

**1.А.3.в.vi Износ покрышек и тормозов дорожных
транспортных средств
1.А.3.в.vii Износ дорожного покрытия**

Категория		Название
НО:	1.А.3.в.vi 1.А.3.в.vii	Износ покрышек и тормозов дорожных транспортных средств Износ дорожного покрытия
ИНЗВ:	070700 070800	Износ покрышек и тормозов дорожных транспортных средств Износ дорожного покрытия
МСОК:		
Версия	Руководство 2009	

Основные авторы

Леонидас Нцахристос, Пол Боутлер

Оглавление

1	Общие сведения.....	3
2	Описание источников	3
2.1	Описание процесса.....	3
2.2	Выбросы ТЧ, образующиеся в результате износа покрышек, тормозов и дорожного покрытия	10
2.3	Средства регулирования	15
2.4	Вклад износа покрышек, тормозов и дорожного покрытия в суммарные показатели выбросов	15
2.5	Получение методов расчета	16
3	Методы расчета	17
3.1	Выбор метода.....	17
3.2	Методология Уровня 1.....	18
3.3	Методология Уровня 2.....	21
3.4	Структура видообразования	30
4	Качество данных.....	32
4.1	Проверка достоверности.....	32
4.2	Критерии временного разукрупнения	32
4.3	Оценка неопределенности	32
4.4	Обеспечение/контроль качества инвентаризации ОК/КК	33
4.5	Координатная привязка	33
4.6	Отчетность и документация	34
4.7	Наиболее уязвимые аспекты/приоритетные области данной методологии, которые требуют проведения дополнительных изысканий.	34
5	Глоссарий	35
6	Список цитированной литературы	35
6.1	Библиографический указатель	40
7	Наведение справок	40
	Приложение А Методики, используемые для определения интенсивности выбросов частиц, образующихся в процессе износа покрышек, тормозов и дорожного покрытия	41

1 Общие сведения

В данной главе речь идет о выбросах твердых частиц (ТЧ), которые образуются в процессе износа покрышек и тормозов дорожных транспортных средств (код НО 1.А.3.в.vi) и износа дорожного покрытия (код НО 1.А.3.в.vii). Выбросы ТЧ, содержащиеся в отработанных газах транспортных средств, не рассматриваются. Основное внимание уделяется первичным частицам - другими словами тем частицам, выбросы которых являются непосредственным результатом износа поверхностей — а не тем, которые образуются в результате ресуспендирования ранее осажденного материала.

Необходимо отметить, что второй уровень кода НО для данных источников выбросов относится к „сжиганию“. Представляется совершенно очевидным, что износ тормозов и дорожного покрытия являются процессами абразивного изнашивания, а не процессами сжигания. Тем не менее, в целях удобства, а также для того, чтобы можно было производить оценку всех выбросов дорожного транспорта одновременно, этим главам были присвоены их текущие коды НО. В настоящий момент составители инвентаризации должны смириться с этой парадоксальной ситуацией.

Выбросы ТЧ рассматриваются в связи с общими классами транспортных средств, определение которых приводится в Главе 1.А.3.в “Дорожный транспорт”, посвященной выбросам отработанных газов от дорожного транспорта (коды НО 1.А.3.в.i - v), а именно - легковые автомобили, грузовики малой грузоподъемности, транспортные средства большой грузоподъемности и двухколесные транспортные средства.

2 Описание источников

2.1 Описание процесса

Взвешенные в воздухе частицы образуются в результате взаимодействия между покрышками транспортных средств и дорожного покрытия, а также в момент применения тормозов для снижения скорости транспортного средства. В обоих случаях основным механизмом образования частиц служат срезающие усилия, возникающие во время относительного перемещения поверхностей. Вторичным механизмом является испарение материала с поверхности при высоких температурах, являющихся последствием контакта.

Необходимо отметить, что в подразделах 2.1.1-2.1.3 данной главы приводится справочная информация, касающаяся общего количества материала, изнашиваемого в результате износа покрышек, тормозов и дорожного покрытия. Эта информация не должна использоваться для расчета выбросов, так как не весь изношенный материал становится взвешенным в воздухе. В подразделе 2.2 данной главы приводится обзор фактических коэффициентов выбросов ТЧ, о которых сообщается в литературных источниках, В Приложении А приводится описание экспериментальных методов, которые используются для определения коэффициентов износа и коэффициентов выбросов.

2.1.1 Износ покрышек

Покрышки транспортного средства несут нагрузку от автомобиля и пассажиров, обеспечивают сцепление с дорогой и управление, а также поглощают неровности дорожного покрытия, что позволяет улучшить качество поездки. Покрышки производятся из сложной комбинации каучуков, хотя точный состав материала покрышек обычно не оглашается на рынке в целях сохранения коммерческой тайны. В работе Samtani и др. (2001 г.), в качестве эмпирического правила для покрышек легковых автомобилей приводится следующий состав: бутадиенстирольный каучук (БСК) - 75 %, натуральный каучук - 15 %, и полибутадиен - 10 %. В целях получения желаемых свойств, а также необходимых эксплуатационных характеристик, во время производственного процесса в это сочетание также добавляются металлические или органические присадки. Одной из самых важных присадок является окись цинка (ZnO), выступающая в качестве вулканизирующей добавки. В соответствии с данными, представленными в работе Smolders и Degryse (2002 г.), обычно концентрация ZnO в протекторе покрышки варьируется в диапазоне от 1.2% (легковые автомобили) до 2.1% (грузовики).

Износ протектора покрышки является комплексным физикохимическим процессом, который обусловлен энергией трения, образующейся на границе контакта между протектором и проезжей частью дороги. Таким образом, частицы износа покрышек и дорожного покрытия неразделимо связаны друг с другом. Тем не менее, в настоящее время при определении коэффициентов выбросов износа покрышек и дорожного покрытия должны восприниматься в качестве двух отдельных источников выбросов частиц. Причиной этого является недостаточное количество экспериментальных данных по коэффициентам выбросов для различных сочетаний “тип покрышки-тип дорожного покрытия”.

Фактическая интенсивность износа покрышек зависит от большого количества разнообразных факторов, таких как манера вождения, положение покрышек, конфигурация сцепления транспортного средства, свойства материала покрышек, состояние покрышек и дорожного покрытия, срок службы покрышек, срок службы использования дорожного покрытия и погодные условия. Например, существенное воздействие на интенсивность износа оказывает стиль вождения. Даже в том случае, если транспортное средство передвигается с постоянной скоростью, постоянно имеет место быть микроскольжение покрышки по дорожному покрытию — эффект, который обеспечивает сцепление с дорогой. Когда динамические характеристики вождения (движение на повороте, торможение, ускорение) увеличиваются, скольжение также увеличивается в результате работы больших сил, образующихся на границе контакта покрышки с поверхностью, что может привести к дополнительному износу как покрышки, так и дорожного покрытия. Следовательно, “плавное” вождение способствует продлению срока службы покрышки и, наоборот, более жесткий или неустойчивый режим управления транспортным средством приводит к сокращению срока службы покрышки.

На переднеприводном (ПП) автомобиле передние колеса используются как для сцепления с дорогой, так и для управления, в то время как задние колеса - только для контроля заднего моста автомобиля и несения нагрузки. На заднеприводном (ЗП) автомобиле передние колеса в первую очередь служат для управления, в то время как за сцепление с дорогой отвечают задние колеса. Предполагается, и экспериментально подтверждено, что из-за этих функциональных различий передние покрышки подвергаются более интенсивному износу

на переднеприводном автомобиле, а задние покрышки - на заднеприводном. Например, в работе Luhana и др. (2004 г.) приводится информация о том, что износ передних покрышек на переднеприводном автомобиле составляет от 69% до 85% от общего износа покрышек транспортного средства. Высокая интенсивность износа может быть также связана с несоосностью (непараллельностью) системы рулевого управления и неправильным давлением в покрышке.

Физические характеристики материала протектора покрышки оказывают заметное влияние на интенсивность износа покрышек. Как правило, покрышки с высокими эксплуатационными характеристиками, как например те, что используются на дорожных мотоциклах спортивного типа и спортивных автомобилях, изнашиваются более интенсивно из-за их большого коэффициента трения, а также в виду более тяжелых условий эксплуатации. Срок службы подобных покрышек может составлять всего лишь 10 000 км. С другой стороны, срок службы стандартной автомобильной покрышки составляет 50 000–60 000 км, на протяжении которого ее суммарный вес сокращается на 10% (Агентство по охране окружающей среды Великобритании, 1998 г., Kolioussis и др., 2000 г.). Срок службы покрышек грузовиков обычно составляет около 100 000 км., в зависимости от интенсивности использования грузовика и нагрузки на покрышку. Кроме того, некоторые покрышки в данной категории транспортных средств оснащены восстановленным протектором, то есть когда новый протектор устанавливается на изношенную покрышку. Восстановленный протектор продлевает срок службы покрышки, но при этом снижается безопасность (Dunn, 1993 г.). Совершенно очевидно, что суммарное количество материала, изношенного на протяжении срока службы покрышки, варьируется в зависимости от конкретного транспортного средства, и может составлять от нескольких сот грамм для двухколесных транспортных средств, 1-1.5 кг для легковых автомобилей, вплоть до 10 кг для грузовика или автобуса.

На рисунке 2–1 приводится широкий диапазон официально задокументированных коэффициентов износа для покрышек транспортных средств малой грузоподъемности. Во время создания данного рисунка использовалась информация из работы Councell и др. (2004 г.), а также другие значения из литературных источников. Эти значения были получены либо экспериментальным путем, либо выведены на основе усредненной статистики, наподобие той, что приводится выше. В соответствии с данным рисунком видится целесообразным принять следующее значение за усредненный коэффициент износа при “нормальных” условиях вождения для транспортных средств малой грузоподъемности: 100 мг за машино-километр.

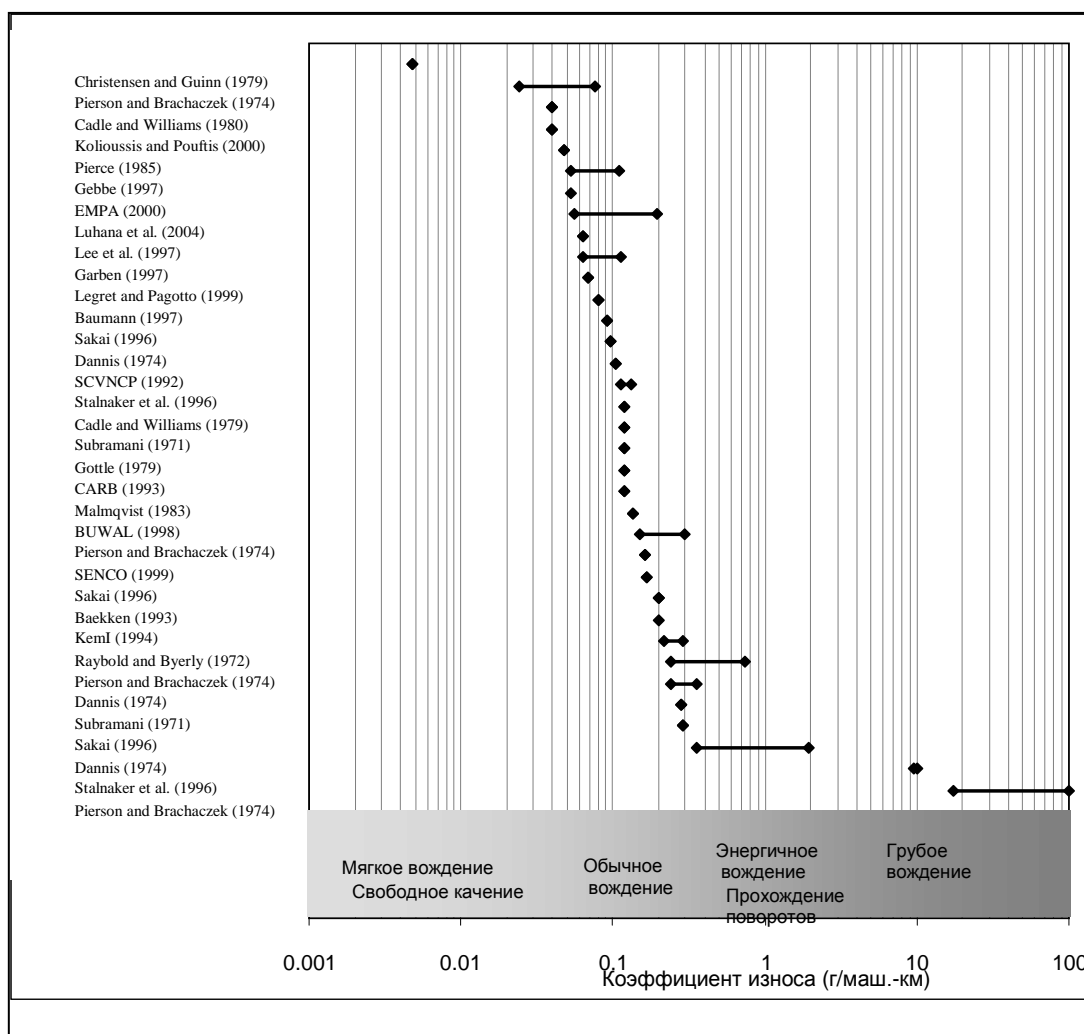


Рисунок 2-1 Коэффициенты износа для покрышек транспортных средств малой грузоподъемности (Boulter, 2005 г.). “маш.-км” = “машино-километр”

Большая часть этих колебаний в коэффициентах износа может быть объяснена различиями в выше упомянутых коэффициентах. Например, исследования в начале 70-х годов прошлого века охватывали бы только покрышки с диагональным кордом. Практически все современные автомобили оснащены покрышками с радиальным кордом, которые обладают более высокой жесткостью во время движения на повороте, обеспечивают более качественное сцепление с мокрым дорожным покрытием и более чувствительны к износу, по сравнению со старыми покрышками с диагональным кордом. Стиль и условия вождения также являются одними из общепризнанных факторов, оказывающих воздействие на износ покрышек. Агрессивный стиль вождения приводит к более быстрому и неравномерному износу покрышек, по сравнению с более осторожной манерой вождения. При наличии официальных данных из цитируемых исследований, на рисунке 2-1 приводятся условия вождения в диапазоне от “легких” до “тяжелых”⁽¹⁾. Было определено, что вождение в черте города связано с высокой интенсивностью износа на единицу пройденного расстояния.

⁽¹⁾ Эти субъективные описания были наложены на рисунок 2-1, несмотря на тот факт, что в литературных источниках существует множество различных определений условий вождения.

Большая часть каучука для покрышек изнашивается во время ускорения, торможения и движения на повороте и, следовательно, количество изношенной резины будет максимальным в районе оживленных перекрестков и на поворотах. В работе Stalnaker и др. (1996 г.) приводятся результаты экспериментов с использованием оборудования для испытания покрышек, в рамках которых проводилось моделирование условий вождения в черте города и на скоростных автомагистралях. Условия вождения в черте города включали большое количество поворотов. Результаты данного исследования свидетельствуют о том, что вождение в черте города приводит к 63% износа покрышек, даже при том условии, что данные являлись репрезентативными только для 5% пройденного расстояния. В работе Luhana и др. (2004) представлены результаты эксперимента, в рамках которого покрышки легковых автомобилей взвешивались раз в два месяца, а водители после каждой поездки делали соответствующие пометки. Эти результаты свидетельствуют о слабой отрицательной корреляции между износом покрышек и средней скоростью поездки. При этом коэффициент износа был на 50% больше при средней скорости, равной 40 км/ч (характерной для передвижения в черте города), по сравнению с коэффициентом износа при движении со средней скоростью, равной 90 км/ч (характерной для передвижения по скоростным автомагистралям).

Погодные условия и состояние дорожного покрытия также могут влиять на срок службы покрышки. Влажное дорожное покрытие способствует снижению трения и, следовательно, можно предположить, что вместе с этим сокращается и интенсивность износа. Аналогичным образом, новое щебеночное основание с пропиткой битумной связкой оказывает более интенсивное воздействие по сравнению с более старым покрытием

Коэффициенты износа покрышек для транспортных средств большой грузоподъемности значительно превышают аналогичные коэффициенты для транспортных средств малой грузоподъемности. В работе Legret и Pagotto (1999 г.) было сделано предположение о том, что коэффициент износа для покрышек транспортных средств большой грузоподъемности (при 136 мг/маш.-км) в 2 раза превышает коэффициент износа для покрышек транспортных средств малой грузоподъемности. Тем не менее, представляется, что здесь можно говорить о недооценке. В работе Baumann и Ismeier (1997) приводятся коэффициенты износа для “транспортных средств большой грузоподъемности”, “автомобилей с прицепом” и автобусов, составляющие 189 мг/маш.-км, 234 маш.-км и 192 мг/маш.-км соответственно. В работе Gebbe и др. (1997 г.) приводится следующий коэффициент износа покрышек для транспортных средств большой грузоподъемности: 539 мг/маш.-км. В работе Garben и др. (1997 г.) и работе ЕМРА (Швейцарская федеральная лаборатория по испытаниям и исследованиям материалов) (2000 г.) приводятся коэффициенты износа для транспортных средств большой грузоподъемности, составляющие около 800 мг/маш.-км, а в работе компании "SENCO" (1999 г.) упоминается следующий коэффициент износа для транспортных средств большой грузоподъемности: 1403 мг/маш.-км. Величина коэффициента износа на километр пройденной дистанции зависит от конфигурации транспортного средства, как например от количества мостов и нагрузки. Следовательно, можно ожидать большого разброса значений.

2.1.2 Износ тормозов

В настоящее время используются две основные конфигурации тормозной системы: дисковые тормоза, в которых плоские тормозные накладки прижимаются к вращающемуся металлическому диску, и колодочные тормоза, в которых накладки с загнутыми концами прижимаются к внутренней поверхности вращающегося цилиндра. Дисковые тормоза в основном используются в малогабаритных транспортных средствах (легковых автомобилях и мотоциклах) и на передних колесах грузовиков малой грузоподъемности. Традиционно, колодочные тормоза по большей части используются в крупногабаритных транспортных средствах, хотя в более новых транспортных средствах большой грузоподъемности дисковые тормоза стали применяться более интенсивно.

Тормозные фрикционные накладки обычно состоит из четырех основных частей — обвязки, волокна, уплотняющих прокладок и модификаторов трения — которые ведут себя стабильно при высоких температурах. В качестве обвязок используются различные модифицированные фенолформальдегидные смолы. Волокна могут быть подразделены на металлические, минеральные, керамические или арамидные (органические), и включают сталь, медь, латунь, титанат калия, стекло, асбест, органический материал и кевлар. Уплотняющие прокладки обычно являются дешевыми материалами, такими как барий и серноокислая сурьма, каолиновые глины, магний, оксиды хрома и металлические порошки. Состав модификаторов трения может быть неорганическим, органическим или металлическим. Основным модификатором трения является графит, но помимо него также используются порошок акажу, резиновая мука и технический углерод. В прошлом тормозные накладки дисковых тормозов включали асбестовые волокна, но на сегодняшний день в Европейском автопарке практически не осталось транспортных средств, в которых используется эта технология.

Взаимное расположение тормозов транспортного средства оказывает на интенсивность износа даже большее воздействие, чем на интенсивность износа покрышек. На легковых автомобилях и мотоциклах усилие торможения обычно применяется к передним колесам, в то время как задние колеса в основном используются для поддержания устойчивости транспортного средства. В результате это приводит к более частой замене тормозных накладок на переднем мосту автомобиля (~30 000 км), по сравнению с накладками на заднем мосту автомобиля (~50 000 км) (Kolioussis и Pouftis, 2000 г.). В грузовых автомобилях большой грузоподъемности энергия торможения распределяется более равномерно между мостами, причиной чего являются более низкие показатели интенсивности торможения и большая нагрузка в задней части транспортного средства. Показатели интенсивности износа также зависят от механизма включения тормоза (пневматический, электрический) и, следовательно, оценка срока службы тормозных фрикционных накладок является более трудной задачей. Предполагается, что срок службы тормозных фрикционных накладок для грузовиков и туристических междугородних автобусов составляет около 60 000 км.

В работе Garg и др. (2000 г.) суммарная интенсивность износа для легковых автомобилей оценивается в 11-18 мг/маш.-км, а для больших грузовых автомобилей особо малой грузоподъемности - в 29 мг/маш.-км. В работе Legret и Pagotto (1999 г.) приводятся

показатели интенсивности износа тормозных фрикционных накладок ⁽²⁾, рассчитанные на основе данных о размере, плотности и сроке службы компонента. Для легковых автомобилей он составлял 20 мг/маш.-км, транспортных средств для перевозки легковесных грузов - 29 мг/маш.-км, а транспортных средств для перевозки тяжелых грузов - 47 мг/маш.-км. В работе Westerlund (2001 г.) приводятся результаты оценки количества изношенного материала, которая была проведена в Стокгольме. Для легковых автомобилей, транспортных средств для перевозки тяжелых грузов и автобусов оно составило 17 мг/маш.-км, 84 мг/маш.-км и 110 мг/маш.-км соответственно. В работе Luhana и др. (2004 г.) были определены усредненный коэффициент износа тормозных фрикционных накладок легковых автомобилей, который составил 8.8 мг/маш.-км. Кроме того, в рамках данного исследования была зафиксирована линейная зависимость коэффициента износа от средней скорости поездки. Помимо этого, в данной работе отмечается тот факт, что небольшое количество случаев жесткого торможения оказывают существенное воздействие на количество изношенного материала. Когда подобные случаи исключались из анализа, то обычно коэффициент износа составлял около 10 мг/маш.-км при скорости 40 км/ч, и около 2 мг/маш.-км при скорости 90 км/ч. В работе Kennedy и др. (2002) был рассчитан коэффициент износа в отношении материала тормозных фрикционных накладок тракторных агрегатов для перевозки тяжелых грузов. Он составил около 54 мг/маш.-км.

Хотя выбросы газообразных веществ и образуются в результате механического истирания тормозных фрикционных накладок, их количество весьма незначительно. В работе Garg и др. (2000 г.) приводятся результаты тестов, в рамках которых в испытательной камере не было зафиксировано превышений фоновых уровней концентраций CO, CO₂ и углеводородов.

2.1.3 Износ дорожного покрытия

На территории Европы эксплуатируются самые различные дорожные покрытия на основе асфальта и бетона, и во многих городских зонах используются мостовые из блоков. Бетонные поверхности состоят из крупнозернистого заполнителя, песка и цемента. Асфальтовые поверхности - это смесь минерального заполнителя, песков, минерального порошка и вяжущего битума, хотя данный состав может довольно значительно варьироваться, как в зависимости от конкретного государства, так и в пределах одной страны. Как правило, асфальт на 90-95% состоит из камней и примерно на 5-10% из вяжущего битума. Характеристики асфальта могут быть изменены с помощью определенных добавок, таких как связывающие материалы, полимеры и различные типы минеральных порошков.

Согласно результатам оценки, приводящихся в работе Muschack (1990 г.), износ асфальта составлял 3.8 мг/маш.-км. В соответствии с данными ЦСБ (1998 г.), коэффициенты износа для транспортных средств малой грузоподъемности и большой грузоподъемности составили 7.9 и 38 мг/маш.-км соответственно. Хотя необходимо отметить, что эти значения включали также износ покрышек и тормозов. В работе Kennedy и др. (2002 г.)

⁽²⁾ Необходимо отметить факт недостаточного количества официальных данных по относительным коэффициентам износа тормозных фрикционных накладок и тормозных дисков. В литературных источниках показатели интенсивности износа материала обычно относятся к тормозным фрикционным накладкам.

приводятся результаты проведенного в Новой Зеландии расчета коэффициента износа для дорожного покрытия с 50% содержанием битума. Он составил 0.44 гр/маш.-км. В том случае, если содержание битума в изношенной поверхности составляет только 10%, то это значение сократиться до 0.09 гр/маш.-км.

Однако, в тех зонах, где в зимнее время широко применяются шипованные покрышки, показатели износа дорожного покрытия и концентраций ТЧ, связанных с ресуспендированием, являются значительно более высокими. Более того, в случае использования нешипованных покрышек показатели износа являются незначительными, по сравнению с ситуацией, когда используются шипованные покрышки (Sörme и Lagerkvist, 2002 г.). Согласно результатам оценки, которые приводятся в работе Lindgren (1996 г.), в среднем, на протяжении зимнего времени износ асфальта в Швеции составляет 24 гр./маш.-км, хотя в соответствии с результатами оценки, которые приводятся в работе Carlsson и др. (1995 г.), использование более мягких шипов и более прочного асфальта позволило бы сократить данный показатель к 2000 году до 11 гр./маш.-км. Согласно проведенным оценкам, усредненный коэффициент износа дорожного покрытия в Стокгольме составил от 4 до 6 гр./маш.-км (Jacobsson и Hornwall, 1999 г.). Процедуры технического обслуживания на протяжении зимнего времени в районах с холодным климатом, как например обработка песком в целях улучшения сцепления с дорожным покрытием (рассеивание песочной смеси на поверхности дороги) и использование шипованных покрышек, были признаны источниками высоких концентраций взвешенных в воздухе частиц, которые образуются в результате процесса, известного как “эффект наждачной бумаги” (Kurriäinen и др., 2003). Износ дорожного покрытия увеличивается вместе с уровнем влажности, и от 2 до 6 раз выше для влажной дороги, по сравнению с сухой (Folkesson, 1992 г.). Кроме-того, он также увеличивается после посыпания дороги солью, так как поверхность остается влажной на протяжении более продолжительного периода времени. Скорость транспортного средства, давление в покрышке и температура окружающего воздуха также оказывают влияние на интенсивность износа дорожного покрытия. По мере снижения температуры, покрышки становятся менее упругими (эластичными), что приводит к увеличению интенсивности износа дорожного покрытия (NTNU (Норвежский университет естественных и технических наук), 1997 г.).

2.2 Выбросы ТЧ, образующиеся в результате износа покрышек, тормозов и дорожного покрытия

2.2.1 Выбросы ТЧ, образующиеся в результате износа покрышек

Изношенный материал покрышек выбрасывается в виде взвешенных в воздухе частиц самого различного размера. В рамках работы Samatini и др. (2001 г.) были собраны остатки с дорожного покрытия на полигоне для испытания покрышек. Были обнаружены частицы остатков размером вплоть для нескольких сот микрометров. Подобные частицы не являются взвешенными в воздухе, и поэтому не представляют большого интереса с точки зрения загрязнения воздуха, но при этом они вносят наибольший вклад (по весу) в суммарный износ покрышек. Хотя данные пробы были отобраны в окружающей среде испытательного полигона, где интенсивность износа покрышек может быть максимальной,

схожие результаты были получены в рамках работы Smolders и Degryse (2002 г.), которые вычислили, что средний диаметр остатков покрышек на обочине дороги < 100 мкм составил 65 мкм для легковых автомобилей и 80 мкм для грузовиков.

Масштабные исследования в области определения размера взвешенных в воздухе частиц проводились в 70-х годах прошлого века. В соответствии с данными, которые приводятся в работе Cadle и Williams (1978 г.), размер частиц износа покрышек варьируется в диапазоне от 0.01–30 мкм. В рамках других исследований были определены две отдельных группы: одна, состоящая из частиц менее 1 мкм, и другая, состоящая из крупных частиц более 7 мкм (Cardina, 1974 г.; Dannis, 1974 г.; Pierson и Brachaczek, 1974 г.; Cadle и Williams, 1978 г.). Это наблюдение было также подтверждено в работе Fauser (1999 г.). Вероятным механизмом, результатом которого является это разделение, является испарительный перенос и последующая конденсация материала в виде мельчайших частиц, и нормальный износ для частиц более крупных размеров (Cadle и др. 1978 г.). Тем не менее, пока эта теория не имеет официального подтверждения.

В рамках различных исследований приводятся разные показатели взвешенного распределения частиц по размерам, и на настоящий момент делать какие-то однозначные скоропалительные выводы представляется нецелесообразным. В рамках более ранних исследований была зафиксирована небольшая массовая доля около 3 мкм (Pierson и Brachaczek, 1974 г.; Cadle и Williams, 1978 г.). В рамках другого исследования, проведенного TNO (1997 г.) было сделано следующее предположение о распределении ТЧ₁₀ - 70 % ТЧ_{2.5}, 10 % ТЧ₁ и 8 % ТЧ_{0.1}. В работе Rauterberg-Wulff (1999 г.) отмечается, что частицы износа покрышек были обнаружены только в виде крупных частиц (> 2.5 мкм). С другой стороны, в работе Fauser (1999 г.) сообщается о распределении частиц по размеру, где до 90% от всей массы частиц составляли частицы размером менее 1 мкм. Помимо этого, в работе Miguel и др. (1999 г.) отмечается тот факт, что от 50 до 70% взвешенной дорожной пыли может рассматриваться в качестве ТЧ₁₀. Это позволяет получить приближенную оценку соотношения общего количества взвешенных частиц/ТЧ₁₀ для износа покрышек.

Неудивительно, что частицы износа покрышек в основном состоят из соединений, которые используются во время производства покрышек. Согласно результатам оценки, приведенной в работе Hildemann и др. (1991), частицы покрышек состоят на 29% из элементарного углерода и на 58% из органического вещества. При этом наиболее широко распространенным металлом является цинк.

2.2.2 Выбросы ТЧ, образующиеся в результате износа тормозов

Как и в случае с износом покрышек, не весь изношенный материал тормозов выбрасывается в виде взвешенных ТЧ (хотя в случае с тормозами их количество пропорционально очевидно больше). При этом существенная часть выбрасывается в виде ТЧ_{2.5}. Однако, существует значительные колебания во фракции массы суммарного износа, которая может восприниматься в качестве взвешенной в воздухе.

В соответствии с результатами работы Garg и др. (2000 г.), в среднем, около 35% массы частиц износа тормозов выбрасывается в виде взвешенных ТЧ. Однако, эта оценка не учитывает потери во время отбора проб, и в том случае, если они были бы учтены в рамках исследования, проводимого Garg и др. (2000 г.), то фракция взвешенных частиц составила

бы уже около 64% (Sanders и др., 2003 г.). В соответствии с результатами работы Sanders и др. (2003 г.), в рамках которой были проведены углубленные лабораторные исследования с использованием современного оборудования, от 50 до 90% материала суммарного износа (в зависимости от степени жесткости торможения) выбрасывалось в виде взвешенных в воздухе частиц. Эффективность сбора остатков износа варьировалась в диапазоне от 90 до 100% массы износа.

Хотя большая часть тонкодисперсной тормозной пыли от дисковых тормозов выбрасывается в окружающую среду, небольшое количество тормозной пыли остается на транспортном средстве. В соответствии с результатами оценки, которые представлены в работе Lohrer и Mierheim (1983 г.), 10% тормозной пыли остается на кожухе колодочных тормозов. Это значение представляется сравнительно небольшим по сравнению с результатами измерений на экспериментальном участке пути и в аэродинамической трубе, которые проводились в рамках работы Sanders и др. (2003 г.). В соответствии с этими измерениями было определено, что обычно 50% остатков износа тормозов покидает транспортное средство и поступает в атмосферу. Кроме того, было также определено, что от 3 до 30% остатков частиц тормозов остается на дороге, от 16 до 22% остается на колесе, а от 8 до 25% - на тормозном и рулевом/подвесном оборудовании. При этом точное соотношение варьируется в зависимости от конструкции транспортного средства и условий эксплуатации. При использовании тормозных фрикционных накладок с небольшим содержанием металла, около 60% остатков износа были “на счету” тормозных дисков, а 40% - “на счету” накладок. Данный результат проливает свет с точки зрения толкования результатов исследований, в рамках которых рассматривались только тормозные фрикционные накладки.

В соответствии с результатами исследований Cha и др. (1983 г.), которые проводились в контролируемых лабораторных условиях, диаметры взвешенных в воздухе частиц и осажденной пыли были в целом схожи. При этом размер большей частиц варьировался в диапазоне от 2.1 до 3.3 мкм, а около 10 % частиц находились в субмикронном диапазоне. Согласно результатам проведенных исследований процент взвешенных в воздухе частиц увеличивался вместе со скоростью транспортного средства. В соответствии с данными Агентства по охране окружающей среды США (USEPA, 1995 г.) и результатами работы Berdowski и др. (1997 г.), около 98% (по массе) взвешенных частиц от износа тормозов являются ТЧ₁₀, в то время как около 40 % ТЧ₁₀ - это ТЧ_{2.5}, 10 % - это ТЧ₁, а 8 % - это ТЧ_{0.1}. Garg и др. (2000 г.) зафиксировали массовые доли взвешенных частиц износа тормозов менее 10 мкм, 2.5 мкм и 0.1 мкм, составляющие 88%, 63% и 33% соответственно. В соответствии с результатами оценки Sanders и др. (2003 г.), доля ТЧ₁₀ составила 80%, а доля ТЧ₁ - 2 %. Во всех других источниках приводятся различные данные о распределении частиц по размеру. В соответствии с результатами рецепторного моделирования, которое осуществлялось Abu-Allaban и др. (2003 г.) с помощью измерений ТЧ₁₀ и ТЧ_{2.5}, вклад износа тормозов фиксировался в основном во фракции ТЧ₁₀, а доля ТЧ_{2.5} в этих ТЧ₁₀ составила только 5-17 %. В любом случае, представляется очевидным, что при нормальных условиях вождения, большая часть взвешенных частиц износа тормозов может рассматриваться в качестве ТЧ₁₀, а значительная часть - в качестве ТЧ_{2.5}. В соответствии с данными Garg и др. (2000 г.) средний диаметр массы остатков износа тормозов варьировался от 0.7 до 2.5 мкм. Существует вероятность того, что при высоких температурах, вызванных торможением, некоторое количество материала тормозных

накладок дисковых тормозов может испариться, а в работе Garg и др. (2000 г.) сделано предположение о том, что во время проведения измерений летучее вещество может конденсироваться и, таким образом, вносить вклад в тонкодисперсную фракцию. В соответствии с результатами оценки, проведенной Sanders и др. (2003 г.) в отношении трех различных типов тормозных фрикционных накладок, единый взвешенный усредненный диаметр размера во время вождения в городской черте составляет около 5–6 мкм. При условиях жесткого торможения, средний диаметр массы приближается к 10 мкм. В связи с этим было признано возможным, что существенная часть остатков износа могла быть более 20 мкм в диаметре.

Что касается химического состава, то материал износа тормозов в большой степени зависит от производителя, применения (легковой автомобиль, гоночный автомобиль и т. д.) и заданных свойств тормозных накладок. Как правило, накладки состоят из металлов, связанных друг с другом с помощью материалов на основе кремния. Результаты анализов, которые проводились Legret и Pagotto (1999 г.) и Hildemann и др. (1991 г.) свидетельствуют о том, что содержание Fe в тормозных накладках составляет до 46%, содержание Cu - до 14%, содержание органического вещества - около 13%, а содержание некоторых других металлов является незначительным (включая Pb (~4 %), Zn (~2 %), Ca, Ba).

2.2.3 Выбросы ТЧ, образующиеся в результате износа дорожного покрытия

Количественно рассчитать коэффициенты выбросов для частиц износа дорожного покрытия даже еще более трудно, чем коэффициенты выбросов для износа покрышек и тормозов, частично из-за того, что химический состав битума является слишком сложным для количественного расчета баланса реагирующей массы и моделирования воздействия на реципиента, а частично из-за того, что первичные частицы износа смешиваются с дорожной пылью и ресуспендированным материалом.

В рамках нескольких исследований были обнаружены коэффициенты выбросов для износа дорожного покрытия, относящиеся к ТЧ₁₀ или частицам любого другого размера. В соответствии с результатами, представленными в работе Fauser (1999 г.), размер около 70% (по весу) взвешенных в воздухе частиц битума варьируется в диапазоне от 0.35 мкм до 2.8 мкм со средним значением ниже 0.7 мкм. На основе результатов химического анализа пылеуловителей из тоннеля Хатфилд и последующего анализа основных компонентов, который приводится в работе Luhan и др. (2004 г.), были определены коэффициенты выбросов для износа дорожного покрытия в отношении транспортных средств малой и большой грузоподъемности (3.1 мг/маш.-км и 29 мг/маш.-км соответственно). Однако эти значения были признаны, как подверженные очень высокой неопределенности.

В работе Kuriainen и др. (2005 г.) были проведены испытания “эффекта наждачной бумаги” с использованием стационарного имитатора дорожных условий. Были проведены испытания целого ряда нешипованных (трение) и шипованных покрышек на асфальтовом дорожном покрытии с различным количеством сцепляющего грунта (два типа гранита и один диабаз). Во время проведения испытаний с использованием нешипованных покрышек и без сцепляющего грунта, коэффициенты выбросов при скорости 15 км/ч и 30 км/ч составили 11 мг/маш.-км и 9 мг/маш.-км соответственно. После добавления сцепляющего грунта (от 865 до 1 046 гр/м²) коэффициент выбросов ТЧ₁₀ для нешипованных покрышек увеличился до 36-108 мг/маш.-км. В случае с шипованными покрышками без использования сцепляющего грунта, коэффициент выбросов составил при скорости 15 км/ч и 30 км/ч, соответственно, 17 мг/маш.-км и 40 мг/маш.-км. После добавления сцепляющего грунта (от 865 до 2 112 гр/м²) коэффициент выбросов увеличился до 40-155 мг/маш.-км. Применение сцепляющего грунта с наиболее низкими показателями сопротивления к фрагментации привело к максимальным концентрациям взвешенных ТЧ. Анализ уловителей ТЧ₁₀ показал, что более 90% всех уловленных частиц представляли собой алюмосиликаты и, таким образом, являлись материалом дорожного покрытия и сцепляющего грунта. Что касается нешипованных покрышек, то без использования сцепляющего грунта, максимум, 5% ТЧ₁₀ представляли собой материал покрышек. Предполагается, что в случае использования нешипованных покрышек и без сцепляющего грунта (то есть при условиях, которые могут довольно часто встречаться в Европе) 95 % ТЧ₁₀ являются продуктом износа дорожного покрытия, а 5% - продуктом износа покрышек, что в итоге приводит к тому, что коэффициенты выбросов износа покрышек дорожного покрытия и покрышек при низкой скорости составляют 8.5-10.5 мг/маш.-км и от примерно 0.5 до 0.6 мг/маш.-км соответственно. Эти результаты противоречат мнению, высказанному в работе Kennedy и др. (2002 г.), которое заключается в том, что в понятии взаимодействий

износа покрышек/дорожного покрытия, любой износ материала превалирует над изношенным материалом протекторов покрышек.

Проблема количественного расчета выбросов частиц, образующихся в процессе износа дорожного покрытия, была также исследована в работе Klimont и др. (2002 г.), в которой был представлен предварительный вариант коэффициентов выбросов. Эти предварительные значения были использованы в данной главе.

2.3 Средства регулирования

В соответствии с Директивой 98/12/ЕС, начиная с 1999 года на территории Европы было законодательно запрещено применение асбестосодержащих тормозных накладок на любых дорожных транспортных средствах. Это не обязательно оказывает воздействие на коэффициент выбросов для износа тормозов, но совершенно определенно влияет на химический состав соответствующих частиц. Каких-либо других законодательных актов, связанных конкретно с выбросами ТЧ, образующимися в результате износа покрышек и тормозов, не существует. В настоящее время, в целях повышения эффективности использования топлива и снижения выбросов CO_2 ведутся работы по разработке покрышек с низким коэффициентом трения. Применение подобных покрышек может также позволить сократить выбросы частиц.

2.4 Вклад износа покрышек, тормозов и дорожного покрытия в суммарные показатели выбросов

По оценкам СЕПМЕЧП (Скоординированной европейской программы по инвентаризации выбросов твердых частиц) (2003 г.) вклад износа покрышек, тормозов и дорожного покрытия в общее количество взвешенных частиц составил в странах ЕС-15 24.7%. Однако, было сделано допущение о том, что основную часть составляют крупные частицы, что в корне отличается от ситуации с выбросами транспортными средствами отработанных газов, вклад которых в TЧ_{10} и $\text{TЧ}_{2.5}$ значительно меньше (3.1 % и 1.7 % соответственно). Помимо этого, Скоординированная европейская программа по инвентаризации выбросов твердых частиц (СЕПМЕЧП) сделала допущение о том, что все материалы износа покрышек выбрасываются в виде взвешенных ТЧ.

Однако этот, сравнительно небольшой вклад в выбросы TЧ_{10} от источников, не имеющих отношение к выбросам отработанных газов, повсеместно не фиксировался. Например, в соответствии с результатами оценки, которые представлены в работе Rauterberg-Wulff (1999 г.), износ покрышек стал причиной образования на территории Германии годовых выбросов TЧ_{10} в размере 56–98 кт. При этом выбросы отработанных газов дизельных двигателей привели к образованию около 76 кт TЧ_{10} . На основании этих данных можно сделать вывод о том, что источники, не связанные с выбросами отработанных газов, имеют такое же большое значение как и источники выбросов отработанных газов. Вероятной причиной подобного колебания оценок годовых показателей выбросов является использование различных методологических подходов, коэффициентов выбросов и допущений.

Хотя ресуспендирование как правило не рассматривается в качестве первичного источника выбросов частиц, ресуспендированные твердые частицы также вносят вклад в

концентрации ТЧ, зафиксированные с помощью пробоотборников ТЧ в атмосферном воздухе. С другой стороны, модель AP-42 АООС США рассматривает нагрузку на дорожное полотно, в качестве основного источника выбросов частиц, не связанных с отработанными газами, и использует допущение о том, что причиной образования большей части выбросов ТЧ₁₀, связанных с транспортными средствами, но не имеющих отношение к отработанным газам, является ресуспендирование. Однако данный подход к моделированию подвергался в США критике (Venkatram, 2000 г.). Более того, Экспертная группа по взвешенным частицам Великобритании (APEG, 1999 г.) считает данную модель непригодной для применения в условиях Великобритании и, для того чтобы иметь возможность применить ее в отношении Берлина, Düring и др. (2002) были вынуждены полностью заново откалибровать ее на основе местных экспериментальных данных. Принимая во внимание тот факт, что до сих пор нет единого мнения по поводу того считать ли ресуспендирование первичным источником, а также учитывая неопределенность в методах, используемых для оценки его влияния, в данной главе не приводятся методологии оценки концентраций ТЧ, образующихся во время ресуспендирования.

2.5 Получение методов расчета

В данной главе предлагается методология, позволяющая получить основу для расчета и сопоставления выбросов частиц, не связанных с отработанными газами, которые образуются в разных странах.

Представленные в этой главе коэффициенты выбросов и методы расчета были получены на основе информации из доступных литературных источников и определенного количества допущений. С более подробной информацией можно ознакомиться на следующем веб-сайте: <http://vergina.eng.auth.gr/mech0/lat/PM10/>.

3 Методы расчета

3.1 Выбор метода

На Рисунке 3–1 представлена двухуровневая процедура, позволяющая выбрать подходящий метод оценки выбросов, образующихся в результате износа покрышек и тормозов транспортных средств, а также из-за износа дорожного покрытия.

В том случае, если эти категории источников (при объединении) являются репрезентативными с точки зрения ключевого источника или в распоряжении имеются разукрупненные данные по осуществляемой деятельности, то для оценки выбросов необходимо применять метод Уровня 2. В любом другом случае следует применять метод Уровня 1. Метод Уровня 3 пока еще не разработан.

Однако, во многих национальных инвентаризациях ключевым источником вероятно будет являться *не* износ покрышек, тормозов и дорожного полотна, а сжигание на дорожном транспорте (коды НО 1.А.3.б.i-v). В этих обстоятельствах, для расчета выбросов отработанных газов необходимы определенные важные данные по осуществляемой деятельности (количество машино- километров для различных категорий транспортных средств, разукрупненных по скорости). Это те же данные по осуществляемой деятельности, что и представленные в данной главе данные, необходимые для применения методологии Уровня 2. Следовательно, предполагается, что для оценки выбросов, связанных с износом покрышек, тормозов и дорожного покрытия, новые данные по осуществляемой деятельности не понадобятся.

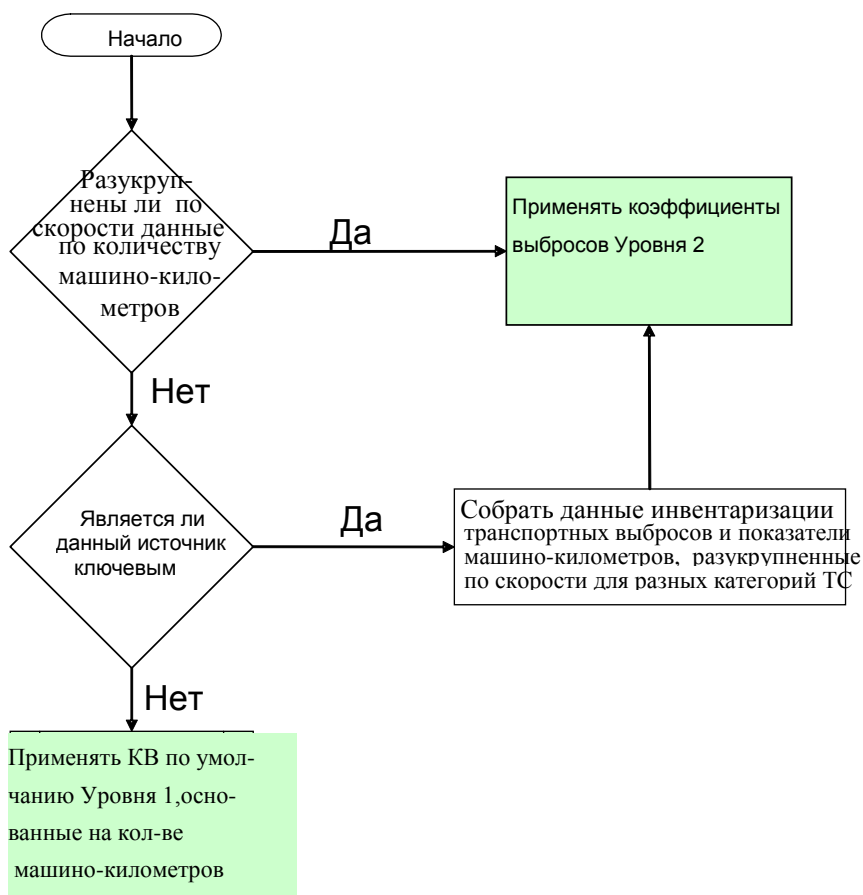


Рисунок 3-1 Дерево принятия решений для износа покрышек и тормозов транспортных средств, а также износа дорожного покрытия

3.2 Методология Уровня 1

3.2.1 Алгоритм

Для расчета выбросов ОКВЧ, ТЧ₁₀ или ТЧ_{2,5}, связанных с износом покрышек и тормозов (вместе) (i) и (ii) износом дорожного покрытия, может использоваться уравнение (1). Это уравнение может использоваться для оценки выбросов с учетом определенного пространственного и временного разрешения посредством выбора соответствующих значений для размера автопарка и осуществляемой деятельности (пробег автомобиля). Коэффициенты выбросов приводятся исключительно в виде функции категории транспортных средств. Оценка суммарных показателей выбросов, связанных с дорожным движением, может быть осуществлена для каждого кода НО посредством сложения выбросов отдельных категорий транспортных средств.

$$TE = \sum_j N_j \times M_j \times EF_{i,j} \quad (1)$$

где:

- TE = суммарные показатели выбросов ОКВЧ, ТЧ₁₀ или ТЧ_{2.5} за определенный период времени и для определенной территории [гр.],
- N_j = количество транспортных средств в категории j в пределах определенной территории,
- M_j = усредненный пробег/транспортное средство в категории j за определенный период времени [км],
- EF_{i,j} = массовый коэффициент выбросов для загрязняющего вещества i и категории транспортных средств j [гр./км].

Ниже приводятся пояснения к указателям:

- i = ОКВЧ, ТЧ₁₀, ТЧ_{2.5}
- j = категория транспортных средств (двухколесное транспортное средство, легковой автомобиль, транспортное средство большой грузоподъемности, грузовик малой грузоподъемности).

Двухколесные транспортные средства - это мопеды и мотоциклы. Легковые автомобили - это малолитражные или более крупногабаритные семейные легковые автомобили, которые используются для перевозки людей. Грузовики малой грузоподъемности - это автофургоны, которые используются для перевозки людей и товаров. Транспортные средства большой грузоподъемности - это грузовики, городские автобусы и туристические междугородные автобусы. Более подробная информация о классификации транспортных средств и критериях отбора приводится в Главе 1.А.3.б “Дорожный транспорт”.

3.2.2 Коэффициенты выбросов

В Таблица 3-1 и Таблица 3-2 представлены коэффициенты выбросов для ОКВЧ, ТЧ₁₀ или ТЧ_{2.5}, а также для двух категорий источников НО (то есть износа покрышек и тормозов (вместе) и износа дорожного покрытия). Оценка коэффициентов выбросов Уровня 1 проводилась с использованием метода Уровня 2. При этом в отношении характеристик транспортных средств применялись некоторые значения выбросов по умолчанию.

Таблица 3-1 Коэффициенты выбросов Уровня 1 для категории источников 1.А.3.в.vi, износ покрышек и тормозов транспортных средств (вместе)

Коэффициенты выбросов Уровня 1						
		Код	Наименование			
Категория источника НО		1A3b vi	Износ покрышек и тормозов дорожных средств			
Топливо		N/A				
Загрязнитель	Тип ТС	Значение	Единицы	95% доверительн. интервал		Ссылки
				Низший	Высший	
TSP	Двухколесные	0.0083	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0064	0.0103	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₁₀	Двухколесные	0.0064	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0047	0.0081	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₂₅	Двухколесные	0.0034	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0026	0.0042	EMEP-Corinair B770 v1.0
TSP	Легковые а/м	0.0182	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0111	0.0262	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₁₀	Легковые а/м	0.0138	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0083	0.0195	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₂₅	Легковые а/м	0.0074	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0045	0.0107	EMEP-Corinair B770 v1.0
TSP	Грузовики малой грузоподъемности	0.0286	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0176	0.0362	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₁₀	Грузовики малой грузоподъемности	0.0216	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0139	0.0272	EMEP-Corinair B770 v1.0

1.А.3.в.vi Износ покрышек и тормозов дорожных транспортных средств

1.А.3.в.vii Износ дорожного покрытия

	грузоподъемности					
PM ₂₅	Грузовики малой грузоподъемности	0.0117	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0071	0.0148	EMEP-Corinair B770 v1.0
TSP	ТС большой грузоподъемности	0.0777	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0462	0.1318	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₁₀	ТС большой грузоподъемности	0.0590	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0500	0.0950	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₂₅	ТС большой грузоподъемности	0.0316	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0281	0.0541	EMEP-Corinair B770 v1.0

Не оценивались: ПАУ, СО₂, НСВ, полихлорбифенилы, диоксины и фураны. В связи с относительно низким содержанием хлора в покрышках и тормозных системах (хлор содержится в СО₂, полихлорбифенилах и НСВ), а также тем, что абразия является сравнительно низкотемпературным процессом и не ведет к образованию ПАУ, значительных выбросов какого-либо из этих веществ не предполагается. По этой причине для Уровня коэффициентов выбросов не имеется. Метод Уровня 2 предполагает типичные показатели ПАУ при износе покрышек и тормозов.

Таблица 3-2 Коэффициенты выбросов Уровня 1 для категории источников 1.А.3.в.vii, износ дорожного покрытия

Коэффициенты выбросов Уровня 1						
		Код	Наименование			
Категория источника НО		1А3в vi	Износ дорожного покрытия			
Топливо		N/A				
Загрязнитель	Тип ТС	Значение	Единицы	95% доверительн. интервал		Ссылки
				Низший	Высший	
TSP	Двухколесные	0.0060	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0036	0.0081	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₁₀	Двухколесные	0.0030	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0018	0.0041	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₂₅	Двухколесные	0.0016	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0010	0.0022	EMEP-Corinair B770 v1.0
TSP	Легковые а/м	0.0150	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0090	0.0203	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₁₀	Легковые а/м	0.0075	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0045	0.0101	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₂₅	Легковые а/м	0.0041	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0024	0.0055	EMEP-Corinair B770 v1.0
TSP	Грузовики малой грузоподъемности	0.0150	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0090	0.0203	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₁₀	Грузовики малой грузоподъемности	0.0075	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0045	0.0101	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₂₅	Грузовики малой грузоподъемности	0.0041	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0024	0.0055	EMEP-Corinair B770 v1.0
TSP	ТС большой грузоподъемности	0.0760	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0456	0.11026	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₁₀	ТС большой грузоподъемности	0.0380	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0228	0.0513	EMEP-Corinair B770 v1.0
PM ₂₅	ТС большой грузоподъемности	0.0205	г км ⁻¹ ТС ⁻¹	0.0123	0.0277	EMEP-Corinair B770 v1.0

Не оценивались: ПАУ, СО₂, НСВ, полихлорбифенилы, диоксины и фураны. В связи с относительно низким содержанием хлора в покрышках и тормозных системах (хлор содержится в СО₂, полихлорбифенилах и НСВ), а также тем, что абразия является сравнительно низкотемпературным процессом и не ведет к образованию ПАУ, значительных выбросов какого-либо из этих веществ не предполагается. По этой причине для Уровня коэффициентов выбросов не имеется. Метод Уровня 2 предполагает типичные показатели ПАУ при износе покрышек и тормозов.

Для сравнения стоит отметить, что коэффициенты выбросов ТЧ, содержащихся в отработанных газах, в целом значительно выше (как правило 0.060 гр/км для двухколесных транспортных средств и транспортных средств с двухтактным двигателем, 0.040 гр/км для легковых автомобилей с дизельным двигателем, 0.080 гр/км для грузовиков малой грузоподъемности с дизельным двигателем и 0.30 гр/км для транспортных средств большой грузоподъемности с дизельным двигателем).

3.2.3 Данные по осуществляемой деятельности

Соответствующие статистические данные по осуществляемой деятельности для Уровня 1 - это количество транспортных средств в каждой определенной категории и усредненный

пробег/транспортное средство в каждой определенной категории (или их “продукт”, то есть суммарное количество машино-километров для каждой определенной категории).

3.3 Методология Уровня 2

3.3.1 Алгоритм для износа покрышек и тормозов

Методология Уровня 2 является дополнением к методологии Уровня 1, и учитывает зависимость износа покрышек и тормозов от скорости транспортного средства. Она основывается на “Углубленной методологии” из предыдущей версии данного Руководства. С помощью данного метода могут быть также дополнительно рассчитаны количественные показатели для частиц определенного размера (ТЧ₁ и ТЧ_{0,1}).

Следующее общее уравнение используется для оценки отдельно выбросов, образующихся в результате износа покрышек, и выбросов, образующихся в результате износа тормозов:

$$TE = \sum_j N_j \times M_j \times EF_{TSP,s,j} \times f_{s,i} \times S_s(V) \quad (2)$$

где:

- TE = суммарные показатели выбросов за определенный период времени и для определенной территории [гр.],
- N_j = количество транспортных средств в категории *j* в пределах определенной территории,
- M_j = усредненный пробег [км] каждого транспортного средства в категории *j* за определенный период времени,
- EF_{TSP, s, j} = массовый коэффициент выбросов ОКВЧ для транспортных средств в категории *j* [гр/км],
- F_{s, i} = массовая доля ОКВЧ, которая может быть отнесена к размеру частиц *i*,
- S_s(V) = поправочный коэффициент для средней скорости передвижения транспортного средства *V*.

Указатель *j* - это категория транспортных средств (то же что и в уравнении 1). Указатель *s* - это источник ТЧ, то есть износ покрышек (*T*) или тормозов (*B*). Размеры частиц *i* - это ОКВЧ, ТЧ₁₀, ТЧ_{2,5}, ТЧ₁ и ТЧ_{0,1}.

3.3.2 Коэффициенты выбросов для износа покрышек и тормозов

3.3.2.1 Коэффициенты выбросов ОКВЧ для различных классов транспортных средств приводятся в Таблице 3–3. Коэффициенты выбросов рассчитаны на основе имеющихся экспериментальных данных. Необходимо отметить, что коэффициенты выбросов ОКВЧ не допускают того, что весь материал износа покрышек преобразуется во взвешенные твердые частицы, так как значительная часть каучука,

**1.А.3.в.vi Износ покрышек и тормозов дорожных
транспортных средств**

1.А.3.в.vii Износ дорожного покрытия

используемого для производства покрышек, может выбрасываться в виде частиц выпадения пыли или в виде более крупных частиц (например, во время жесткого торможения).

Таблица 3-3 Коэффициенты выбросов ОКВЧ для категории источников 1.А.3.в.vi, износ покрышек дорожных транспортных средств

Класс транспортного средства (j)	Коэффициент выбросов ОКВЧ (гр/км)	Диапазон неопределенности (гр/км)	Код качества
Двухколесные транспортные средства	0,0046	0,0042–0,0053	В
Легковые автомобили	0,0107	0,0067–0,0162	В
Грузовики малой грузоподъемности	0,0169	0,0088–0,0217	В
Транспортные средства большой грузоподъемности	Уравнение 3	0,0227–0,0898	В–С

Примечание:

В: Статистически незначимые коэффициенты выбросов получены на основе небольшого комплекта данных измерений, подвергнутых повторной оценке.

С: Коэффициенты выбросов получены на основе имеющихся литературных источников.

Что касается транспортных средств большой грузоподъемности, то коэффициент выбросов должен учитывать размер транспортного средства (определяемый по количеству мостов) и его нагрузку. Это можно обеспечить с помощью следующего уравнения:

$$EF_{TSP,T,HDV} = \frac{N_{axle}}{2} \cdot LCF_T \cdot EF_{TSP,T,PC} \quad (3)$$

где,

$EF_{TSP,T,HDV}$ = массовый коэффициент выбросов ОКВЧ [гр/км], образующихся во время износа покрышек транспортных средств большой грузоподъемности,

N_{axle} = количество мостов грузовика,

LCF_T = поправочный коэффициент загрузки для износа покрышек,

$EF_{TSP,T,PC}$ = коэффициент выбросов ОКВЧ, образующихся в результате износа покрышек легковых автомобилей,

и

$$LCF_T = 1.41 + (1.38 \times LF) \quad (4)$$

LF - это коэффициент загрузки, варьирующийся в диапазоне от 0 (пустой грузовик) до 1 (полная загрузка). Те же самые уравнения применяются в отношении грузовиков, городских автобусов и туристических междугородних автобусов.

Поправочный коэффициент загрузки — который учитывает вес, перевозимый грузовиком или автобусом — был выведен путем линейной регрессии с использованием экспериментальных данных.

Типичная структура распределения по размеру ОКВЧ, выбросы которых образуются во время износа покрышек, были получены путем объединения информации из литературных источников (как отмечалось в подразделе 2.2.1.). В Таблице 3–4 приводится массовая доля ОКВЧ для различных размеров частиц, которая была рассчитана на основе данной информации. В тех ситуациях, когда в литературных источниках упоминаются только коэффициенты выбросов $ТЧ_{10}$, в целях получения значений ОКВЧ было выбрано следующее значение для соотношения $ТЧ_{10}/ОКВЧ$ относительно износа покрышек: 0.6.

Таблица 3-4 Распределение по размеру частиц износа покрышек

Размер частиц (i)	Массовая доля (f_{Ti}) ОКВЧ
ОКВЧ	1,000
ГЧ ₁₀	0,600
ГЧ _{2,5}	0,420
ГЧ ₁	0,060
ГЧ _{0,1}	0,048

Для того чтобы было можно учесть различные коэффициенты износа покрышек в зависимости от скорости транспортного средства, необходимо сделать поправку на скорость. На Рисунок 3--2 приводится поправка на скорость, сделанная на основе результатов работы Luhana и др. (2002 г.). Необходимо отметить, что как и в случае с коэффициентами выбросов отработанных газов, скорость транспортного средства относится к средней, а не постоянной скорости поездки. Интенсивность износа покрышек сокращается вместе с увеличением средней скорости поездки. Вероятно это связано с тем, что торможение и движение на повороте более характерны для вождения в черте города, а не для передвижения по скоростной автомагистрали.

Математическое выражение Рисунок 3--2 выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
 V < 40 \text{ км/ч:} & \quad S_T(V) = 1.39 \\
 40 \text{ км/ч} \leq V \leq 90 \text{ км/ч:} & \quad S_T(V) = -0.00974 \cdot V + 1.78 \\
 V > 90 \text{ км/ч:} & \quad S_T(V) = 0.902
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Учтите, что $S_T(V) = 1$ когда средняя скорость поездки равняется 80 км/ч, и стабилизируется при скорости менее 40 км/ч и более 90 км/ч, что связано с отсутствием каких-либо экспериментальных данных. Кроме того, хотя предложенное уравнение было получено с использованием данных измерений, которые проводились на легковых автомобилях, его следует использовать для всех категорий транспортных средств.

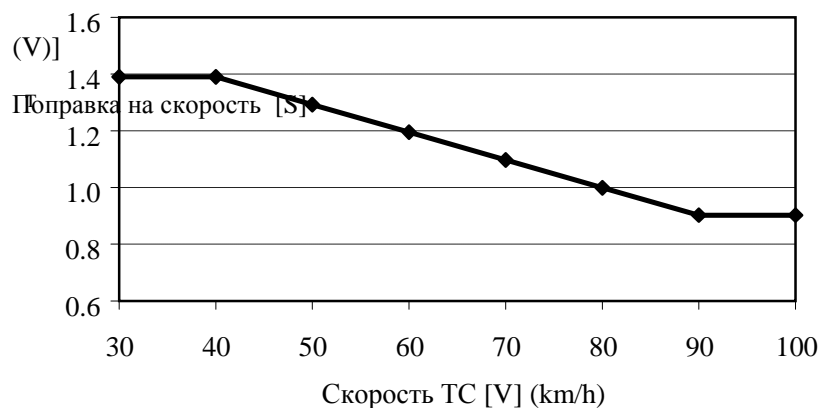


Рисунок 3--2 Поправочный коэффициент на скорость для выбросов частиц износа покрышек

3.3.2.2 Коэффициенты выбросов для износа тормозов

В Таблице 3–5 приводятся коэффициенты выбросов ОКВЧ для частиц износа тормозов. Кроме того, там же приводятся соответствующие диапазоны и коды качества для коэффициентов выбросов.

Таблица 3-5 Коэффициенты выбросов ОКВЧ для категории источников 1.А.3.в.vi, износ тормозов дорожных транспортных средств

Категория транспортного средства (j)	Коэффициент выбросов ОКВЧ (гр/км)	Диапазон (гр/км)	Код качества
Двухколесные транспортные средства	0,0037	0,0022 - 0,0050	D
Легковые автомобили	0,0075	0,0044 - 0,0100	B
Грузовики малой грузоподъемности	0,0117	0,0088 - 0,0145	B
Транспортные средства большой грузоподъемности	Уравнение 6	0,0235 - 0,0420	B–C

Примечание

Коды качества:

- V: Статистически незначимые коэффициенты выбросов, полученные на основе небольшого комплекта данных измерений, подвергнутых повторной оценке.
- C: Коэффициенты выбросов, полученные на основе имеющихся литературных источников.
- D: коэффициенты выбросов, полученные путем использования соображений подобия и/или экстраполяции.

Коэффициент выбросов для транспортных средств большой грузоподъемности рассчитывается путем корректировки коэффициента выбросов для легковых автомобилей, что необходимо для обеспечения согласованности с экспериментальными данными по транспортным средствам большой грузоподъемности:

$$EF_{TSP,B,HDV} = 3.13 \cdot LCF_B \cdot EF_{TSP,B,PC} \quad (6)$$

В уравнении 6, 3.13 - это эмпирический коэффициент, выведенный на основе экспериментальных данных, а LCF_B задается схожим образом, что и LCF_T , и может быть определен заново посредством линейной регрессии от экспериментальных данных с помощью следующего уравнения:

$$LCF_B = 1 + 0.79 \times LF \quad (7)$$

LF снова имеет значение от 0 (пустое транспортное средство) до 1 (полная загрузка). Уравнения 6 и 7 применяются в отношении грузовиков, городских автобусов и туристических междугородних автобусов.

В Таблице 3-6 приводится массовая доля ОКВЧ для различных размеров частиц.

Таблица 3-6 Распределение по размеру частиц износа тормозов

Размер частиц (i)	Массовая доля (f _{T,i}) ОКВЧ
ОКВЧ	1,000
ТЧ ₁₀	0,980
ТЧ _{2,5}	0,390
ТЧ ₁	0,100
ТЧ _{0,1}	0,080

Поправочный коэффициент на скорость для износа тормозов приводится на рисунке 3-3, а математическое выражение S_B(V) приводится в уравнении 8.

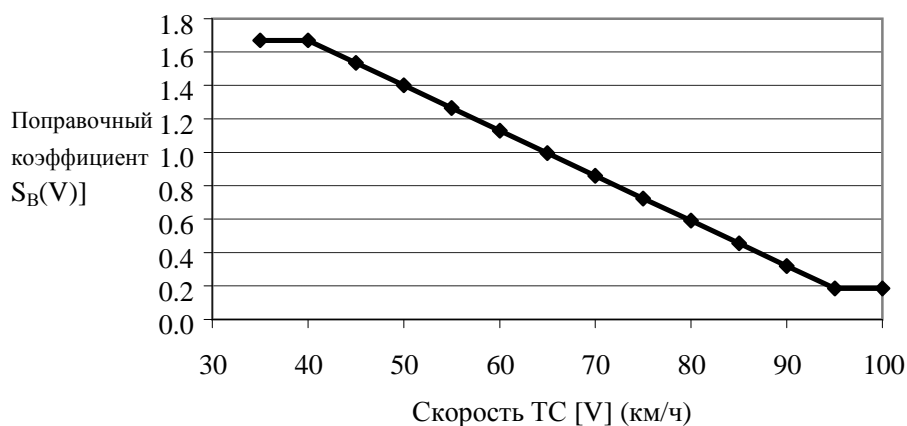


Рисунок 3-3 Поправочный коэффициент на скорость для выбросов частиц износа тормозов

$$\begin{aligned}
 V < 40 \text{ км/ч:} & \quad S_B(V) = 1.67 \\
 40 \text{ км/ч} \leq V \leq 95 \text{ км/ч:} & \quad S_B(V) = -0.0270 \cdot V + 2.75 \\
 V > 95 \text{ км/ч:} & \quad S_B(V) = 0.185
 \end{aligned} \tag{8}$$

В данном случае поправка на скорость нормализуется при скорости 65 км/ч, а крутизна кривой, как правило, больше, чем в случае с износом покрышек. Причина этого кроется в том, что износ тормозов приближается к нулю во время движения по скоростным автомагистралям, так как при этом торможение практически не применяется. Хотя предложенное уравнение было получено с использованием данных измерений, которые проводились на легковых автомобилях, и в этом случае его следует использовать для всех категорий транспортных средств.

3.3.3 Алгоритм и коэффициенты выбросов для износа дорожного покрытия

О выбросах взвешенных в воздухе частиц, образующихся в процессе износа дорожного покрытия, информация практически недоступна. Расчет выбросов осуществляется в соответствии со следующим уравнением:

$$TE_{R;i} = \sum_j N_j \times M_j \times EF_{R;j} \times f_{R;i} \quad (9)$$

где:

- $TE_{R;i}$ = суммарные показатели выбросов загрязняющего вещества i , образующиеся в процессе износа дорожного покрытия за определенный период времени и для определенной территории [гр],
- N_j = количество транспортных средств в категории j в пределах определенной территории,
- M_j = пробег транспортных средств в категории j за определенный период времени [км],
- $EF_{R;j}$ = массовый коэффициент выбросов ОКВЧ, образующихся во время износа дорожного покрытия, для транспортных средств в категории j [гр/км],
- $f_{R;i}$ = массовая доля ОКВЧ, образующихся во время износа дорожного покрытия, которая может быть отнесена к размеру частиц i ,

В углубленной методологии приводится только взвешенная классификация размера частиц износа дорожного покрытия, при составлении которой за основу были взяты результаты работы Klimont и др. (2002 г.). В Таблице 3–7 приводится предварительный вариант коэффициентов выбросов ОКВЧ, образующихся во время износа дорожного покрытия. Эти значения ОКВЧ должны рассматриваться в приложении к первичным частицам износа дорожного покрытия. Однако, стоит учитывать, что они выведены на основе ограниченного количества информации и характеризуются высокой степенью неопределенности. В Таблице 3-8 приводится массовая доля ОКВЧ для различных размеров частиц.

Таблица 3-7 Коэффициенты выбросов ОКВЧ, образующихся во время износа дорожного покрытия

Категория транспортного средства (j)	Коэффициент выбросов (гр/км)	Код качества
Двухколесные транспортные средства	0,0060	C–D
Легковые автомобили	0,0150	C–D
Грузовики малой грузоподъемности	0,0150	C–D

Транспортные средства большой грузоподъемности	0,0760	C–D
--	--------	-----

Примечание:

Коды качества:

C: Коэффициенты выбросов, полученные на основе имеющихся литературных источников.

D: коэффициенты выбросов, полученные путем использования соображений подобия и/или экстраполяции.

Таблица 3-8 Распределение по размеру частиц износа дорожного покрытия

Размер частиц (i)	Массовая доля ($f_{R,i}$) ОКВЧ
ОКВЧ	1,00
ТЧ ₁₀	0,50
ТЧ _{2,5}	0,27

Из-за недостаточного количества экспериментальных данных, мы не включили коэффициенты выбросов для износа дорожного покрытия, связанные с использованием шипованных покрышек, хотя признается, что в некоторых странах этот тип выбросов может быть существенным источником выбросов частиц.

3.3.4 Устранение загрязнения окружающей среды

Подход, предполагающий учет технологии устранения загрязнения окружающей среды, не актуален для данной методологии.

3.3.5 Данные по осуществляемой деятельности

Информация о статистических данных по осуществляемой деятельности, касающихся износа покрышек, тормозов и дорожного покрытия, приводится в Главе 1.А.3.в “Дорожный транспорт”, посвященной выбросам отработанных газов от дорожного транспорта.

3.4 Структура видообразования

С более подробным перечнем органических соединений и ПАУ можно ознакомиться в работе Rogge и др. (1993 г.), в которой, однако, рассматривается только один тип покрышек и одна тормозная накладка. Вместо того чтобы приводить весь обширный перечень соединений, мы решили сосредоточиться на четырех ПАУ, которые рассматриваются в Протоколе по Стойким Органическим Загрязнителям Европейской Экономической Комиссии Организации Объединенных Наций (В[b]F, В[k]F, В[a]P, I[1,2,3-cd]P) (Таблица 3–9).

Таблица 3-9 ПАУ, связанные с остатками тормозов и покрышек

Соединение	Износ покрышек (частей на миллион на конкретный вес)	Износ тормозов (частей на миллион на конкретный вес)
Бензо(а)пирен	3,9	0,74
Бензо(б)флуорантен	0	0,42
Бензо(к)флуорантен	0	0,62
Индено(1,2,3-сd)пирен	-	-

В Таблице 3–10 представлено разложение износа покрышек и тормозов на различные элементы, ионы, элементарный углерод и органический углерод. В целях определения этого видообразования было использовано несколько источников и, по этой причине, указываются среднее, минимальное и максимальное значения. В некоторых случаях диапазон значений достаточно велик. Совершенно очевидно, что причиной этого является разнообразие материалов и источников, которые используются для производства протекторов покрышки и тормозных фрикционных накладок. Следовательно, необходимо провести исследование большей выборки материалов. На настоящий момент, в виду отсутствия подобной информации, “средним” значением является невзвешенное усредненное значение всех значений, которые приводятся в различных отчетах. Диапазоны, представленные в Таблице 3–10, взяты из следующих источников: Brewer (1997 г.), Hewitt и Rashed (1990 г.), Hildemann и др. (1991 г.), Hillenbrand и др. (2004 г.), Hjortenkrans и др. (2007 г.), Legret и Pagotto (1999 г.), Malmqvist (1983 г.), von Uexküll и др. (2005 г.), VROM (1997), и Westerlund (2001 г.). Во время составления версии данного Руководства 2008 года содержание As, Cd, Cr, Ni, и Pb в покрышках и тормозах было пересмотрено, что было сделано в виду пересмотра коэффициентов выбросов, применяемых в рамках проекта Espreme (Kummer, U., 2008 г.).

**1.А.3.в.vi Износ покрышек и тормозов дорожных
транспортных средств
1.А.3.в.vii Износ дорожного покрытия**

Таблица 3-10 Состав частиц износа покрышек и тормозов с точки зрения наличия различных металлов, ионов, а также элементарного и органического углерода (в частях на миллион на конкретный вес).

Элемент	Распределение элементов					
	Значение	Покрышки		Значение	Тормоза	
Мин		Макс	Мин		Макс	
Ag	0.1	0.1	0.1			
Al	324	81.0	470	2050	330	3770
As	3.8	1.6	6.0	67.5	10.0	130.0
Ba	125.0	0.9	370	38520	2640	74400
Br	20.0			40.0		
Ca	892	113.0	2000	7700	1100	14300
Cd	4.7	1.4	9.0	22.4	1.5	57.0
Cl	520			1500		
Cl-	600			1500		
Co	12.8	0.9	24.8	6.4		
Cr	23.8	2.0	61.0	2311	115	8050
Cu	174	1.8	490	51112	370	142000
EC	153000			26100		
Fe	1712	2.1	4600	209667	115000	399000
K	280	180.0	380	523.5	190	857
Li	1.3	0.2	2.3	55.6		
Mg ²⁺	166	32.0	360	44570	6140	83000
Mn	51	2.0	100	2460	1700	3220
Mo	2.8			10000		
Na ⁺	645	610.0	680	7740	80.0	15400
NH ₄ ⁺	190			30.0		
Ni	29.9	2.4	63	327	80	60
NO ₃ ⁻	1500			1600		
OC	360000			107000		
P						
Pb	176	6.3	670	6072	120	20000
Rb				50.0		
S	1100			12800		
Sb	2.0			10000		
Se	20.0			20.0		
Si	1800			67900		
SO ₄ ⁻⁻	2500			33400		
Sn				7000		
Sr	14.4	0.2	40.0	520	81.4	740
Ti	378			3600		
V	1.0			660		
Zn	7434	430	13494	8676	270	21800

Примечание:

EC = элементарный углерод, OC = органический углерод. Пустые ячейки “среднее значение” означают отсутствие какой-либо информации, в то время как пустые ячейки

“минимальное значение” и “максимальное значение” означают, что в распоряжении имеется только один источник (то есть отсутствует диапазон значений).

4 Качество данных

4.1 Проверка достоверности

Подходы, которые могут использоваться для проверки достоверности коэффициентов выбросов и методологии из данной главы, по существу являются теми же, что применялись для определения первичной информации. Сюда входят исследования в аэродинамической трубе, рецепторное моделирование и непосредственное лабораторное измерение. На текущий момент мы не располагаем достаточным количеством данных измерений, проводимых непосредственно на дорогах в реальных условиях вождения, и сбор подобных данных также поможет в процессе проверки достоверности.

Одним из простых подходов к проверке достоверности является сопоставление результатов, полученных посредством использования этого метода, с результатами из других инвентаризаций, а также определение согласованности пропорции частиц, не связанных с выбросами отработанных газов.

4.2 Критерии временного разукрупнения

Так как коэффициенты выбросов, представленные в данной главе, являются универсальными, и различаются только с точки зрения понятия скорости (и нагрузки - для транспортных средств большой грузоподъемности), то временное разукрупнение, по большей части, относится к данным по осуществляемой деятельности. Данная тема обсуждается в Главе 1.А.3.б “Дорожный транспорт”, посвященной выбросам отработанных газов от дорожного транспорта. Однако, стоит принять во внимание, что по мере увеличения временного разрешения будет необходимо учесть влияние влажных погодных условий, для чего потребуется какой-то соответствующий показатель.

4.3 Оценка неопределенности

4.3.1 Неопределенность в коэффициентах выбросов

Коэффициенты выбросов, представленные в данной главе, были получены на основе информации, собранной с помощью анализа литературных источников. Как правило, сбор экспериментальных данных осуществлялся с использованием следующих трех методов:

- рецепторное моделирование у обочины дороги в “горячих точках” загрязнения городской среды или в автодорожных тоннелях;
- определение количества взвешенных в воздухе частиц и коэффициента износа с помощью лабораторных экспериментов;
- применение распределения частиц по размеру к коэффициентам износа в целях получения фракции взвешенных частиц.

Очевидно, что каждый из этих методов связан с существенной неопределенностью. В случае с рецепторным моделированием большое значение приобретает используемый химический профиль, и остатки ресуспендирования могут привести к существенному

изменению коэффициентов выбросов. Например, в соответствии с результатами оценки, которые приводятся в работе Abu-Allaban и др. (2002), во время износа покрышек взвешенные в воздухе частицы не образовывались, и вплоть до 160 мг/км массы частиц образовывалось в результате износа тормозов транспортных средств большой грузоподъемности. С другой стороны, согласно оценке Rauterberg-Wulff (1999 г.), износ покрышек транспортных средств большой грузоподъемности стал причиной образования частиц в размере 32 мг/км. Для других методов характерны схожие неопределенности. Например, в работе Fauser (1999 г.) говорится о том, что диаметр более 90% взвешенных ТЧ, образующихся во время износа покрышек, менее 1 мкм. В отличие от этого, согласно оценке Rauterberg-Wulff (1999 г.), диаметр взвешенных в воздухе частиц покрышек всегда превышает 2.5 мкм. Несколько подобных различий характерны и в отношении химического состава (Таблицы 3–9 и 3–10). Очевидно, что эти примеры являются диаметрально противоположными, но они позволяют определить систему координат для неопределенности, связанной с предложенной методологией.

Используемые здесь коэффициенты выбросов являются типичными с точки зрения значений, представленных в доступных литературных источниках, а диапазон неопределенности приводится рядом с каждым значением коэффициента выбросов (Таблица 3-1, Таблица 3-2, Таблица 3-3 и Таблица 3-5). Отправной точкой для перекрестной проверки данной методологии являются коэффициенты износа покрышек и тормозов, которые представляют собой довольно точно установленные значения. Таким образом, применение типичных профилей размеров частиц к этим коэффициентам износа (метод 3 в выше приведенном перечне) также может позволить получить приемлемое значение коэффициента выброса, которое будет пригодно для сопоставления. Значения коэффициентов выбросов, представленные в данной главе, были также подвергнуты перекрестной проверке с результатами исследований мероприятий по составлению инвентаризации (например, Flugsrud, 2000 г.) и пропорционального распределения источников (например, Schauer и др., 2002 г.). В соответствии с эмпирическим методом предполагается, что неопределенность составляет порядка $\pm 50\%$.

4.3.2 Неопределенности в данных по осуществляемой деятельности

С комментариями о неопределенностях в данных о машино-километрах можно ознакомиться в Главе 1.А.3.в “Дорожный транспорт”, посвященной выбросам отработанных газов от дорожного транспорта.

4.4 Обеспечение/контроль качества инвентаризации ОК/КК

Какая-то специфика отсутствует.

4.5 Координатная привязка

Так как коэффициенты выбросов, представленные в данной главе, являются универсальными, и различаются только с точки зрения понятия скорости (и нагрузки - для транспортных средств большой грузоподъемности), то пространственное разукрупнение, по большей части, относится к данным по осуществляемой деятельности. Данный вопрос обсуждается в главе “Дорожный транспорт”.

4.6 Отчетность и документация

Какая-то специфика отсутствует.

4.7 Наиболее уязвимые аспекты/приоритетные области данной методологии, которые требуют проведения дополнительных изысканий.

Ниже представлены определенные уязвимые аспекты настоящей методологии, которые, таким образом, являются предметом дальнейших изысканий.

Износ покрышек — влияние различных сочетаний “покрышка-дорожное покрытие”

Данная методология основывается на экспериментальных данных, которые, в свою очередь, охватывают различные типы покрышек и дорожного покрытия. Для исследования относительных эффектов различных сочетаний “покрышка-дорожное покрытие”, включая грунтовые дороги, необходимо более подробная информация.

Износ дорожного покрытия — типовые покрышки

Предварительный вариант значений коэффициентов выбросов для износа асфальта связан с высокой степенью неопределенности. Таким образом, и в этом случае для получения более точных значений необходимы дополнительные экспериментальные данные.

Износ дорожного покрытия — шипованные покрышки

Использование шипованных покрышек приводит в некоторых странах к высокой интенсивности износа дорожного покрытия, хотя на данный момент в нашем распоряжении отсутствует какая-либо официальная информация относительно последствий их применения с точки зрения выбросов взвешенных в воздухе частиц. Из-за недостаточного количества экспериментальных данных, мы не включили коэффициенты выбросов для шипованных покрышек, хотя признается, что в некоторых странах они могут являться существенным источником выбросов частиц.

Ресуспендированные частицы

Очень уязвимым аспектом данной методологии является вклад от ресуспендирования дорожной пыли. В рамках экспериментов, осуществляемых в аэродинамической трубе и на открытом воздухе, невозможно разделить только что выброшенные взвешенные частицы износа покрышек и тормозов, от ресуспендированного материала, причиной образования которого стали те же источники. В сущности, часть ресуспендирования включается в предлагаемые коэффициенты выбросов.

Погодные условия

Методология и коэффициенты выбросов, представленные в данной главе, были выведены на основе результатов исследований, которые проводились в сухую погоду при сухом дорожном покрытии. Очевидно, что водный слой на дороге и дождливая погода будут способствовать существенному сокращению выбросов взвешенных в воздухе частиц,

особенно что касается износа дорожного покрытия и тормозов, так как подобные частицы могут улавливаться водой.

5 Глоссарий

Накопление	Размер частиц варьируется в диапазоне от 0.050 до 1 мкм, что также образует явное логарифмически нормальное распределение. Подобные частицы обычно представляют собой твердые вещества, причиной образования которых является сжигание или очень тонкое истирание.
Крупные частицы	Размер частиц превышает 2.5 мкм. Подобные частицы могут образовываться в результате механических процессов (истирание, дробление, измельчение, и т. д.)
Мелкие частицы	Частицы размером < 2.5 мкм (ТЧ _{2.5}).
Ядерные частицы (также известны как частицы Айткена)	Размер частиц варьируется в диапазоне от 0.003–0.050 мкм, что образует явное логарифмически нормальное распределение. Эти частицы обычно образуются в результате нуклеации конденсируемых веществ.
Мельчайшие частицы	Частицы размером < 0.1 мкм (ТЧ _{2.5}).

6 Список цитированной литературы

Abu-Allaban, M., Gillies, J.A., Gertler, A.W., Clayton, R., Proffit, D. 2003, 'Tailpipe, resuspended road dust, and brake wear emission factors from on-road vehicles', *Atmospheric Environment*, Vol. 37(1), pp. 5283–5293.

APEG 1999, 'Source apportionment of airborne particulate matter in the United Kingdom', Airborne Particles Expert Group, DETR, London, UK.

Baekken, T. 1993, 'Environmental effects of asphalt and tyre wear by road traffic', Nordic seminar og Arbejdsrapporter 1992:628, Copenhagen, Denmark.

Baumann, W., Ismeier, M. 1997, 'Exemplarische Erfassung der Umweltexposition ausgewählter Kautschukderivate bei der bestimmungsgemäßen Verwendung in Reifen und deren Entsorgung', UBA-FB 98-003. Cited in Klimont et al. (2002).

Berdowski, J., Visschedijk, A. J. H., Creemers, E.; Pulles, T., Pacyna, J., Fudala, J., Querreveld, D. 2001. CEMPMEIP database particulate matter 1995. TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation, Apeldoorn, The Netherlands.

Boulter, P. G. 2005, 'A review of emission factors and models for road vehicle non-exhaust particulate matter', TRL Report PPR065. TRL Limited, Wokingham, UK.

Brewer, P. 1997. M.Sc. Thesis: 'Vehicles as a source of heavy metal contamination in the environment'. University of Reading, Berkshire, UK.

Cadle, S.H., Williams, R.L. 1978, 'Gas and particle emissions from automobile tyres in laboratory and field studies', *Rubber Chemistry and Technology*, Vol. 52, pp. 146–158.

- Cadle, S. H., Williams, R. L. 1979, *Rubber Chemistry and Technology*, Vol. 51(7).
- Cadle, S. H., Williams, R. L. 1980, 'Environmental degradation of tire-wear particles', *Rubber Chemistry and Technology*, Vol. 53 (7), pp. 903–914.
- Carlsson, A., Centrell, P.; Berg, G. 1995, 'Studded tyres: socio-economic calculations'. VTI Meddelande 756, Swedish road and Transport Research Institute, Linköping, Sweden. In Swedish.
- Camatini, M., Crosta, G.F., Dolukhanyan, T., Sung, Ch., Giuliani, G., Corbetta, G.M., Cencetti, S., Regazzoni, C. 2001, 'Microcharacterization and identification of tyre debris in heterogeneous laboratory and environmental specimens', *Materials Characterization*, Vol 46, pp. 271–283.
- CARB 1993, referenced in Rauterberg-Wulff (1999).
- Cardina, J.A. 1974. *Rubber Chemistry and Technology*, Vol. 46, p. 232.
- CBS (Central Bureau for Statistics) 1998, 'Methodiekbeschrijving van de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland'. In het kader van het Emissiejaarrapport. Cited in Klimont et al. (2002).
- CEPMEIP, 2003. Co-ordinated European Programme on Particulate Matter Emission Inventories, Projections and Guidance, www.air.sk/tno/cepmeip/
- Cha, S. Carter, P. Bradow, R. L. 1983, 'Simulation of automobile brake wear dynamics and estimation of emissions', SAE Transactions Paper 831036, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pennsylvania.
- Christensen, E. R., Guinn, V. P. 1979. *Journal of Environmental Eng. Div.*, Vol. 105, pp. 165–169. Cited in Councell et al. (2004).
- Councell, T.B., Duckenfield, K. U., Landa, E. R., Callender, E. (2004), 'Tire wear particles as a source of zinc to the environment', *Environmental Science and Technology*, Vol. 38, pp. 4206–4214.
- Dannis, M.L. 1974, 'Rubber dust from the normal wear of tyres', *Rubber Chemistry and Technology*, Vol. 47, pp. 1011–1037.
- Dunn, J. 1993, 'Recycling/reuse of elastomers — an overview'. Rubber Division, American Chemical Society, Orlando, Florida.
- Düring, I., Jacob, J., Lohmeyer, A., Lutz, M., Reichenbacher, W. 2002, 'Estimation of the 'non exhaust pipe' PM₁₀ emissions of streets for practical traffic air pollution modelling'. 11th International Conference 'Transport and Air Pollution', June 2002, Graz, Austria.
- EMPA 2000, 'Anteil des Strassenverkehrs an den PM₁₀ und PM_{2,5} Immissionen'. NFP41, Verkehr und Umwelt, Dubendorf, Switzerland. Cited in Klimont et al. (2002).
- Fausser, P. 1999, 'Particulate air pollution with emphasis on Traffic Generated Aerosols', Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- Flugsrud, K., Gjerald, E., Haakonsen, G.; Holtskog, S., Høie, H., Rypdal, K., Tornsjø, B., Weidemann, F. 2000. The Norwegian Emission Inventory, Norwegian Pollution Control Authority, Statistics Norway, Report 2000/1, Oslo, Norway.
- Folkesson, L. 1992, 'Miljö-och hälsoeffekter av dubbdäcksanvändning'. VTI meddelande Nr.694.

Statens Väg- och trafikinstitut, pp. 581 95 Linköping.

Fwa, T. F., Ang, B.W. 1991. *J. Transp. Eng.*, 117, pp. 298–310.

Garben, M., Wiegand, G., Liwicki, M., Eulitz, S. 1997, Emissionskataster Kraftfahrzeugverkehr Berlin 1993, IVU GmbH Berlin, Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin, unveröffentlicht. Cited in Klimont et al. (2002).

Garg, B.D., Cadle, S.H., Mulawa, P.A., Groblicki, P.J., Laroo, Ch., Parr, G.A. 2000, 'Brake Wear Particulate Matter Emissions', *Environmental Science and Technology*, Vol. 34, pp. 4463–4469.

Gebbe et al. 1997, 'Quantifizierung des Reifenabriebs von Kraftfahrzeugen in Berlin', *ISSFahrzeugtechnik*, TU Berlin, i.A. der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin.

Gottle, A. 1979, 'Ursachen und Mechanismen der Regenwasserverschmutzung — Ein Beitrag zur Modellierung der Abflussbeschaffenheit in Stadt'. Gebieten. Berichte aus Wassergutewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, TU Munchen H. 23.

Hewitt, L.N., Rashed, M.B. 1990 'An integrated budget for selected pollutants for a major rural highway', *Science of the Total Environment*, Vol. 93, pp. 375–384.

Hildemann, L.M., Markowski, G.R., Cass, G.R. 1991, 'Chemical composition of emissions from urban sources of fine organic aerosol', *Environmental Science and Technology*, Vol. 25, pp. 744–759.

Hillenbrand, Th., Toussaint, D., Böhm, E., Fuchs, S., Scherer, U., Rudolphi, A., Hoffmann, M., Kreißig, J., Kotz, C., 2004, 'Einträge von Kupfer, Zink, und Blei in Gewässer und Böden — Analyse der Emissionspfade und möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen'. Umweltbundesamt Texte 19/05, Berlin, Germany, p. 303.

Hjortenkrans, D.S.T, Bergbäck, B.G., Häggerud, A.V. 2007, 'Metal Emissions from Brake Linings and Tires: 2000, 'Brake Wear Particulate Matter Emissions', *Environmental Science and Technology*, Vol. 41, pp. 5224-5230.

Jacobsson, T., Hornwall, F. 1999, 'Dubbslitage på asfaltbeläggning', *VTI meddelande* pp. 862–199, VTI, Linköping, Sweden (in Swedish). Cite in Sörme and Lagerqvist (2002).

KemI 1994, 'Nya hjulspår — en produktstudie av gummidäck', Report 6/94 (in Swedish). Cited in Sörme and Lagerqvist (2002).

Klimont, Z., Cofala, J., Bertok, I., Amann, M., Heyes, C., Gyarfas, F. 2001, 'Modelling particulate emissions in Europe — a framework to estimate reduction potential and control costs', IIASA Interim Report IR-02-076. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

Kennedy, K., Gadd, J., Moncrieff, I. 2002, 'Emission factors for contaminants released by motor vehicles in New Zealand'. Prepared for the New Zealand Ministry of Transport and Infrastructure Auckland.

Kolioussis, M., Pouftis, Ch. 2000, 'Calculation of tyre mass loss and total waste material from road transport', Diploma Thesis, Laboratory of Applied Thermodynamics, Report No 0010, Thessaloniki, Greece.

- Kummer, U., 2008. Revision of the Espreme emission factors. Personal Communication. Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy, Stuttgart University.
- Kupiainen, K., Tervahattu, H., Räisänen, M. 2003, 'Experimental studies about the impact of traction sand on urban road dust composition', *Science of the Total Environment*, Vol. 308, pp. 175–184.
- Lee, Y.K., Kim, M.G. 1989. *J. Analyt. Appl. Pyrolysis*, Vol. 16, 49–55.
- Lee P-K., Touray, J.-C., Baillif, P., Idefonse, J.-P. 1997, 'Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France', *The Science of the Total Environment*, Vol. 201, pp. 1–15.
- Legret, M., Pagotto, C. 1999, 'Evaluation of pollutant loadings in the runoff waters from a major rural highway', *The Science of the Total Environment*, Vol. 235, pp. 143–150.
- Lindgren, A. 1996, 'Asphalt Wear and Pollution Transport', *The Science of the Total Environment*, Vol. 189/190, pp. 281–286.
- Lohrer, W., Mierheim, L. W. 1983, 'Staub-Reinhalt', *Luft*, Vol. 43, pp. 78–83.
- Luhana, L., Sokhi, R., Warner, L., Mao, H., Boulter, P., McCrae, I., Wright, J., Reeves, N., Osborn, D. 2004, 'Non-exhaust particulate measurements: results'. Deliverable 8 of the European Commission DG TREN 5th Framework Particulates project.
- Malmqvist, P.A. 1983, 'Urban storm water pollutant sources'. Chalmers University, Gothenburg, Sweden.
- Miguel, A.G., Cass, G.R., Glovsky, M.M., Weiss, J. 1999, 'Allergens in paved road dust and airborne particles', *Environmental Science and Technology*, Vol. 33, pp. 4159–4168.
- Muschack, W. 1990, 'Pollution of street run-off by traffic and local conditions', *The Science of the Total Environment*, Vol. 93, pp. 419–431.
- NTNU 1997, Vegslitasje Piggdekkslitasje- Salting. Miljødagerne '97. Norges teknisknaturvitenskapelige universitet.
- Pierce, R. N. 1985, Determination of 100 % tire tread loss by weight. US Department of Transportation. Cited in Councill et al. (2004).
- Pierson, W.R., Brachaczek, W.W. 1974, 'Airborne particulate debris from rubber tyres', *Rubber Chemistry and Technology*, Vol. 47, pp. 1275–1299.
- Rauterberg-Wulff, A. 1999, 'Determination of Emission Factors for Tire Wear Particles by Tunnel Measurements', 8th International Symposium 'Transport and Air Pollution', June 2002, Graz, Austria.
- Raybold, R. L., Byerly, A. L. 1972, 'Investigation of products of tire wear', National bureau of Standards, Gaithersburg, MD. Cited in Councill et al. (2004).
- Rogge, W., Hildemann, L.M., Mazurek, M.A., Cass, G.R. 1993, 'Sources of fine organic aerosol. 3. Road dust, tire debris, and organometallic brake lining dust: roads as sources and sinks', *Environmental Science and Technology*, Vol. 27, pp. 1892–1904.
- Sakai, H. (1996), 'Friction and wear of tyre tread rubber', *Tyre Science and Technology*, Vol. 24

(3), pp. 252–275.

Sanders, P. G., Xu, N., Dalka, T. M., Maricq, M. M. (2003), 'Airborne brake wear debris: size distributions, composition, and a comparison of dynamometer and vehicle tests', *Environmental Science and Technology*, Vol. 37, pp. 4060–4069.

Schauer, J.J., Fraser, M.P., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T. 2002, 'Source reconciliation of atmospheric gas-phase and particle-phase pollutants during a severe photochemical episode', *Environmental Science and Technology*, Vol. 36, pp. 3806–3814.

SENCO 1999, 'Collation of information on particulate pollution from tyres, brakes and road surfaces'. Sustainable Environmental Consultants Ltd., Colchester, UK. Cited in Klimont et al. (2002).

Smolders, E., Degryse, F. 2002, 'Fate and effect of zinc from tire debris in soil', *Environmental Science and Technology*, Vol. 36, pp. 3706–3710.

Sörme, L., Lagerkvist, R. 2002, 'Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm', *The Science of the Total Environment*, Vol. 298, pp. 131–145. Elsevier Science.

Stalnaker, D., Turner, J., Parekh, D., Whittle, B., Norton, R. 1996, 'Indoor simulation of tyre wear: some case studies', *Tyre Science and Technology*, Vol. 24, pp. 94–118.

Subramani, J. P. 1971. PhD thesis, University of Cincinnati, OH, 1971. Cited in Councell et al. (2004).

TNO, 1997, 'Particulate matter emissions (PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{0.1}) in Europe in 1990 and 1993'. TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation, Apeldoorn, the Netherlands.

UK Environment Agency, 1998, 'Tyres in the Environment'. Environment Agency, Rio House, Waterside Drive Aztec West, Almondsbury, Bristol, BS32 4UD. 1998. ISBN 1–873–16075–5.

Used Tyre Working Group 2000. www.tyredisposal.co.uk

USEPA, 1995, 'Compilation of air pollutant emission factors', USEPA Report AP-42, Volume I, 5th edition.

Venkatram, A. 2000, 'A critique of empirical emission factor models: a case study of the AP-42 model for estimating PM₁₀ emissions from paved roads', *Atmospheric Environment*, Vol. 32, pp. 1–11.

von Uexküll, O., Skerfving, S., Doyle, R. and Braungart, M.: 2005, 'Antimony in brake pads — a carcinogenic component?', *J. Clean Prod.* 13, pp. 19–31.

VROM, 1997, 'Emissies van Metalen en PAK door wegverkeer'. Ministrie van VROM, Directie Stoffen, Veiligheid, Straling, p. 6.

Westerlund, K.G. 2001, 'Metal emissions from Stockholm traffic — wear of brake linings'. The Stockholm Environment and Health Protection Administration, 10064, Stockholm, Sweden.

6.1 Библиографический указатель

Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources, US Environmental Protection Agency, www.epa.gov/ttn/chief/ap42/

7 Наведение справок

Все вопросы по данной главы следует направлять соответствующему руководителю (руководителям) экспертной группы по транспорту, работающей в рамках Целевой группы по инвентаризации и прогнозу выбросов. О том как связаться с сопредседателями ЦГИПВ вы можете узнать на официальном сайте ЦГИПВ в Интернете (www.tfeip-secretariat.org/).

Приложение А Методики, используемые для определения интенсивности выбросов частиц, образующихся в процессе износа покрышек, тормозов и дорожного покрытия

В данном Приложении приводится описание методик, используемых для определения интенсивности выбросов частиц, образующихся в процессе износа покрышек, тормозов и дорожного покрытия. Анализ различных методик является важным с точки зрения объяснения широкого диапазона зафиксированных показателей интенсивности выбросов, и может помочь в процессе определения неопределенностей и сложностей, связанных с оценкой вклада в ТЧ источниками, не имеющими отношение к выбросам отработанных газов.

Для оценки интенсивности выбросов использовались три основных подхода:

- определение выбросов частиц путем непосредственных измерений с использованием лабораторного моделирования эксплуатационного режима колес и тормозов транспортного средства;
- отбор проб и анализ твердых частиц в атмосферном воздухе и последующее применение методов пропорционального распределения источников (рецепторное моделирование);
- объединение профиля распределения частиц по размеру с измеренными показателями интенсивности износа в целях оценки выбросов частиц определенного размера.

Моделирование реальных эксплуатационных характеристик покрышек в лабораторных условиях является трудной задачей и, следовательно, непосредственное измерение выбросов частиц представляется довольно проблематичным. В рамках более ранних исследований (Cardina, 1974 г.; Dannis, 1974 г.; Cadle и Williams, 1978 г.) для определения характеристик частиц, как например для распределения их по размеру, использовались лабораторные методики. В последнее время (Samatini и др., 2001 г.) для моделирования износа покрышек в целях исследования структуры и видообразования выбрасываемых частиц, применялся вращающийся барабан.

Наиболее широко применимой методикой определения показателей интенсивности выбросов частиц для различных источников, имеющих отношение к транспортным средствам, включая износ покрышек, является рецепторное моделирование. Эта методика заключается в отборе проб взвешенных частиц в определенных точках (тоннелях, уличных каньонах, уличных перекрестках, и т. д.), после чего с помощью изотопных индикаторов осуществляется их пропорциональное распределение между различными источниками. В качестве индикаторных изотопов для износа покрышек применялись цинк и БСК (Fauser, 1999 г.) или типичная структура (профиль) материала, используемого для производства покрышек (Rauterberg-Wulff, 1999 г.; Abu-Allaban и др., 2003 г.). Данный метод также упоминается под названием “баланс реагирующей массы (БРМ)”. После проведения хорошо структурированных статистических анализов (например, анализа основных компонентов) можно определить вклад каждого первичного источника. Для этого

необходимо провести сопоставление профилей основного материала с соответствующими вкладами в пробу изотопных индикаторов.

Третий метод заключается в регистрации показателей интенсивности частиц посредством периодического взвешивания покрышек и последующего определения коэффициента выбросов при том допущении, что какая-то фракция данного износа является взвешенной в воздухе (например, Luhana и др., 2002 г.). В большинстве случаев диапазоны фракций взвешенных частиц являются инженерными оценками, которые основываются на данных о типичных размерах выбрасываемых частиц от остатков покрышек.

В принципе, те же самые методики также используются в целях определения коэффициентов выбросов для износа тормозов и дорожного покрытия. В том случае, если речь идет о частицах тормозов, то моделирование работы тормозов в лабораторных условиях связано с меньшими трудностями, и коэффициенты выбросов частиц износа тормозов были непосредственно определены именно таким образом. Например: в рамках работы Garg и др. (2000 г.) и Sanders и др. (2002 г.) для сбора частиц выпадения пыли применялись динамометры с закрытой камерой. При этом отбор проб взвешенных в воздухе частиц производился с использованием фильтров, импакторов и контрольно-измерительных приборов для анализа взвешенных частиц.

Все выше перечисленные методики обладают рядом неотъемлемых ограничений. Рецептное моделирование должно позволить получить точные коэффициенты выбросов, так как отбор проб при этом осуществляется рядом с дорогой. Однако, отобранные пробы являются удельным средним значением для различных источников и различных транспортных средств, и в большой степени зависят от метеорологических условий (например, направление ветра). Другой важной проблемой, связанной с данным методом, является тот факт, что частицы, ресуспендированные под воздействием турбулентного потока, создаваемого транспортным средством, во время отбора проб могут учитываться в качестве первичных выбросов. С другой стороны, лабораторные эксперименты могут не быть полностью репрезентативными с точки зрения поведения транспортного средства в реальной обстановке (то есть, эксплуатации покрышек и тормозов), и концентрируются только на небольшой выборке типов тормозных накладок или покрышек. Кроме того, образование фракции взвешенных частиц зависит от конфигурации используемого динамометрического стенда и условий отбора проб.

Различия между этими методиками измерений являются причиной того, что в литературных источниках приводится очень широкий диапазон показателей интенсивности выбросов частиц.