сроки Китая, похоже, совпадают с планами ЕС: соответствие новым моделям к 2025 году,

всем моделям к 2027–2028 годам. Кроме того, Китай проводит активные программы электрификации транспортных средств и борьбы с дорожной пылью, что косвенно снижает чистый энергетический баланс.

Узбекистан: В настоящее время в Узбекистане нет специальных правил, регулирующих выбросы вредных веществ транспортными средствами, не связанными с выхлопными газами. Однако страна требует соответствия стандартам Евро 4/5 для импортируемых автомобилей (указ президента от 2021 года). Мы предлагаем Узбекистану принять поэтапную дорожную карту по типу Евро 7. На начальном этапе (примерно к 2026 году) следует создать испытательную инфраструктуру (тормозной динамометр, стенд для испытания шин на истирание) и провести инвентаризацию. Затем к 2027–2028 годам разработать национальные стандарты, эквивалентные пределам Евро 7. Транспортное агентство и Министерство экологии будут обеспечивать соблюдение новых правил типового одобрения, с полным обязательным соблюдением примерно к 2030 году. Временные меры могут включать продвижение средств подавления пыли на дорогах, использование тормозных колодок с низким уровнем выбросов для общественного транспорта и расширение электрификации общественного транспорта. В таблице 1 (ниже) сравниваются ключевые элементы подхода каждой юрисдикции.

- **США (Калифорния):** Калифорнийский совет по ресурсам воздуха (CARB) провел исследования твердых частиц в тормозной системе и шинах и рассматривает меры по их снижению. Например, исследования в испытательных камерах позволяют количественно

оценить источники загрязнения, не связанные с выхлопными газами.

Некоторые города США (например, Лос-Анджелес) внедрили программы мойки дорог и уборки улиц, что снизило концентрацию взвешенной пыли. Транспортные агентства используют рекуперативное торможение (например, автобусы) для снижения количества тормозной пыли. Стимулирование использования электромобилей (калифорнийские требования к автомобилям с нулевым уровнем выбросов) также косвенно снижает чистый энергетический баланс.

- **Япония:** Во многих японских автомобилях уже используются тормозные колодки из органического асбеста (NAO), которые выделяют гораздо меньше пыли. В таких японских городах, как Токио и Киото, регулярно проводится уборка улиц. Исследовательские группы измерили воздействие тормозной пыли: например, Киотский университет количественно определил содержание Cu/Sb в тормозах вблизи дорог. Япония также быстро внедряет электромобили, что снижает износ тормозов в будущем.

- **Китай:** Крупные китайские города проводят масштабные программы по борьбе с загрязнением окружающей среды. Пекин экспериментировал с микроволновой обработкой дорожного покрытия для связывания пыли и запустил в производство автономные подметальные машины. Масштабное внедрение электромобилей в Китае (миллионы электробусов/электромобилей) снижает выбросы вредных веществ при торможении. В Шанхае введены экспериментальные правила, ограничивающие использование большегрузных автомобилей и требующие использования пылезащитных покрытий, что, вероятно, снижает

количество крупнодисперсной дорожной пыли. В настоящее время Китай формализует ограничения на выбросы вредных веществ на седьмом этапе.

- **Узбекистан:** Поэтапный вывод из эксплуатации старых автомобилей (до стандарта Евро-4) к 2030 году является плановым и косвенно снизит выбросы парниковых газов, стимулируя использование более современных и эффективных тормозов. Мы рекомендуем пилотные программы по испытанию тормозов на динамометрах в университетах и межведомственную координацию (транспорт, охрана окружающей среды, таможня) для подготовки к полному внедрению стандарта Евро-7.

Выводы: Растет консенсус относительно необходимости регулирования выбросов от транспортных средств, не связанных с выхлопными газами. Мы рекомендуем принять поэтапный подход в стиле Евро-7: создать возможности для измерения (тормозной динамометр, приборы для испытания шин на истирание), законодательно установить ограничения на выбросы от транспортных средств, не связанных с выхлопными газами, для новых автомобилей (к 2030 году) и продвигать экологически чистые технологии (материалы с низким уровнем пылеобразования, электромобили, контроль дорожной пыли). В будущих исследованиях следует стандартизировать методы измерения, количественно оценить вклад выбросов от транспортных средств, не связанных с выхлопными газами, в каждом конкретном случае и оценить воздействие на здоровье для обоснования политики.

Литературы

1. Grigoratos T. va Martini G. (2014). *Выбросы, не связанные с выхлопными газами и транспортом. Твердые частицы, изнашивающие тормоза и шины.* Европейская комиссия, Объединенный исследовательский центр.
2. Piscitello A., Bianco C., Casasso A. va Sethi R. (2021). Невыхлопные выбросы от автотранспорта: источники, характеристика и меры по их снижению. *Science of the Total Environment* , 766, 142584.
3. Dornof J. va Rodrigues F. (2024). (2024). *Евро 7: Новый стандарт выбросов для легковых и грузовых автомобилей.* ICCT.
4. Parekh N. (2026). Стандарты выбросов Евро-7 призваны изменить рынок автомобильных тормозов. *S&P Global* , 6 марта.
5. Агентство по охране окружающей среды США (2020). *Выбросы от износа тормозов и шин дорожных транспортных средств в системе MOVES3* . EPA-420-R-20-014.
6. Всемирная организация здравоохранения. (2021). *Глобальные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха: твердые частицы (PM_{2.5} и PM₁₀), озон, диоксид азота, диоксид серы и монооксид углерода* .
7. Правительство Узбекистана. (2021). *Постановление о стандартах импорта (Евро-4, Евро-5).*