**Министерство промышленности и торговли Российской Федерации**

**Федеральное государственное унитарное предприятие**

**«Центральный ордена Трудового Красного Знамени**

**Научно-исследовательский автомобильный и автомоторный**

**институт «НАМИ»**

На правах рукописи

**ВАСИЛЬЕВ Андрей Владимирович**

# ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЦЕНКИ КОМПЛЕКСНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Специальность 05.05.03 – Колёсные и гусеничные машины

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки РФ
Кутенёв Вадим Фёдорович

Москва 2019 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ……. 5
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ……. 11

**Глава 1. Обзор и анализ современного состояния исследований и работ по снижению выбросов вредных веществ и твердых частиц, загрязняющих атмосферу городской среды крупных городов при эксплуатации автотранспортных средств……. 13**

1.1. Анализ работ по снижению загрязнения воздушной среды крупных городов отработавшими газами при эксплуатации автотранспорта……. 13

1.2. Анализ состояния изучения реальных выбросов твердых частиц от износа тормозных накладок и шин при эксплуатации авто транспорта в городских условиях…… 16

1.3. О нерешенных проблемах с выбросом твердых частиц от износа дорожного покрытия при эксплуатации автомобильного транспорта……. 21

1.4. Цели и задачи диссертационного исследования…….. 25

**Глава 2. Теоретический анализ и определение расчетных методов для сравнительной оценки величин выбросов твердых частиц при эксплуатации автотранспорта в городских условиях……. 26**

2.1. Основные источники и методы определения суммарных выбросов вредных веществ и твердых частиц……. 26

2.2. Определение валовых выбросов вредных веществ и твердых частиц с отработавшими газами различных автомобилей… 27

2.3. Определение валовых выбросов вредных веществ в атмосферу городской среды при износе шин …… 28

2.4. Определение валовых выбросов вредных веществ при износе тормозных механизмов…… 32

2.5. Определение массы валовых выбросов вредных веществ при износе дорожного покрытия…… 34

2.6. Выводы…… 36

**Глава 3. Теоретические исследования по сравнительному анализу выбросов вредных веществ и твердых частиц от эксплуатации автотранспорта в городских условиях……** 37

3.1. Определение выбросов вредных веществ и твердых частиц от систем автомобилей при их эксплуатации…… 39

3.1.1. Определение суммарных выбросов вредных веществ и твердых частиц с отработавшими газами легковых автомобилей….. 39

3.1.2. Выбросы вредных веществ и твердых частиц с отработавшими газами грузовыми автомобилями и автобусами…… 41

3.1.3. Выбросы твердых частиц от износа шин и тормозных механизмов автотранспортных средств…….. 43

3.1.4. Анализ изменения суммарных выбросов твердых частиц от износа шин и тормозных механизмов легковых и грузовых автомобилей в городе Москва в период с 2002 г. по 2030 г……. 51

3.2. Теоретический расчет выбросов твердых частиц и интенсивности износа дорожного покрытия от эксплуатации автомобильного транспорта г. Москвы…… 52

3.3. Теоретический расчет общих выбросов вредных веществ и твердых частиц от эксплуатации всего автомобильного транспорта г. Москва в перспективе до 2030 года…… 55

**Глава 4. Исследования эффективности и объективности требований в международных правилах ООН по проблемным вопросам комплексной экологической безопасности автомобилей……** **59**

4.1. Анализ обсуждения докладов Российской Федерации на Всемирном форуме по разработке требований к конструкции транспортных средств (WP-29) Комитета по внутреннему транспорту ЕЭК ООН и ее рабочих группах, представителями Европейских производителей шин…….. 61

4.2. Реакция и комментарий зарубежных производителей шин на материалы Российской Федерации о выбросах твердых частиц от износа шин..…… 64

4.3. О выбросе ЧИШД и ПАУ (полициклических ароматических углеводородов…….. 69

4.4. Сопоставление ранних результатов Российских и зарубежных исследований и вновь представленных материалов Европейских производителей шин…….. 70

**Глава 5. Экспериментальные исследования дисперсности твердых частиц и объемов их выбросов, от автомобилей на различных режимах движения в городских условиях……. 76**

5.1. Аппаратура для проведения исследований и условия проведения экспериментальных исследований…… 78

5.2. Определение дисперсности и величин выбросов твердых частиц при различных режимах движения автомобиля на дорогах с различными покрытиями……. 84

5.3. Виды экспериментальных испытаний и их результаты…. 85

5.3.1. Определение фона распределения твердых частиц на поверхности дорожного полотна…….. 85

5.3.2. Определение выбросов твердых частиц при различных режимах движения автомобиля…… 87

6. Общие выводы…… 96

ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА…….. 99

# ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы диссертации:**

Развитие цивилизации в совершенствовании современных автотранспортных средств (АТС) для обеспечения жизнедеятельности человека сопровождается не только улучшающимися условиями передвижения населения, но и сопровождается весьма существенным загрязнением воздушной среды, особенно в крупных городах.

Существующий в настоящее время парк автотранспорта в крупных городах, не смотря на принимаемые в последние 50 лет требованиями Международных Правил ООН № 49 и 83, обеспечивших значительное, более чем в 40-60 раз снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами, остаётся под острой критикой конструкции двигателей.

Однако о запрете использования в городах Европы автомобилей с дизельными двигателями по причине повышенного выброса ими твёрдых частиц ТЧ в 2012 году выступили специалисты Всемирной организации здравоохранения, объяснив этим образование смога с 2010 года в городах Европы, США и других странах и с 2016 года смог отмечается и в городах Российской Федерации.

На основании выполненных в 2011-2013 гг. исследований в МАДИ и в НАМИ, был представлен Доклад Российской Федерации № 161-22 на сессию Всемирного форума по конструкции транспортных средств (WP-29) Комитета внутреннего транспорта Европейского Экономического Комитета ООН.

В докладе было показано, что резко ограничивая по международным нормативам Правил № 49 ООН от норм Евро-0 до Евро-6 выбросы твёрдых частиц (особенно взвешенных менее 10 микрометров), с отработавшими газами автомобилей с дизельными двигателями (почти в 36 раз), международные законодатели не обращают должного внимания на другие твердые частицы выбрасываемые, от износа тормозных систем, шин, и от износа асфальто-дорожного полотна. Эти твердые частицы не выхлопного происхождения на

текущий момент не нормируются, однако именно они в наибольшей степени сильно влияют на ухудшение здоровья городского населения.

На основании представленных материалов Российской Федерации, рассмотренных представителями разных стран в международной группе по загрязнению (GRPE), в 2013 г. была образована специальная международная группа по изучению выбросов твердых частиц.

Однако ряд зарубежных исследователей, включая Европейских производителей шин (ETRMA) ошибочно констатировали размеры твердых частиц в пределах от 4 до 350 мкм и, поэтому утверждали, что они оседают на поверхности дорожного полотна и не представляют опасности для здоровья человека. В тоже время ряд других зарубежных исследователей, обобщающих результаты около 30 исследований, проведенных в период с 1975 по 1995 годы констатируют, что выбросы твердых частиц от износа шин имеют в основном размеры от 0,05 до 1,5 микронометров.

**Степень разработанности темы исследований:**

Большой вклад в исследования и разработку мероприятий по снижению выбросов вредных веществ с ОГ автомобилей внесли как отечественные, так и зарубежные исследователи и ученые, в их числе: Баранников Д.А., Бахмутов С.В., Варшавский И.Л., Гусаров А.П., Гусев С.А., Девянин С.Н., Звонов В.А., Зленко М.А., Каменев В.Ф., Катанаев Н.Д., Кисуленко Б.В., Корнилов Г.С., Коровкин И.В., Козлов А.В., Кутенев В.Ф., Патрахальцев Н.Н., Сайкин А.М., Теренченко А.С., Трофименко Ю.В., Тер-Мкртичьян Г.Г., Фомин В.М., Шмелев Е.Н., Эйдинов А.А. и отдельно по частицам Азаров В.К. (2014 г.) и Чижова В.С. (2016 г.)

Решение проблемы борьбы с загрязнением воздушной среды городов невозможно без тщательных (конкретных) исследований процессов износа современных шин и дорожного полотна при движении автотранспортных средств.

Эта проблема анализа разных оценок величин выброса и дисперсности твердых частиц в зарубежных и российских исследованиях и является темой настоящей диссертационной работы, представляющей важное общественное и

международное значение для снижения онкологической заболеваемости городского населения.

**Целью работы** являются теоретические и экспериментальные исследования выбросов вредных веществ и твердых частиц менее 10 микрометров (мкм) на различных режимах движения автомобилей в городских условиях.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Провести анализ работ выполненных по исследованию выбросов вредных веществ и твердых частиц от различных узлов, агрегатов и систем автомобилей в условиях городского движения.
2. Разработать методы расчета для определения валовых выбросов вредных веществ и твердых частиц не выхлопного происхождения в сравнении с нормативными требованиями международных Правил ООН № 49 и 83.
3. Провести сравнительный анализ существующих и прогноз изменения в будущем валовых выбросов вредных веществ и твердых частиц выхлопного и не выхлопного происхождения на примере г. Москва в зависимости от роста парка автотранспорта.
4. Разработать методику экспериментальных исследований величин выбросов твердых частиц менее 10 микрометров и их дисперсности в условиях городского движения автомобилей в г. Москва.
5. Провести экспериментальные исследования реальных выбросов твердых частиц менее 10 микрометров не выхлопного происхождения при движении автомобилей в условиях г. Москва и подготовить доклад Российской Федерации для рассмотрения и обсуждения результатов проведенных исследований на Международной рабочей группе (GRPE) Всемирного форума (WP 29) по разработке требований к конструкции транспортных средств Комитета Внутреннего Транспорта (КВТ) Европейской Экономической Комиссии (ЕЭК) ООН.

**Научная новизна** настоящей диссертационной работы заключается:

- в разработке методов расчета определения валовых выбросов вредных веществ и твердых частиц, выбрасываемых автомобилем при его движении в

городских условиях с отработавшими газами, от износа тормозных систем и шин, а также и от износа дорожного полотна.

- в сравнительном анализе результатов оценки величин вредных веществ и твердых частиц, выбрасываемых в городскую воздушную среду при движении автомобиля с отработавшими газами, от износа тормозных систем, от износа шин и от износа дорожного полотна.

- в прогнозе до 2030 г. изменения выбросов вредных веществ и твердых частиц, загрязняющих атмосферный воздух г. Москва от износа тормозных систем, от износа шин, от износа дорожного полотна в сравнении с ужесточающимися нормативами Правил ООН № 49 и 83 на выбросы твердых частиц с отработавшими газами.

- в сравнительном анализе материалов, представленных Европейскими производителями шин (ERTMA) и материалами исследований, выполненных в Российской Федерации и рассматриваемых в Международной группе (GRPE) Всемирного форума КВТ ЕЭК ООН.

**Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы:**

- на основании материалов исследований Российской Федерации по сравнительному выбросу вредных веществ и твердых частиц, представленных для рассмотрения в Международной группе GRPE Всемирного форума КВТ ЕЭК ООН, была образована специальная группа в составе GRPE по изучению выбросов твердых частиц.

- теоретические исследования прогноза выбросов ТЧ выявили величину увеличивающегося выброса от износа дорожного полотна и от износа шин по сравнению с выбросами ТЧ с отработавшими газами, что предопределяет активизацию исследований, разработку и внедрение мероприятий по законодательному нормированию выбросов от дорожного полотна и от износа шин.

**Методология и методы диссертационного исследования:**

Используются теоретические и экспериментальные методы, основанные на использовании основных положений теории автомобилей и их эксплуатации, методы математического моделирования и вычислительной математики. Экспериментальные исследования проведены на различных дорогах г. Москва. Степень достоверности экспериментальных результатов обуславливается

использованием поверенных, тарированных и аттестованных комплексов измерительных приборов и оборудования.

**Положения, выносимые на защиту:**

- методики расчета для определения и анализа валовых выбросов вредных веществ и ТЧ от узлов, агрегатов и систем автомобилей;

- методика и оборудование для сравнительной объективной оценки выбросов твердых частиц непосредственно из зоны контакта шины с дорожным полотном при эксплуатации автомобилей в городских условиях на различных режимах движения;

- результаты сравнительных теоретических исследований валовых выбросов вредных веществ и твердых частиц в текущий период и прогноз изменения их выбросов в атмосферный воздух г. Москва от износа тормозных систем, от износа шин и от дорожного полотна, и с отработавшими газами.

- результаты экспериментальных исследований выбросов ТЧ менее 10 микрометров в зависимости от режимов движения автомобилей в городских условиях.

**Степень достоверности и апробации результатов:**

Проверка аналитических и экспериментальных результатов исследований выбросов твердых частиц от различных систем автотранспортных средств, представленных Российской Федерацией в международных рабочих группах по загрязнению (GRPE) и по торможению и ходовой части (GRRF) была оценена положительно, как новое направление исследований. Для проведения новых исследований была создана специальная международная группа по исследованию выбросов твёрдых частиц не выхлопного происхождения в составе группы GRPE Всемирного форума (WP-29) по разработке требований к конструкции транспортных средств ООН.

Основные положения и результаты диссертационной работы заслушаны и обсуждены:

- на 69 сессии Международной группы докладчиков по загрязнению и экономии энергии (GRPE) 5-6 июня 2014 г.

- на 84 сессии Международной группы докладчиков по торможению и ходовой части (GRRF) – 19-22 сентября 2017 г.

- на 105-й научно-практической конференции ААИ 05-06 декабря 2018 г.

- на 79-й сессии Международной группы докладчиков по загрязнению и экономии энергии (GRPE) – 21-24 мая 2019 г.

**Реализация работы.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований используются в ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» при подготовке материалов для Всемирного Форума КВТ ЕЭК ООН и разрабатываемых предложений в «Дорожную карту» по развитию производства шин в РФ на период до 2025 года.

**Публикации.**

По теме диссертации опубликовано 10 работ в научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикаций материалов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата технических наук.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав основного текста, общих выводов, и списка использованных источников.

Объём диссертационной работы изложен на 103 страницах машинописного текста, включающих 26 рисунков, 27 таблиц и список используемых источников из 39 наименований.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АТС –автомобильные транспортные средства

ДВС – двигатель внутреннего сгорания

ОГ – отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания

ВВ – вредные вещества

СО – оксид углерода

$NO_X$ – оксиды азота

СН – углеводороды

$SO_2$ – серный газ

$CO_2$ –двуокись углерода (диоксид серы)

$CH_4$ –метан

ТЧ – твердые частицы

$ТЧ_{10}$ –твердые частицы менее 10 микрометра

$ТЧ_{2,5}$ – твердые частицы диаметром менее 2,5 микрометров

ПАУ – полициклические ароматические углеводороды

ДЧ – дисперсные частицы

ПДК – предельно допустимая концентрация

$PM_{10}$ – взвешенные частицы (твердые частицы) размером менее 10 мкм

ВОЗ – всемирная организация здравохранения

ЕС – Евросоюз

$C_{20}H_{12}$ – бенз-(а)-пирен

Евро-1 – Евро-6 - нормативы выбросов ООН с ОГ от автомобилей

ПГ – парниковые газы

КЭУ – автомобили с комбинированными энергоустановками

ПЖЦ –полный жизненный цикл

ЭМ – электромобили

N-нитрозамины – вредные вещества

П – протектор

К – компоненты

ТС – транспортное средство

М – масса валовых выбросов вредных веществ

М ВВ дв – масса вредных веществ, выделяемых с ОГ двигателя

М ВВ шин – масса вредных веществ, выделяемых при износе протектора шин

М ВВ торм – – масса вредных веществ, выделяемых при износе тормозных механизмов

М ВВ дор - – масса вредных веществ, выделяемых при износе дорожного покрытия

M ВВ диз – масса валовых выбросов с ОГ грузовых автомобилей с дизельным двигателем

$H^{CO}_{q}$ – допустимый норматив выделения CO международными правилами ООН в г/км

$H^{CH}_{q}$ – допустимый норматив выделения CH международными правилами ООН в г/км

$H^{NOx}_{q}$ – допустимый норматив выделения $NO_x$ международными правилами ООН в г/км

$H^{PH}_{q}$ – допустимый норматив выделения ТЧ международными правилами ООН в г/км

0,73549875 – коэффициент перевода из кВт в л.с.

i – ОКВЧ (общее количество взвешенных частиц), $ТЧ_{10}$, $ТЧ_{2,5}$

GRPE - международная группа по загрязнению атмосферы и экономии энергии

WP-29 - всемирный форум по разработке требований к конструкции транспортных средств

КВТ ЕЭК - комитет по внутреннему транспорту Европейской экономической комиссии ООН

НРГ-IWG - неофициальная рабочая группа

ПИЧ - программа измерения твёрдых частиц

ЧИШД - Частицы, возникающих в результате Износа Шин и Дорожного покрытия

TIP - проект шинной промышленности

WBCSD - Всемирный бизнес-совет по устойчивому развитию

TNO - Организация прикладных научных исследований Нидерландов

МАИР - Международное агентство по изучению рака

ETRMA – Европейская ассоциация производителей шин и резиновых изделий

COM – объединенный исследовательский центр

мкм - микрометры

# Глава 1.

## Обзор и анализ современного состояния исследований и работ по снижению выбросов вредных веществ и твёрдых частиц, загрязняющих атмосферу воздушной среды крупных городов при эксплуатации автотранспортных средств.

### 1.1. Анализ работ по снижению загрязнения воздушной среды крупных городов отработавшими газами при эксплуатации автотранспорта.

Автомобильные транспортные средства (АТС) с двигателями внутреннего сгорания в прошлом столетии являлись основным источником выделения различных отработавших газов и химических соединений, прямо или косвенно ухудшающих экологическое состояние окружающей среды в городах и мегаполисах. Следует обратить особое внимание на наиболее опасные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ): бенз-α-пирен и другие ПАУ, обладающие канцерогенной активностью. ПАУ, постепенно накапливаясь в организме человека до критических концентраций, стимулируют образование злокачественных опухолей [1,2].

Твёрдые частицы (ТЧ) образуются в результате некачественного процесса сгорания топлива и различных аэрозолей масла, а также продуктов износа подвижных частей двигателя и автомобиля. Твердые частицы, размер которых от 0,2 до 5,0 мкм, задерживаются в легких, вызывая негативные изменения в органах дыхания [1,2,3].

С середины прошлого столетия началось введение нормативов на выброс вредных веществ (ВВ) с отработавшими газами (ОГ) автомобилей сначала в США (1963 г.), затем в Европе (1968г.) и стали развиваться интенсивные исследования по уменьшению их выбросов [1,2,4,5,6,7,8].

До 1992 года нормирование выброса твердых частиц являлось измерение дымности отработавших газов дизельных двигателей по международным

правилам Организации Объединенных Наций (ООН) № 24. В 1992 году в правилах ООН № 49 были введены нормативные требования на определение выброса твердых частиц дизельных автомобилей и с 2009 года в правилах ООН № 83 от бензиновых двигателей [1,2,4,6,7,8].

Современный уровень экологических характеристик по выбросу вредных веществ с отработавшими газами (ОГ) автотранспортных средств определяется международными Правилами ООН №83 и №49 и Техническим регламентом РФ, а также национальными требованиями других стран [6,7,8].

На рисунке 1.1. приведено состояние по времени применения международных нормативов ООН в различных странах для транспортных средств массой до 3,5 тонн [5].

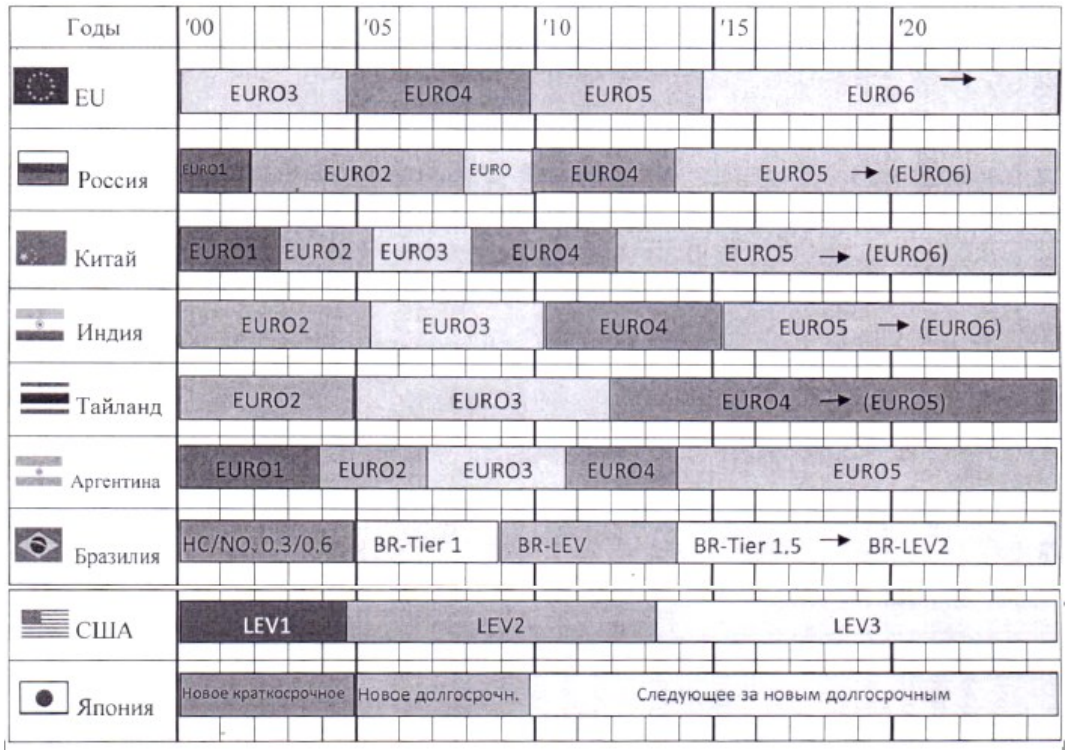



Рис. 1.1. - Законодательные требования по выбросам ВВ в атмосферу в различных странах.

Нормы на выброс вредных веществ с ОГ легковыми автомобилями и легкогрузовыми массой до3,5 тонн, а более 3,5 тонн по Правилам № 83 и 49 ООН приведены в таблицах 1.1. и 1.2. соответственно.

Таблица 1.1.

| Нормы | Год введения | | Допустимая норма, г/км | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Европа | Россия | CO | CH | $NO_X$ | ТЧ |
| Евро-0 | | | 14,5 | 4,75 | | |
| Евро-1 | 1992 | 2002 | 2,72 | 0,97 | | |
| Евро-2 | 1996 | 2006 | 2,2 | 0,5 | | |
| Евро-3 | 2000 | 2008 | 2,3 | 0,2 | 0,15 | |
| Евро-4 | 2005 | 2013 | 1,0 | 0,1 | 0,08 | |
| Евро-5 | 2009 | 2016 | 1,0 | 0,1 | 0,06 | 0,005 |
| Евро-6 | 2014 | 2018 | 0,50 | 0,1 | 0,06 | 0,005 |

Таблица 1.2

| Нормы | Год введения | | Допустимая норма, г/кВт ч | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Европа | Россия | CO | CH | $NO_x$ | PM |
| Евро-1 | 1993 | | 4.5 | 1.1 | 8 | 0.36 |
| Евро-2 | 1996 | 2006 | 4.0 | 1.1 | 7 | 0.15 |
| Евро-3 | 2000 | 2008 | 2.1 | 0.66 | 5 | 0.1 |
| Евро-4 | 2005 | 2010 | 1.5 | 0.46 | 3.5 | 0.02 |
| Евро-5 | 2008 | 2014 | 1.5 | 0.46 | 2.0 | 0.02 |
| Евро-6 | 2013 | 2018 | 1,5 | 0,13 | 0,4 | 0,01 |

Выполненный комплекс проведенных работ в период с 1990 года по настоящее время по снижению выбросов (ВВ) обеспечил значительные успехи, достигнутые по выбросу от легковых автомобилей и имеющиеся еще серьезные проблемы по дальнейшему снижению выброса ВВ автобусами и грузовыми автомобилями по критерию предотвращенного экологического ущерба в денежном выражении [9].

В работе [9] было показано, что предотвращенный ущерб за весь срок эксплуатации одного легкового автомобиля при переходе с нормативов Евро - 0 на Евро - 6 составил ~ (231965-7670) = 224295 рублей, т.е. уменьшен в 30 раз!

Для грузовых автомобилей при переходе с норм Евро - 0 на Евро - 6, величина предотвращенного экологического (экономического) ущерба

составляла (3162000 - 108000) = 3054000 рублей. Степень снижения также составила в 29 раз.

Итак, в настоящее время, еще не решенными проблемами по дальнейшему снижению выбросов ВВ автомобильным транспортом, работающим в городах и крупных населенных пунктах, является дальнейшее снижение выбросов ВВ, включая в первую очередь твердые частицы менее 10 микрометра ($ТЧ_{10}$).

## 1.2. Анализ состояния изучения реальных выбросов твердых частиц от износа тормозных накладок и шин при эксплуатации автотранспорта в городских условиях.

В 2013 году Российская Федерация на 161 сессии Всемирного форума обратила внимание на то обстоятельство, что резко ограничивая международными правилами ООН № 49, выбросы твердых частиц (ТЧ) с ОГ для дизельных автомобилей, почти в 30 раз с 1992 года, не обращается внимания международными и национальными санитарными законодателями на выбросы твердых частиц другими системами автомобилей при их эксплуатации от износа прежде всего шин и тормозных систем [6,7,8, 9, 10, 11].

В работах [3,9] расчетным путем по заявленным изготовителям шин и тормозных накладок гарантированному пробегу были определены величины выброса ТЧ.

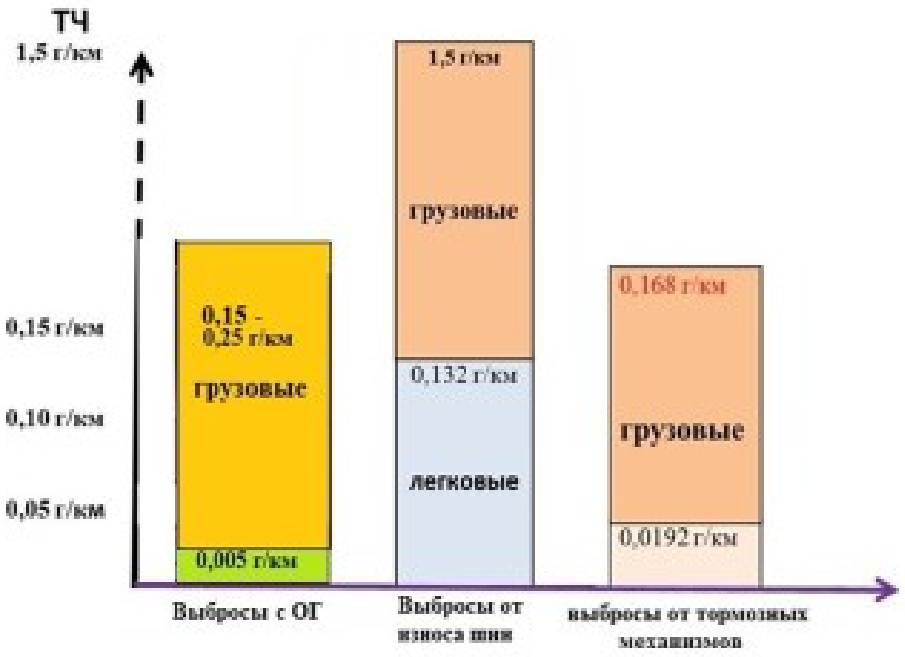



Рис. 1.2. Реальный выброс ТЧ с ОГ и при износе шин и тормозных накладок при эксплуатации легковых, грузовых автомобилей и автобусов, в г/км.

Следует отметить особые успехи производителей шин, которые в течении последних 30-40 лет вели интенсивные работы по увеличению ходимости шин и добились серьезных результатов: увеличили в среднем пробег шин почти в 2 раза с 30-40 тыс км до 60-90 тыс.км.

В настоящее время конкурентная борьба по увеличению пробега продолжается и это наглядно видно из рекламных материалов мировых производителей шин.

Свои успехи по увеличению ходимости шин за счет изменения конструкции шины (брекера, каркаса, плечевых зон, рисунка протектора и состава различных смесей) констатирует фирма «Бриджстоун» [12]. И поясняется далее: «Плоский профиль протектора способствует формированию большого по размеру пятна контакта и более равномерному распределению давления в нем, за счет чего улучшается сцепление на сухой дороге и снижается риск возникновения неравномерного износа. Плечевые зоны переходят в боковины почти под прямым углом, такое конструктивное решение позволило увеличить стойкость к динамическим деформациям, возникающим во время

движения, что в свою очередь так же защищает шину от неравномерного износа и увеличивает ее ходимость, новая чувствительная смесь резинового состава созданы и применены для надежного сцепления шины с дорогой. В дополнение к этому, новый контур шины в сочетании с использованием кремниесодержащего состава резины сделал возможным дальнейшее улучшение ходимости».

Выпустила на рынок революционную по своей технологии «зеленую» шину другая Компания «MICHELIN», одним из компонентов резиновой смеси которой стал кремний, способствующий снижению расхода топлива автомобилем в связи с низким сопротивлением качению [13].

Современные производители шин связывают более высокую ходимость шин со сниженным воздействием на окружающую среду за счет снижения расхода топлива на 2 - 4 %, т.е. уменьшения выбросов вредных веществ и парниковых газов - $C0_2$ с отработавшими газами двигателей.

Таким образом, повышенная ходимость шин объясняется и обеспечивается снижением коэффициента сопротивления качению - $C_г$.

На рисунке 1.3. приведены характеристики коэффициентов сопротивления качению шин (Н/кН) с нормативами Правил №117 ООН и маркировкой по нормам 1222/2009 Евросоюза [13,14].

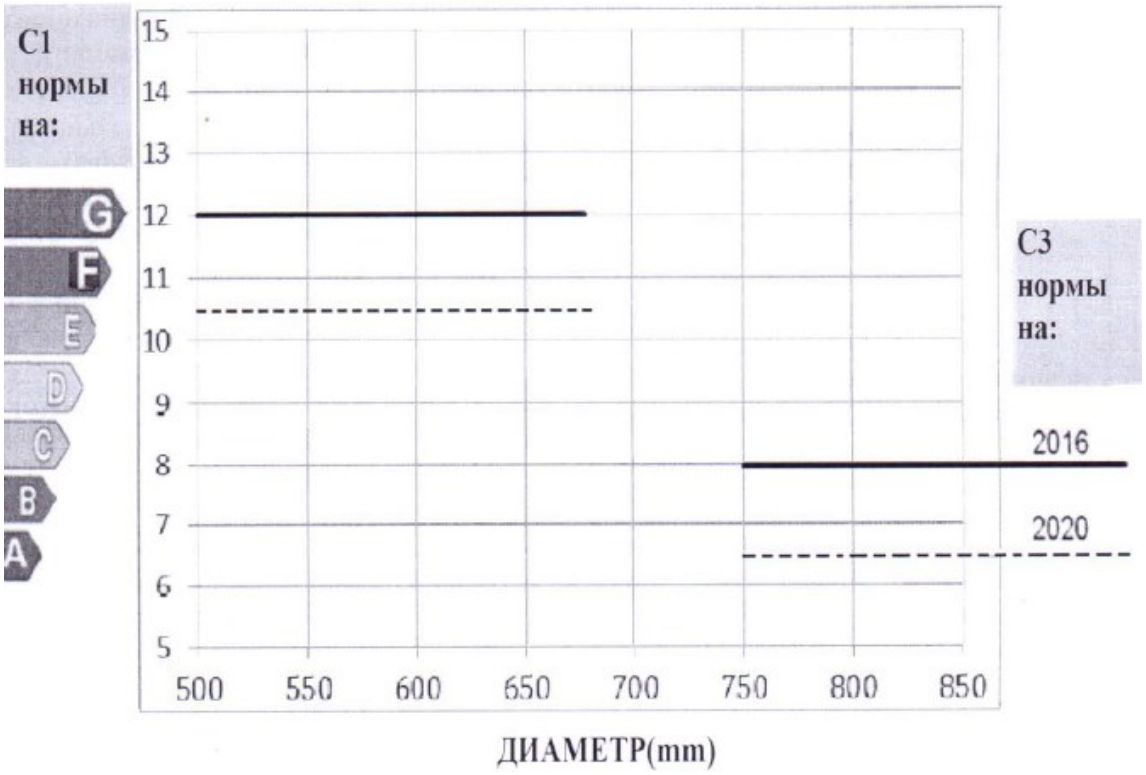



Рис. 1.3. Коэффициенты сопротивления качению шин (Н/кН). Нормы ЕЭК ООН (сплошная линия 2012 г. и пунктир 2020 г.), A, B, C ... G - градации $C_r$ по нормам ЕС 1222/2009.

Современная шина изготовлена из сложной комбинации каучуков, хотя точный состав материала шин обычно не оглашается на рынке в целях сохранения коммерческой тайны, каждого производителя.

В работе [16] приводится следующий состав легковых шин: бутадиенстирольный каучук (БСК) – 75%, натуральный каучук – 15% и полибутадиен – 10%.

В работе [18], выполненной в 2014-2016 гг., выявлены зависимости износа различных типов шин на легковых автомобилях (рис. 1.4).

Рисунок 1.4. Зависимость выбросов дисперсных частиц от типа шин ТС

В этой работе, выполненной в период 2010-2013 гг. сделаны следующие выводы.

1. Проведена оценка максимально-разовых концентраций ДЧ10 в приземном слое атмосферного воздуха на дорогах города Москвы. На 17 из 23 автомагистралей может ожидаться концентрация частиц выше ПДК максимально/разовые. Концентрация ДЧ10, которая соответствуют утвержденным гигиеническим нормативам в РФ, наблюдаются в приземном слое атмосферного воздуха на расстоянии 300 м от проезжей части автомагистрали.

2. По полученным результатам определен основной источник образования твёрдых взвешенных частиц от автотранспортного комплекса в крупном городе:

а) выбросы с отработавшими газами дизельных двигателей (выброс частиц составил 77%);

б) выброс взвешенных частиц от износа дорожного покрытия составил 22%;

в) выброс частиц от износа шин различных ТС парка г. Москвы составил 1%.

В дополнение следует обратить внимание на рисунок 1.5, в котором представлена информация по видам износа шин, частоте их возникновения, приведенная в научно-исследовательском отчёте ОАО «НИИАТ» [19].

Виды износа шин и частота их проявления в эксплуатации в %.

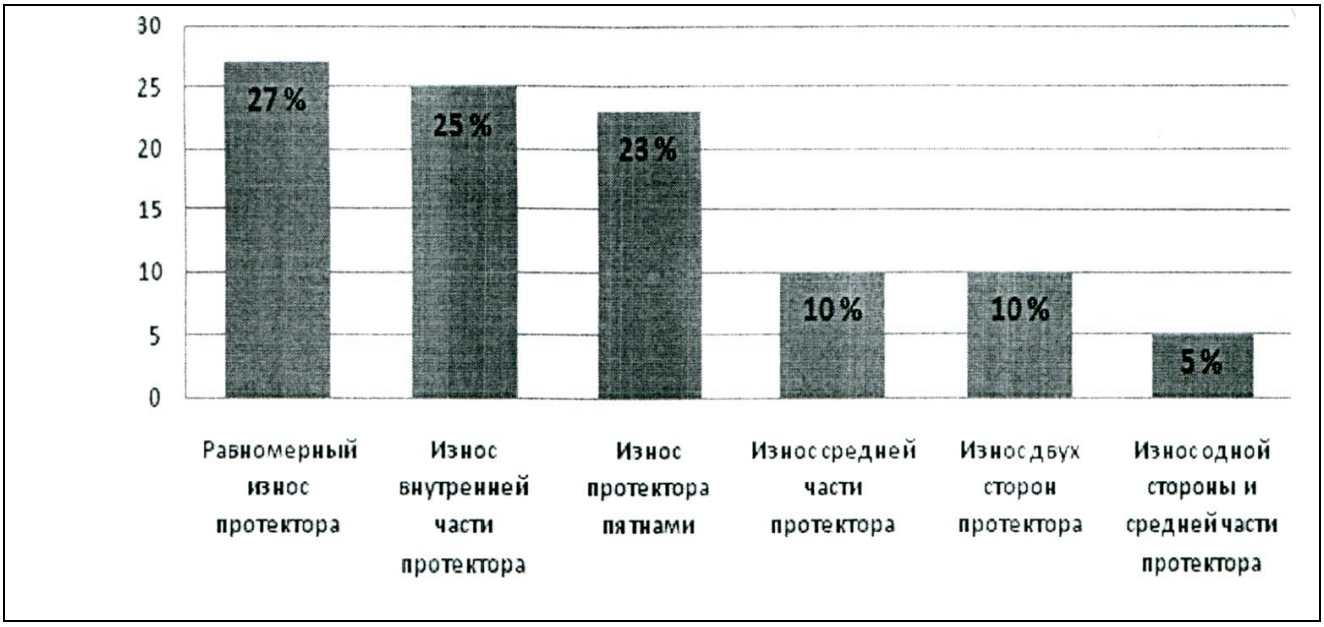



Рис.1.5. Виды износа шин и частота их проявления в эксплуатации

Таким образом не менее эффективным методом по снижению выбросов ТЧ от износа шин, является повышение уровня эксплуатации транспортных средств.

## 1.3. О нерешенных проблемах с выбросом твердых частиц от износа дорожного покрытия при эксплуатации автомобильного транспорта.

Износ дорожного покрытия в контакте с шиной является сложным процессом. На практике износ дорожного покрытия чаще всего определяют опытным путем.

В таблице 1.3. представлены средние данные по абразивному износу асфальтобетонного покрытия дорог различных категорий резиновыми колесами без шипов, полученные расчетом [20].

Фактический износ покрытий, как отмечено выше устанавливается периодическими инструментальными замерами, который на практике находится на уровне значений, представленных в таблице 1.3. [21,22,23].

Таблица 1.3.

| Категория дороги | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| Нормативная суточная интенсивность движения автотранспорта, шт.авто/сут. | ≥7000 (принято 7000-10000) | 3000-7000 (ср.5000) | 1000-3000 (ср.2000) | 100-1000 (ср.550) |
| Расчетная величина износа толщины слоя покрытия за год, мм/год | 3,5÷4,5≈ ср.4,0 | 2,5 | 1,5 | ≤1,0 |

Изменение выбросов дисперсных частиц $ТЧ_{10}$ от типа дорожного полотна представлено на рис. 1.6. [18].

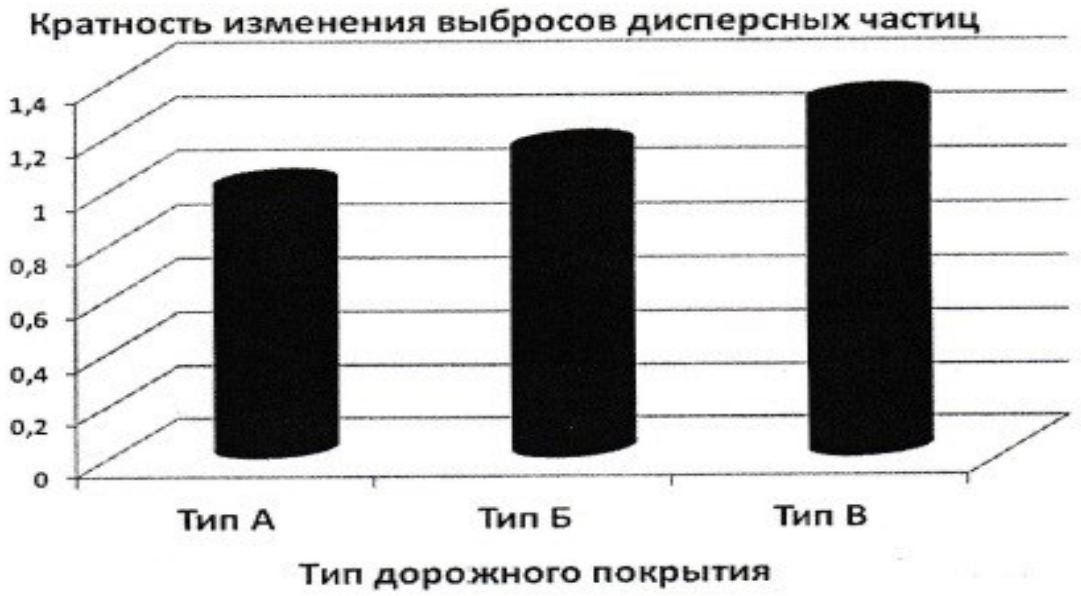



Рис. 1.6. Зависимость выбросов дисперсных частиц от типа дорожного покрытия

Тип А - характеризуется содержанием щебня в асфальтобетоне > 50 %

Тип Б - характеризуется содержанием щебня в асфальтобетоне 40-50%

Тип В - характеризуется содержанием щебня в асфальтобетоне < 40 %.

Представленные материалы в работе [18] убедительно доказывают, что приводимые ранее результаты величин выбросов твердых частиц от износа шин и дорожного полотна в работах отечественных [2,9,11, 15,21,22] и зарубежных исследований [16] в реальной эксплуатации на российских дорогах значительно их превышают, из-за отсутствия должного внимания к качеству сервисной подготовки автомобиля к выезду и к качеству и состоянию дорожного полотна.

Следует учесть ещё одну работу, в которой физические исследования размеров и форм частиц износа шин и дорожного полотна выполнялись «посредством сканирующей электронной микроскопии (SEM), в которой представлено исследование «физических и химических характеристик частиц, собранных на дороге, так и полученных в лаборатории, частицы имели вытянутую форму, типичную для частиц от износа шин, в то время как частицы, собранные на дороге, были в среднем мельче» [24].

Далее в этой работе анализируются практически все работы, которые обобщенно представлены в работе [16] и приводится выдержка «о широком распределении по размерам в диапазоне от 5 мкм до более, чем 300 мкм (Cadle и Williame, 1978 г., Damnis, 1974 г.), т.е. ранние исследования, которые также отражены в работе [16].

Далее авторы статьи [24] ссылаются на то, что «в нескольких исследованиях была проведена оценка способности переносимых по воздуху частиц шин, вдыхаемых человеком, вызывать токсическое поражение легких, что представляет риск для здоровья человека (Guaitieri et al.2008, Mantecca. 2009)».

Далее констатируется, что «До настоящего времени частицы, образующиеся от износа шин, не могли быть эффективно собраны в характерных условиях вождения (как на дороге, так и в лабораториях).

Особо следует отметить весьма интересные и важные данные в проведенных исследованиях химических результатов анализа частиц на содержание в них полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), среди

которых есть и канцерогенные вещества, вызывающие заболевание раком (Таблица 1.4).

Таблица 1.4

Анализ содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в частицах.

| Химическое вещество | Дорожные частицы (RP) | Частицы от износа шин (TWP) | Частицы протекторов (TP) |
|---|---|---|---|
| Аценафтен | 4,08 | 0,04 | 0,13 |
| Нафталин | 6,1 | 0,2 | 1,18 |
| Фенантрен | 53,4 | 1,66 | 1,21 |
| Пирен | 54,84 | 4,77 | 0,06 |
| Аценафтилен | 0,14 | 0,15 | 1,24 |
| Антрацен | 7,36 | 0,1 | 0,11 |
| Бензоантрацен | 38,65 | 0,18 | 2,87 |
| Бенз(а)пирен | 12,51 | 0,28 | N.D. |
| Бензо(b)флуорантен | 7,4 | 0,37 | 0,92 |
| Бензо(g,h,i)перилен | 4,04 | 3,22 | 1,77 |
| Бензо(к)флуорантен | 7,4 | 0,02 | 0,92 |
| Хризен | 17,72 | 0,36 | 2,95 |
| Дибензо(a,h)антрацен | 2,56 | 0,1 | 0,87 |
| Флуорантен | 82,13 | 0,98 | 1,62 |
| Флуорен | 1,76 | 0,07 | 0,25 |
| Индено-1,2,3(c,d) пирен | 5,36 | 0,21 | N.D. |

Значения выражены в частях на миллион (ppm) в смеси частиц. Итоговое значение ПАУ представляет собой сумму отдельных ПАУ, которые были проанализированы. Данный список не является исчерпывающим перечнем ПАУ, но представляет ПАУ, наиболее часто встречающиеся в окружающей среде, и

включает ПАУ, которые Международное агенство по изучению рака (IARC) считает канцерогенными, способных вызывать раковые заболевания у человека.

## 1.4. Цели и задачи диссертационного исследования.

Выше изложенные проблемные вопросы и являются программой работ по решению следующих задач настоящего диссертационного исследования:

1. Для объективной оценки предложения ВОЗ об ограничении эксплуатации автомобилей с дизельными двигателями в городах Европы осуществить сравнительный анализ величин выброса особо опасных твёрдых частиц $ТЧ_{10}$ с отработавшими газами, от износа шин и от износа дорожного полотна.

2. Исследовать влияние различных режимов работы АТС на величину выбросов ТЧ от износа шин и дорожного полотна.

3. Для проведения объективных исследований разработать методику испытаний автомобильных транспортных средств по измерению величин выбросов $ТЧ_{10}$ от износа шин и дорожного полотна с определением:

а) по методу и месту отбора проб $ТЧ_{10}$ от шин и дорожного полотна;

б) по процедуре отбора проб на дорогах в условиях городского движения;

в) по выбору места отбора проб на автомобиле по типу привода и по типу протектора шин;

4. По результатам исследований разработать рекомендации и предложить методы по снижению выбросов ТЧ от износа шин и дорожного полотна в атмосферу крупных городов с учетом Российских климатических условий.

5. На основании проведенных сравнительных исследований выбросов $ТЧ_{10}$ подготовить и представить новый доклад от Российской Федерации международную рабочую группу по загрязнению и экономии энергии (GRPE) Всемирного форума WP-29 КВТ ЕЭК ООН.

# Глава 2.

## Теоретический анализ и определение расчетных методов для сравнительной оценки величин выбросов твердых частиц при эксплуатации автотранспорта в городских условиях.

### 2.1. Основные источники и методы определения суммарных выбросов вредных веществ и твердых частиц

При определении величин общих выбросов вредных веществ и твердых частиц были использованы результаты материалов, приведенных в Главе 1 по результатам отечественных и зарубежных исследований загрязнения атмосферы городов при эксплуатации автомобильного транспорта.

Проблемы с загрязнением воздушной среды городов выбросами вредных веществ (ВВ) от автомобильного транспорта предопределяют необходимость проведения исследований экологической безопасности конструкции автомобиля, с определением объёмов вредных выбросов от каждого источника выбросов с целью осуществления сравнительной оценки их экологического вреда.

На основании анализа расчетных и экспериментальных исследований, приведенных в Главе 1, выявлены главные проблемные вопросы, зависящие от основных источников выделения вредных веществ в воздушную среду городов от эксплуатации автомобилей и связанные с комплексной оценкой экологической опасности автомобилей, которые представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

| Виды экологической опасности при эксплуатации автомобилей | | | |
|---|---|---|---|
| Выброс ВВ с отработавшими газами | Выброс ВВ от износа шин | Выброс ВВ от износа тормозных механизмов | Выброс ВВ от износа дорожного полотна |

Остальные источники выделения ВВ от изнашиваемых деталей, узлов и расходных жидкостей автомобиля не имеют такого влияния на воздушную среду как вышеприведенные.

Общее количество валовых выбросов (М ВВ) вредных веществ, выделяемых различными источниками при эксплуатации автомобилей можно определить расчётным методом по формуле 2.1.

М ВВ = Σ(ВВ дв + ВВ шин +ВВ торм + ВВ дор), (кг), где: (2.1)

ВВ дв – масса вредных веществ, выделяемых с ОГ двигателя;

ВВ шин – масса вредных веществ, выделяемых при износе протектора шин;

ВВ торм - масса вредных веществ, выделяемых при износе тормозных механизмов;

ВВ дор – масса вредных веществ, выделяемых при износе дорожного покрытия.

## 2.2. Определение валовых выбросов вредных веществ и твердых частиц с отработавшими газами различных автомобилей

Ограничение выбросов вредных веществ с ОГ легковых автомобилей производилось поэтапно с 80-х годов прошлого века нормативными ограничениями международных правил ООН № 15 и в настоящий период времени Правилами ООН №83 приведенными в таблице 1.1 (Глава 1)[6].

Расчет массы вредных веществ М ВВдв, выделяемых с ОГ легковых автомобилей целесообразно вести по нормам, принятым в Правилах ООН №83 используемым при разработке новых автомобилей и производстве действующих моделей по формуле (2.2).

М ВВ дв = Пл х $\left(H_q^{CO} + H_q^{CH} + H_q^{NO_x} + H_q^{PH}\right)$, кг, где (2.2)

М ВВ – масса вредных веществ, выделяемых двигателем с ОГ;

Пл – средний пробег легковых автомобилей за год (принимаем как среднестатистический) = 30000 км;

$H_q$– допустимый норматив выделения ВВ (CO, CH, NOx и ТЧ) международными правилами ООН в г/км.

Для проведения анализа выбросов ВВ с ОГ грузовыми автомобилями с дизельными двигателями используем нормативы, подписываемые действующими Правилами ООН №49, приведенными в Главе 1 в таблице 1.2[7].

Расчет валовых выбросов М ВВ диз с ОГ грузовых автомобилей с дизельным двигателем проведем по формуле (2.3).

М ВВ диз = 0,73549875 х 200 х Нг х 300 х 8, (кг), где (2.3)

М ВВ диз – масса валовых выбросов с ОГ грузовых автомобилей с дизельным двигателем;

0,73549875 – коэффициент перевода из кВт в л.с.;

200 – принятая мощность дизельного двигателя в л.с. при движении усредненного грузового автомобиля массой 15 т со скоростью 60 км/час;

Нг – допустимая норма выбросов ВВ в г/квт.ч;

300 – количество рабочих дней в году;

8 – количество рабочих часов в день.

## 2.3. Определение валовых выбросов вредных веществ в атмосферу городской среды при износе шин

«Износ протектора шины является комплексным физиохимическим процессом, который обусловлен энергией трения, образующейся на границе контакта между протектором и дорожным полотном. Таким образом, частицы износа шин и дорожного покрытия неразделимо связаны друг с другом. Тем не менее, в нашем исследовании при определении выбросов износ покрышек и дорожного покрытия должны определяться в качестве двух отдельных источников выбросов частиц» [15]. Причиной этого является недостаточное количество экспериментальных данных (зарубежных и отечественных) по вредным выбросам, особенно твердых частиц, для различных сочетаний «тип шины – тип дорожного покрытия».

«Взвешенные в воздухе твердые частицы образуются в результате взаимодействия между шинами транспортных средств и дорожного покрытия,

особенно в момент интенсивности резкого разгона с места, а также в момент применения экстренного торможения для снижения скорости транспортного средства. В обоих случаях основным механизмом образования частиц служат срезающие усилия, возникающие во время относительного перемещения этих исследуемых поверхностей. Дополнительным условием выделения ВВ является испарение материала с поверхности при высоких температурах поверхностей, являющихся следствием контакта шины с дорожным покрытием и тормозной колодки с диском или барабаном тормозного механизма» [13,15].

Следует учитывать то обстоятельство, что «выбросы от износа шин и дорожного полотна в период 80-90 годов прошлого столетия не привлекали к себе внимание как дымящие отработавшие газы автомобилей, они долгое время оставались в тени, поэтому в экологической и технической литературе было недостаточно информации по этому вопросу. Хотя уже ряд исследований показывал, что твердые частицы не выхлопного происхождения в первую очередь от износа шин и дорожного полотна негативно влияют на здоровье людей, приводя даже к заболеванию раком дыхательной системы» [3].

Для определения валовых выбросов вредных веществ от износа шин по мнению зарубежных исследователей [16], можно использовать уравнение [2.4].

$$\text{М ВВ} = K_j \times \text{П}_j \times m_{i.j}, \text{ кг,} \quad \text{где} \qquad (2.4)$$

М ВВ – масса вредных веществ, «выделяемых автомобилем за определенный период времени и для определенной территории, кг» [13,15];

$К_j$ – количество транспортных средств в категории *j* в пределах определенной территории;

$П_j$ – усредненный пробег транспортного средства в категории *j* за определенный период времени, км;

$m_{i.j}$ – массовый коэффициент выбросов загрязняющего вещества *i* и категории транспортных средств *j* , гр/км;

*i* - ОКВЧ (общее количество взвешенных частиц), $ТЧ_{10}$ (твердые частицы диаметром 10 микрометра), $ТЧ_{2,5}$ (твердые частицы диаметром 2,5 микрометра);

j – категория транспортных средств (двухколесное транспортное средство, легковой автомобиль, транспортное средство малой или большой грузоподъемности, автобусе или троллейбус).

«Это уравнение может использоваться для оценки вредных выбросов с учетом определенного пространственного и временного периода посредством выбора соответствующих значений для размера автопарка и осуществляемой деятельности (пробег автомобиля)» [13,15].

Коэффициенты выбросов приводятся исключительно в виде функции категории транспортных средств, связанных с дорожным движением.

Определим коэффициенты, входящие в формулу 2.4.

$K_j$ – количество транспортных средств в категории *j* в пределах определенной территории. В качестве примера определим с учетом развития городской инфраструктуры по планам развития г.Москвы.

$K_j$ = Кл + Кг+ Кав + Ктр штук, где (2.5)

Кл – количество легковых автомобилей;

Кг - количество грузовых автомобилей;

Кав - количество автобусов;

Ктр - количество троллейбусов.

По данным исследований, выполненных в МАДИ [25] состав автомобильного парка г. Москвы по годам и их прогноз увеличения представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2

| Автомобили | Года | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2002 | 2014 | 2020 | 2030 |
| Кл, тыс.шт. | 1495,1 | 3773,2 | 4603,0 | 5762,0 |
| Кг, тыс.шт. | 224,6 | 346,7 | 391,2 | 453,1 |
| Кав,тыс.шт. | 5,0 | 48,9 | 58,4 | 78,6 |
| Ктр,тыс.шт. | 1,5 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |

Пробеги автомобилей зависят от состояния инфраструктуры города и практически их можно считать постоянными, поэтому в расчетах принимаем средние пробеги по 2014-2015 году.

Значения усредненных годовых пробегов автомобилей приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

| Автомобили | Усредненный годовой пробег автомобиля, км |
|---|---|
| Легковые | 30 000 |
| грузовые | 70 000 |
| автобусы | 70 000 |
| троллейбусы | 70 000 |

Формулу (2.4) преобразуем в удобный вид для оценки общих валовых выбросов (ВВ) от износа шин.

$$M\ ВВш = Kавт \times Пш\ год \times Иш\ год, т/год, где \qquad (2.6)$$

M ВВш – масса вредных веществ, выделяемых при износе протектора шин, т/год;

Kавт – количество автомобилей: легковых, грузовых, автобусов и троллейбусов;

Пш год – пробег шин за год, км;

Иш год – интенсивность износа шин за год, г/км;

Для шин коэффициент интенсивности износа рассчитывается по формуле 2.7.

$$И_ш = \frac{Н_{пр} - Н_{доп}}{П_ш}, \quad где \qquad (2.7)$$

Иш – интенсивность износа шин, мм/км;

Нпр – высота рисунка протектора шины, мм;

Ндоп – допустимая остаточная высота рисунка протектора шины, мм;

Пш – пробег шины до снятия с эксплуатации по износу, км.

## 2.4. Определение валовых выбросов вредных веществ при износе тормозных механизмов.

В настоящее время используются две основные конфигурации тормозной системы: дисковые тормозные механизмы и колодочные тормозные механизмы.

Дисковые тормоза, в основном, используются в малогабаритных транспортных средствах (легковых автомобилях и мотоциклах) и на передних колесах автомобилей 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.

Для определения общих вредных выбросов от износа тормозных механизмов, используем формулу (2.4), поэтому преобразуем ее в следующий вид:

$$М\ ВВ\ торм = Кавт \times П \times И_{тм}\ , т/год\ , где \qquad (2.8)$$

М ВВ торм – масса вредных веществ, выделяемых при износе тормозных механизмов, т/год;

Кавт – количество автомобилей: легковых, грузовых, автобусов и троллейбусов;

П – среднегодовой пробег автомобилей: легкового – 30000 км/год, грузового, автобусов и троллейбусов – 70000 км/год;

Итм – интенсивность износа тормозных механизмов автомобилей, г/км.

Дисковые тормоза.

Интенсивность износа тормозной накладки дискового тормоза ($И_{дн}$):

$$И_{дн} = \frac{S \times (Т_н - Т_{пд}) \times пн}{L_{тк}}, г/км\ , где \qquad (2.9)$$

S – площадь контакта тормозной накладки с диском, $см^2$;

Тн – начальная толщина тормозных колодок, см;

Тпд – минимально допустимая толщина тормозных колодок, см;

пн - плотность безасбестовых фрикционных накладок по ГОСТ 1786-95 – 2,0 г/см$^3$;

Lтк - пробег тормозной колодки, км

Интенсивность износа тормозного диска (Итд):

$$И_{тд} = \frac{\pi \times (Д_{н2} - Д_{вн2}) \times (Т_{тд} - Т_{тд}min) \times пд}{4 \times П_{тд}}, \text{ г/км, где} \quad (2.10)$$

Дн - Диаметр тормозного диска, см;

Двн – Внутренний диаметр контакта диска с колодкой, см;

Ттд - Толщина тормозного диска, см;

Ттд min - Предельная допустимая толщина тормозного диска, см;

пд – плотность тормозного диска и барабана из серого чугуна – 7,2 г/см$^3$;

Птд - Пробег тормозного диска, км.

Барабанные тормоза.

Интенсивность износа тормозной колодки барабанного тормоза (Ибк):

$$И_{бк} = \frac{Ш_к \times Д_к \times (Т_{бк} - Т_{бк}min) \times пн}{П_{бк}}, \text{ г/км, где} \quad (2.11)$$

Шк - Ширина накладки тормозной колодки, см;

Дк - Длина накладки тормозной колодки, см;

Тбк – Номинальная толщина накладки тормозной колодки, см;

Тбк min - Минимальная допустимая толщина накладки тормозной колодки, см;

пн - плотность безасбестовых фрикционных накладок по ГОСТ 1786-95 – 2,0 г/см$^3$;

Пбк - Пробег тормозной колодки барабанного тормоза, км.

Интенсивность износа барабана (Иб):

$$И_б = \frac{\pi \times Д_{бв} \times Ш_к \times (Д_{бв}max - Д_{бв}) \times пд}{П_б}, \text{ г/км, где} \quad (2.12)$$

Дбв - Внутренний диаметр барабана, номинальный (Дбв), мм;

Шк - Ширина накладки тормозной колодки, см;

Дбв max - Внутренний диаметр барабана, предельно допустимый, см;

пд – плотность тормозного диска и барабана из серого чугуна – 7,2 г/см$^3$;

Пб - пробег тормозного барабана, км.

## 2.5. Определение массы валовых выбросов вредных веществ при износе дорожного покрытия.

Городские дороги подразделяются на магистральные улицы и дороги общегородского значения.

При расчете вредных выбросов ТЧ от дорожного полотна принимается следующее.

Износ дорожного полотна определяется пропускной способностью полосы движения, количеством полос движения, методом организации движения транспорта, составом парка и интенсивностью уличного движения, и состоянием дорожного покрытия.

Под пропускной способностью улиц и дорог с регулированием движения принимается максимальное количество транспортных средств, проходящих через линию «стоп» в течение определенного времени при соблюдении условий безопасности движения.

Общая протяженность всех дорог г. Москва составляла в 2014 году 4470 км, из них магистральные дороги составляют 1367 км и дороги общегородского значения 3103 км [25,26].

При расчете износа дорожного покрытия дорог необходимо учесть, что реконструкция дорог и улучшение организации движения автомобильного транспорта обеспечивает увеличение интенсивности движения автотранспорта на 10-15% за десятилетие. Эти цифры заложены в плане первоочередных мер по решению транспортных проблем московского узла под названием «Город удобный для жизни». Он предполагает, в частности, введение интеллектуальной транспортной системы, в том числе оснащение общественного транспорта системой ГЛОНАСС и появление на дорогах табло с информацией о пробках, строительство современных паркингов, вместо, привычной для московских автомобилистов стихийной парковки, а также развитие общественного

транспорта, выделение для автобусов и троллейбусов специальных полос на всех магистралях.

Формулу (2.4) преобразуем в удобный вид для оценки вредных выбросов от износа дорожного покрытия

М ВВ дор = Ид х Д х Иид х пдп, т/год, где (2.13)

М ВВ дор – масса вредных веществ, выделяемых при износе дорожного покрытия, т/год;

Ид – интенсивность движения автотранспорта, авто/сут;

Д – количество дней использования дороги в году;

Иид – интенсивность износа дорожного покрытия автомобилем, г/км;

пдп- плотность дорожного покрытия – 2100 кг/м$^3$

Масса изношенного дорожного покрытия (Мдп) одного километра магистральной дороги может быть определена по формуле 2.14.

Мдп = Ш х Д х Н х Пдп, г/км, где (2.14)

Мдп – масса изношенного дорожного покрытия;

Ш – ширина полосы движения, 3,5 м;

Д – длина участка, 1000 м;

Н – износ дорожного полотна по высоте, 5,3 мм/год;

Пдп – плотность дорожного покрытия, 2100 кг/м$^3$.

При этом интенсивность износа дорожного полотна (Иил) от легковых автомобилей составит:

$$Иил = \frac{Мдпл \times 1000}{Идл \times Дн}, \text{ г/км, где} \quad (2.15)$$

Иил – интенсивность износа дорожного полотна от легковых автомобилей, г/км;

Мдпл – масса изношенного дорожного покрытия от легковых автомобилей, кг/год;

Идл – интенсивность движения легковых автомобилей в сутки;

Дн – количество дней движения в году – 365.

Интенсивность износа дорожного полотна (Ииг) от грузовых автомобилей составит:

$$Ииг = \frac{Мввг \times 1000}{Идг \times Дн}, \text{ г/км, где} \quad (2.16)$$

Ииг – интенсивность износа дорожного полотна от грузовых автомобилей, г/км;

Мввг – масса изношенного дорожного покрытия от грузовых автомобилей, кг/год;

Идг – интенсивность движения грузовых автомобилей в сутки;

Дн – количество дней движения в году – 365.

## 2.6. Выводы.

1. Проведенный выше анализ по выбору аналитических методов определения выбросов вредных веществ и твердых частиц раздельно с ОГ, от износа шин, тормозных механизмов и износа дорожного полотна позволит оценить общую картину выбросов вредных веществ от автомобиля в городскую воздушную среду.

2. Необходимо отметить, что ранее проведёнными зарубежными и российскими исследованиями, не затронуто загрязнение городской воздушной среды твёрдыми частицами при неустановившихся режимах движения автомобилей (режимы разгона и торможения).

3. Исследование дисперсности и величин выбросов твердых частиц менее 10 микрометров (ТЧ10) от износа шин и тормозных механизмов наиболее важно оценить при различных режимах движения автомобиля.

# Глава 3.

## Теоретические исследования по сравнительному анализу выбросов вредных веществ и твердых частиц от эксплуатации автотранспорта в городских условиях

Определенные в главе 2 формулы для расчетов выбросов вредных веществ от различных систем автомобилей обобщенные в таблице 3.1 позволяют провести аналитическое определение величин выбросов вредных веществ и твёрдых частиц от источников этих выбросов при эксплуатации в городских условиях.

При проведении расчетов необходимо учитывать количество автомобильного транспорта в конкретном месте его эксплуатации. В нашем исследовании проведены расчеты на примере города Москва.

В г. Москва с 2002 г. «происходило значительное увеличение всего автомобильного парка. Специалисты, занимающиеся прогнозированием состояния автомобильного парка утверждают, что этот рост сохранится и на длительное время вплоть до 2030 года. Данные ГИБДД и результаты отчета МАДИ [25] о составе парка позволили определить динамику роста по годам» и по категориям транспортных средств, которая представлена в таблице 3.2. Эти данные использовались при проведении дальнейших аналитических расчетов.

Таблица 3.2

| Автомобили | 2002 год, тыс.шт | 2014 год, тыс.шт | 2020 год, тыс.шт | 2030 год, тыс.шт |
|---|---|---|---|---|
| Легковые | 1 495,1 | 3 773,2 | 4 603,0 | 5 762,0 |
| Легкогрузовые + грузовые | 224,6 | 346,7 | 391,2 | 453,1 |
| Автобусы | 5,0 | 48,9 | 58,4 | 78,6 |
| Итого: | 229,6 | 395,6 | 449,6 | 531,7 |
| Троллейбусы | 1,5 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| Всего транспортных средств | 1726,2 | 4170,5 | 5054,3 | 6295,4 |

**Расчетные формулы по определению выбросов вредных веществ, выделяемых автомобилем при их эксплуатации** Таблица 3.1

| Расчётные формулы для определения массы выбросов вредных веществ с отработавшими газами автомобилей (МВВ дв) | Расчётные формулы для определения массы выбросов вредных веществ (МВВ) не выхлопного происхождения М ВВ = Σ $K_j$ x $П_j$ x $И_{i.j}$ | |
|---|---|---|
| **МВВ дв с ОГ двигателей** | **МВВ торм от износа тормозных механизмов** | **МВВш от износа шин** |
| Выбросы МВВ дв = Пл x Hq,(кг)<br>где:<br>МВВ дв – масса ВВ, выделяемых с ОГ двигателя, кг<br>Пл – средний пробег легковых автомобилей за год = 30000 км;<br>Hq– допустимая норма выделения ВВ легковых втомобилей в г/км.<br><br>Выбросы МВВ $_{диз}$ = 0,73549875 x 200 x Нг x 300 x 8, (кг)<br>где:<br>МВВ $_{диз}$- масса ВВ с ОГ грузовых автомобилей с дизельным двигателем;<br>0,73549875 – коэффициент перевода с л.с. в кВт;<br>200– усредненная мощность дизельного двигателя в л.с. при движении автомобиля со скоростью 60 км/час;<br>Нг – допустимая норма выброса ВВ в г/квт.ч;<br>300 – количество рабочих дней в году;<br>8 – количество рабочих часов в день. | МВВ торм = Кавт x П x Итм (кг)<br>где:<br>Кавт – количество автомобилей;<br>П – среднегодовой пробег автомобилей;<br>Итм – интенсивность износа тормозных механизмов.<br>Дисковые тормоза.<br>Интенсивность износа тормозной накладки дискового тормоза (Идн):<br>$И_{дн} = \frac{S \times (Т_н - Т_{пд}) \times пн}{L_{тк}}$ г/км<br>Где: S – площадь контакта тормозной накладки;<br>$Т_н$ – начальная толщина тормозных колодок;<br>$Т_{пд}$ – минимальная толщина тормозных колодок;<br>пн-плотность безасбестовых фрикционных накладок;<br>$l_{тк}$ – пробег тормозной колодки.<br>Интенсивность износа тормозного диска (Итд):<br>$И_{тд} = \frac{\pi \times (Д_н^2 - Д_{вн}^2) \times (Т_{тд} - Т_{тд\,min}) \times пд}{4 \times П_{тд}}$ г/км<br>Где: – пд - плотность тормозного диска и барабана.<br>Барабанные тормоза.<br>Интенсивность износа тормозной колодки барабанного тормоза (Ибн):<br>$И_{бк} = \frac{Ш_к \times Д_к \times (Т_{бк} - Т_{бк}min) \times пн}{П_{бк}}$ г/км<br>Интенсивность износа барабана (Иб):<br>$И_б = \frac{\pi \times Д_{бв} \times Ш_к \times (Д_{бв}max - Д_{бв}) \times пд}{П_б}$ г/км | МВВш = Кавт x Пш x Иш год (кг)<br>где:<br>МВВш – масса твердых частиц, выделяемых при износе протектора шин, т/год;<br>Кавт – количество автомобилей: легковых, грузовых, автобусов и троллейбусов;<br>Пш – пробег шин за год, км;<br>Иш год – интенсивность износа шин за год,г/км<br>$И_ш = \frac{Н_{пр} - Н_{доп}}{П_ш}$ г/км<br>где:<br>$Н_{пр}$ –высота рисунка протектора шины, мм;<br>$Н_{доп}$ – допустимая остаточная высота рисунка протектора шины, мм;<br>$П_ш$ – пробег шины до снятия с эксплуатации по износу. |

.

В настоящее время и в обозримом будущем парк автомобилей, особенно в крупных городах, быстро меняется, поэтому расчеты проведены по наиболее применяемым в городских условиях автомобилям которые позволили оценить выброс вредных веществ и твёрдых частиц в городе Москва по годам от 2002 до 2030 гг.

## 3.1. Определение выбросов вредных веществ и твердых частиц от систем автомобилей при их эксплуатации.

### 3.1.1. Определение суммарных выбросов вредных веществ и твердых частиц с отработавшими газами легковых автомобилей.

«Учитывая весьма бурный рост парка легковых автомобилей в мегаполисе г. Москва, целесообразно отдельно провести расчетные исследования по оценке влияния изменения состава парка легковых автомобилей на выброс вредных веществ и твердых частиц в атмосферу г. Москвы» [31].

«Анализ изменения выбросов вредных веществ с отработавшими газами легковых автомобилей производился по нормативам международных правил ООН №83» [6].

«По прогнозу (таблица 3.2) парк легковых автомобилей в период с 2002 по 2030 годы будет резко увеличиваться. Это увеличение отражается следующими цифрами по сравнению с 2002 годом: в 2014 году – 2,5 раза; в 2020 году – 3,1 раза; в 2030 году – 3,8 раза» [31].

«Однако, выбросы с отработавшими газами (ОГ) от двигателей легковых автомобилей, с учетом перехода (в основной массе) с Евро-0 на Евро-1 в 2002 году, проявятся обновленным на 50% парком только в 2014 году, а при переходе в 2012 году на Евро-4, они смогут проявиться только в 2020 году, а принятые нормы Евро-5 в 2017 году окажут влияние на выброс вредных веществ только в 2030 году. С учётом этого обновления парка легковых автомобилей результаты расчетов ежегодных выбросов вредных веществ в

тоннах с ОГ от легковых автомобилей приведены в таблице 3.3 и на рис. 3.1.»[31].

«При расчете принят усредненный ежегодный пробег легковых автомобилей в 30000 км. (на основании среднестатистических данных ежегодных пробегов)» [31].

Таблица 3.3

| Год | Количество легковых автомобилей, шт | Ожидаемые выбросы, т в год | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | CO | CH | $NO_X$ | ТЧ |
| 2002 г. | 1 495 100 | 650 389 | 213 052 | | --- |
| 2014 г. | 3 773 200 | 307 893 | 109 800 | | --- |
| 2020 г. | 4 603 000 | 138 090 | 13 809 | 11 047 | --- |
| 2030 г. | 5 762 000 | 86 430 | 17 286 | 10 372 | 864 |

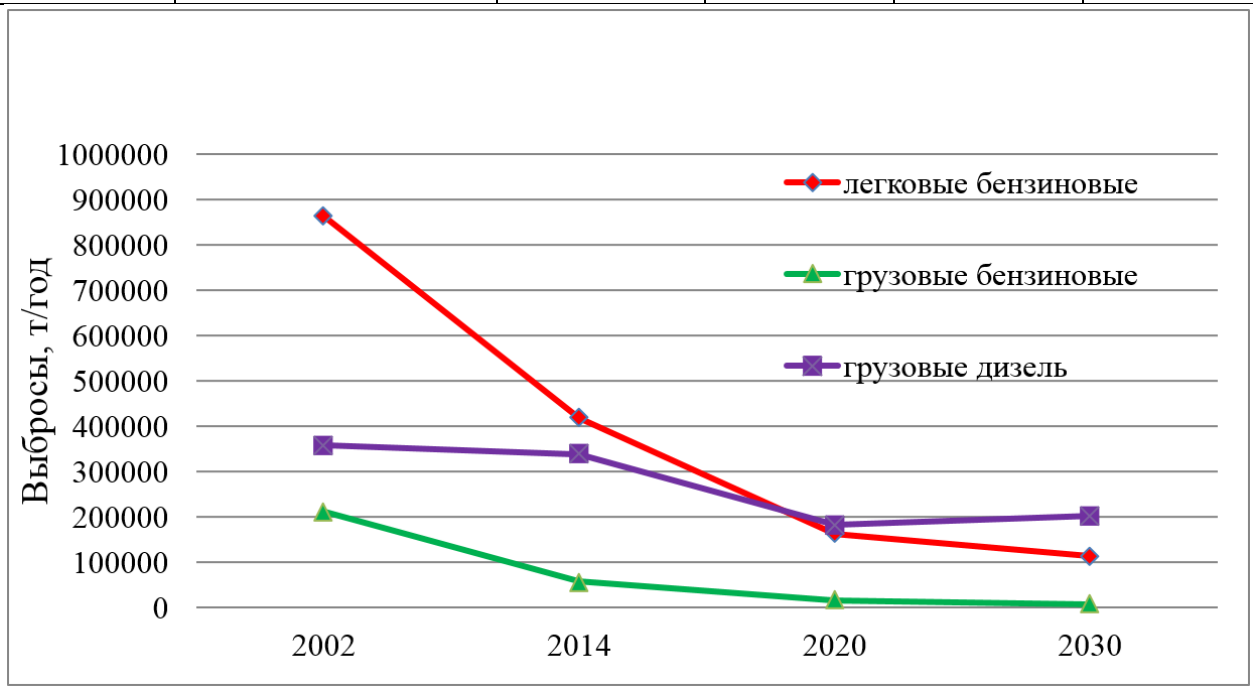



Рис. 3.1. выбросы вредных веществ в тоннах/год с ОГ от легковых, грузовых и автобусов в г. Москве с 2002 по 2030 годы

«Проведенный анализ расчетных данных показывает, что общее количество вредных выбросов с ОГ легковых автомобилей за исследуемый период будет существенно уменьшаться из-за высокой эффективности

поэтапного введения жестких нормативов до Евро-5 Правил ООН №83 на их выброс. Так снижение вредных выбросов CO, CH и $NO_X$ в 2014 году произошло в 2 раза; в 2020 году ожидается в 4 раза, а в 2030 году в 7 раз» [31].

### 3.1.2. Выбросы вредных веществ и твердых частиц с отработавшими газами грузовыми автомобилями и автобусами.

«Расчётное определение влияния изменения парка грузовых автомобилей и автобусов в г. Москве на выбросы вредных веществ и твёрдых частиц с отработавшими газами, от шин и тормозных накладок проведено с целью сравнительной оценки этих выбросов от различных систем и агрегатов»[31] .

«Парк грузовых автомобилей и автобусов в г. Москве (табл.3.2) неуклонно растет. По сравнению с 2002 годом такое увеличение по грузовым автомобилям составляет: 2014 год – 1,5 раза; 2020 год – 1,7 раза; 2030 год – 2 раза. По автобусам такое увеличение составляет: в 2014 году – в 9,8 раза, в 2020 году – в 11,7 раз, в 2030 году увеличение ожидается в 15,7 раза»[31].

Городской троллейбусный транспорт более других видов транспорта нуждается в модернизации и выборе стратегии дальнейшего развития, поэтому парк троллейбусов в Москве в рассматриваемый период принят как постоянный. Убрать его из расчетов нельзя, так как троллейбус также вносит свой вклад в загрязнение воздушной среды города от износа шин.

«На городские автобусы традиционно устанавливаются дизельные двигатели. Их доля в общем количестве автобусов сохранится на уровне 82%»[31].

«Выбросы с ОГ двигателей грузовых автомобилей и автобусов необходимо анализировать, с учетом перехода (в основной массе) с Евро-0 на Евро-1 в 2002 году, который проявился обновленным на 50% парком только в 2014 году, а при переходе в 2010 году на Евро-4, они смогут проявиться только после 2020 года, а Евро-5 окажет влияние на выброс только после 2030 года»[31,34].

«В настоящее время и на будущее (прогноз) намечается продолжение дизелизации грузовых автомобилей и перевод на альтернативные виды топлива и различные типы энергоустановок (КЭУ), однако при этом

сохранится значительное количество малотоннажных грузовых автомобилей с бензиновыми двигателями. Если в 2011 году их процент составлял 58,3%, то в 2021 году будет около -44,0%, а в 2030 году все же сохранится около – 31%»[31].

«Результаты расчетов выбросов вредных веществ в тоннах с отработавшими газами от бензиновых двигателей грузовых автомобилей и автобусов приведены в таблице 3.4 и на рис. 3.1»[31].

Таблица 3.4

| Год | Количество грузовых автомобилей и автобусов с бензиновыми двигателями, шт | Ожидаемые выбросы вредных веществ с ОГ, т в год | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | CO | CH | $NO_X$ | PM (ТЧ) |
| 2002 г. | 157 276 | 159 635 | 52 294 | | --- |
| 2014 г. | 221 536 | 42 180 | 15 042 | | --- |
| 2020 г. | 197 824 | 13 848 | 1 385 | 1 108 | --- |
| 2030 г. | 164 827 | 5 769 | 1 154 | 692 | 58 |

Результаты расчетов выбросов вредных веществ в Москве в тоннах с отработавшими газами от дизельных двигателей грузовых автомобилей и автобусов приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

| Год | Количество грузовых автомобилей и автобусов с дизельными двигателями, шт | Ожидаемые выбросы вредных веществ с ОГ, в тоннах | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | CO | CH | $NO_X$ | PM (ТЧ) |
| 2002 г. | 72 324 | 115 603 | 28 258 | 205 516 | 9 248 |
| 2014 г. | 174 064 | 92 741 | 28 441 | 216 396 | 1 237 |
| 2020 г. | 251 776 | 134 146 | 11 626 | 35 772 | 894 |
| 2030 г. | 279 924 | 149 144 | 12 926 | 39772 | 994 |

«Поэтапное применение норм, Евро-3, Евро-4 и Евро-5 ограничивающих и уменьшающих выбросы от двигателей грузовых

автомобилей и автобусов, согласно Правил ООН №49 приводят к положительным эффектам, улучшающим экологию в городе Москва, несмотря на увеличение количества автомобилей. Так в 2014 году произошло снижение вредных выбросов с ОГ в 3 раза от выбросов в 2002 году, в 2020 году произойдет снижение в 7-10 раз, в 2030 году ожидается снижение выбросов в 10-12 раз» [31,34]..

### 3.1.3. Выбросы твёрдых частиц от износа шин и тормозных механизмов автотранспортных средств.

Анализ изменения выбросов твердых частиц (ТЧ) от износа шин проводился по размерным показателям шин для различных отечественных автомобилей приведен в таблице 3.6.

Допустимая остаточная высота рисунка протектора:

- Легковых шин – 1,6 мм;
- Легкогрузовых шин – 1,6 мм;
- Грузовых шин – 1,0 мм;
- Автобусов и троллейбусов – 2,0 мм.

Оценка общих выбросов (ТЧ) от износа шин рассчитывается по формуле 2.6.(глава 2).Таблица 3.1

$$M\ ВВш = Кавт \times Пш\ год \times Иш\ год,\ т/год$$

Для шин коэффициент интенсивности износа рассчитывается по формуле 2.7. (глава 2). Таблица 3.7

$$И_{ш} = \frac{Н_{пр} - Н_{доп}}{П_{ш}}\ \frac{г}{км},$$

Проведенный анализ различных шин, применяемых и изготовленных в России позволил определить массу изнашиваемой части шин легковых автомобилей, различного назначения. Результаты анализа приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

| Тип шины | Высота рисунка протектора, мм | Предельный пробег шины до снятия по износу протектора, км[ж)] | Масса изнашиваемой части протектора, кг |
|---|---|---|---|
| Легковые:<br>Дорожная<br>Всесезонная<br>Зимняя | 7.5 – 8,5 | <br>50 000<br>50 000<br>60 000 | <br>1,4 – 1,9<br>1,2 – 1,7<br>1,1 – 1,7 |
| Легкогрузовые<br>Грузовые, автобусы и троллейбусы:<br>Дорожная<br>Универсальная | 10 – 12<br><br><br><br>18 – 20<br>18 - 20 | 75 000<br><br><br><br>80 000<br>85 000 | 3,2 – 4,0<br><br><br><br>8,1 – 17,7<br>10,6 – 17,1 |

ж) – Нормы пробега автомобильных шин, утвержденные Минтрансом

«При эксплуатации легковых автомобилей в результате износа шин в течение срока её службы, в окружающую среду выбрасывается в среднем: у легковых шин до 1,5 кг. на одну шину, что в пересчете на автомобиль составляет 6,0 кг шинной пыли в виде мелкодисперсного аэрозоля» [31,34].

При этом средняя интенсивность износа протектора комплекта шин легкового автомобиля на 1 км пробега составляет: 0,112 г/км.

Определение выбросов твердых частиц от износа тормозных систем легковых автомобилей проводился с учетом результатов приведенных в работе [3], где была расчетным путем определена средняя интенсивность износа тормозных механизмов равной 0,0088 г/км. В дальнейших рассуждениях следует учитывать, что такая величина выбросов ТЧ существенно мала на фоне остальных выбросов ТЧ от других узлов и агрегатов автомобиля.

«Суммарные показатели выбросов твердых частиц не выхлопного происхождения от всех легковых автомобилей во временной период от 2002 по 2030 годы в г. Москве в тоннах приведены в таблице 3.7» [31,34].

Таблица 3.7

| Год | Количество легковых автомобилей, шт. | Средний пробег автомоби-ля за год, км | Выбросы за год, тонн | | Общая сумма выбросов твёрдых частиц, тонн |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | от шин (при интенсивности износа шин - 0,112 г/км), тонн | от тормозов, (при интенсивности износа тормозов - 0,0088 г/км), тонн | |
| 2002 | 1 495 100 | 30 000 | 5 024 | 395 | 5 410 |
| 2014 | 3 773 200 | 30 000 | 12 678 | 996 | 13 674 |
| 2020 | 4 603 000 | 30 000 | 15 465 | 1 215 | 16 680 |
| 2030 | 5 762 000 | 30 000 | 19 360 | 1 521 | 20 881 |

Графическое отображение данных, приведенных в таблице 3.5. приведено на рисунке 3.2.

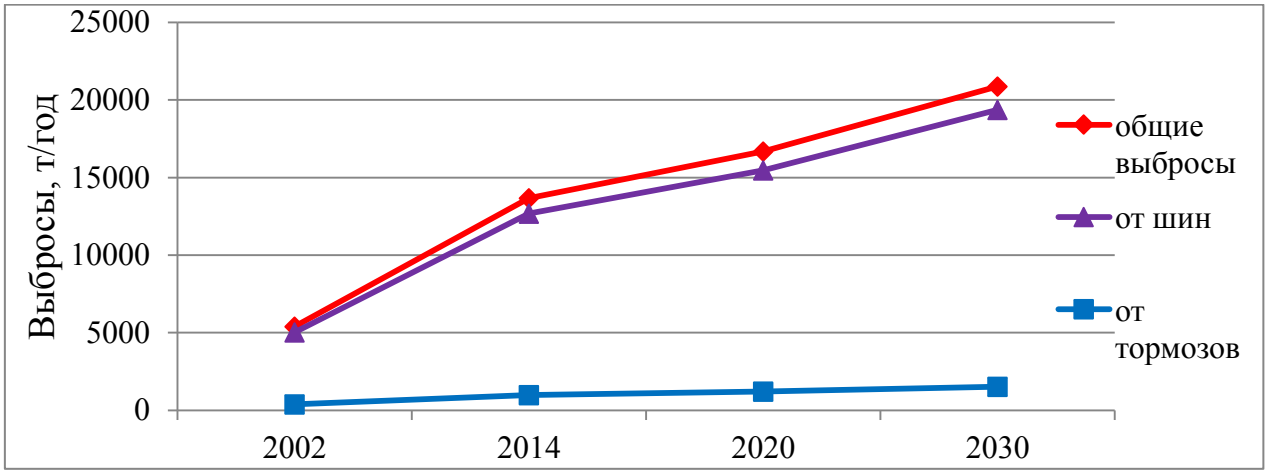



Рис.3.2. Валовые выбросы твёрдых частиц не выхлопного происхождения от всех легковых автомобилей во временной период от 2002 по 2030 годы в г. Москве.

«Расчеты показывают, что неуклонное увеличение количества легковых автомобилей в мегаполисе Москва отрицательно сказалось и будет сказываться на экологическом состоянии воздушной среды в городе. Годовое (в тоннах) количество выбросов вредных веществ от шин и тормозных механизмов по сравнению с 2002 годом увеличилось в 2014 году в 2,5 раза, в 2020 году увеличится в 3 раза, в 2030 году почти в 4 раза» [31,34].

Рассмотрим, что произойдет с выбросами от износа шин грузовых автомобилей и автобусов за период с 2002 по 2030 год.

Анализ применяемых шин на легкогрузовых, грузовых автомобилях, автобусах и троллейбусах, эксплуатирующихся в России, определил массы изнашиваемой части протектора, которые приведены в таблице 3.6.

«Итак, при эксплуатации различных грузовых автомобилей в результате износа в течение срока службы шин, в окружающую среду выбрасывается в среднем: от легкогрузовых от от 3.6 кг до 13 кг, от грузовых, автобусов и троллейбусов, в пересчете на автомобиль составит - до 11,0 кг, на автомобиль 88 кг. шинной пыли в виде мелкодисперсного аэрозоля» [31,34].

Полученные результаты позволили определить интенсивность износа комплекта шин от легкогрузовых автомобилей до большегрузных автомобилей на 1 км пробега в интервале от 1,1 г/км до 7,5 г/км.

Определение интенсивности износа тормозных механизмов грузовых автомобилей.

На грузовых автомобилях используется большое количество различных тормозных устройств. Их анализ позволил определить среднюю интенсивность износа тормозных механизмов грузовых автомобилей.

В настоящее время в городах России наблюдается активное применение автомобилей ГАЗель, КамАЗ и автобусов. Характеристики тормозных систем, необходимых для определения интенсивности износа, приведены в таб. 3.8.

Таблица 3.8

| Автомобиль | Характеристика тормозной системы | Значения |
|---|---|---|
| ГАЗ-2705 4х2 | Передний дисковый тормоз: | |
| | Диаметр тормозного диска (Дн), мм | 239 |
| | Внутренний диаметр контакта диска с колодкой (Двн),мм | 189 |
| | Толщина тормозного диска (Ттд), мм | 10 |
| | Предельная допустимая толщина тормозного диска (Тпр), мм | 8 |
| | Пробег тормозного диска (Lтд), км | 100 000 |
| | Толщина тормозных колодок (Тн), мм | 12 |

| | | |
|---|---|---|
| | Минимальная толщина тормозных колодок (Тпд), мм | 7 |
| | Пробег тормозной колодки (Lтк), км | 50 000 |
| | Задний барабанный тормоз | |
| | Внутренний диаметр барабана, номинальный (Дбв), мм | 180 |
| | Внутренний диаметр барабана, предельно допустимый (Дбв max), мм | 181 |
| | Номинальная толщина накладки тормозной колодки (Тбк), мм | 5,6 |
| | Минимальная допустимая толщина накладки тормозной колодки (Тбк min), мм | 2,5 |
| | Ширина накладки тормозной колодки (Шк), мм | 70 |
| | Длина накладки тормозной колодки (Дк), мм | 290 |
| | Пробег тормозной колодки барабанного тормоза (Lбк), км | 100000 |
| | Ресурс тормозного барабана (Lб), км | 150000 |
| КамАЗ-5511 6х4 | Барабанный тормоз | |
| | Внутренний диаметр барабана, номинальный (Дбв), мм | 400 |
| | Внутренний диаметр барабана, предельно допустимый (Дбв max), мм | 406 |
| | Номинальная толщина накладки тормозной колодки (Тбк), мм | 19 |
| | Минимальная допустимая толщина накладки тормозной колодки с учетом заклепок (Тбк min), мм | 9 |
| | Ширина накладки тормозной колодки (Шк), мм | 140 |
| | Длина накладки тормозной колодки (Дк), мм | 188 |
| | Пробег тормозной колодки барабанного тормоза (Lбк), км | 100000 |
| | Ресурс тормозного барабана (Lб), км | 150000 |
| ЛиАЗ-6212 6х2 | Барабанный тормоз | |
| | Внутренний диаметр барабана, номинальный (Дбв), мм | 410 |
| | Внутренний диаметр барабана, предельно допустимый (Дбв max), мм | 416 |
| | Номинальная толщина накладки тормозной колодки (Тбк), мм | 20 |
| | Минимальная допустимая толщина накладки тормозной колодки с учетом заклепок (Тбк min), мм | 9 |
| | Ширина накладки тормозной колодки (Шк), мм | 179 |

| | | |
|---|---|---|
| | Длина дуги накладки тормозной колодки (Дк), мм | 183 |
| | Пробег тормозной колодки барабанного тормоза (Lбк), км | 50000 |
| | Ресурс тормозного барабана (Lб), км | 150000 |

Дисковые тормоза.

Интенсивность износа тормозной накладки дискового тормоза ($И_{дн}$) рассчитывается по формуле 2.9.

$$И_{дн} = \frac{S \times (Т_{н} - Т_{пд}) \times пн}{L_{тк}}, \text{ г/км, где}$$

S – площадь контакта тормозной накладки с диском, см$^2$;

Тн – начальная толщина тормозных колодок, см;

Тпд – минимально допустимая толщина тормозных колодок, см;

пн - плотность безасбестовых фрикционных накладок по ГОСТ 1786-95 – 2,0 г/см$^3$;

Lтк - пробег тормозной колодки, км

Интенсивность износа тормозного диска (Итд) рассчитывается по формуле 2.10.

$$И_{тд} = \frac{\pi \times (Д_{н2} - Д_{вн2}) \times (Т_{тд} - Т_{тд}min) \times пд}{4 \times П_{тд}}, \text{ г/км, где}$$

Дн - Диаметр тормозного диска, см;

Двн – Внутренний диаметр контакта диска с колодкой, см;

Ттд - Толщина тормозного диска, см;

Ттд min - Предельная допустимая толщина тормозного диска, см;

пд – плотность тормозного диска и барабана из серого чугуна – 7,2 г/см$^3$;

Птд - Пробег тормозного диска, км.

Барабанные тормоза.

Интенсивность износа тормозной колодки барабанного тормоза (Ибк) рассчитывается по формуле 2.11.

$$И_{бк} = \frac{Ш_к \times Д_к \times (Т_{бк} - Т_{бк}min) \times пн}{П_{бк}}$$, г/км, где

Шк - Ширина накладки тормозной колодки, см;

Дк - Длина накладки тормозной колодки, см;

Тбк – Номинальная толщина накладки тормозной колодки, см;

Тбк min - Минимальная допустимая толщина накладки тормозной колодки, см;

пн - плотность безасбестовых фрикционных накладок по ГОСТ 1786-95 – 2,0 г/см$^3$;

Пбк - Пробег тормозной колодки барабанного тормоза, км.

Интенсивность износа барабана (Иб) рассчитывается по формуле 2.12.

$$И_б = \frac{\pi \times Д_{бв} \times Ш_к \times (Д_{бв}max - Д_{бв}) \times пд}{П_б}$$, г/км, где

Дбв - Внутренний диаметр барабана, номинальный (Дбв), мм;

Шк - Ширина накладки тормозной колодки, см;

Дбв max - Внутренний диаметр барабана, предельно допустимый, см;

пд – плотность тормозного диска и барабана из серого чугуна – 7,2 г/см$^3$;

Пб - пробег тормозного барабана, км.

Результаты расчетов интенсивности износа тормозных механизмов приведены в таблице 3.9. Таблица 3.9

| Автомобиль | Тормозная система автомобиля | Интенсивность износа, г/км |
|---|---|---|
| ГАЗ-2705 | Передний тормоз:<br>Тормозная колодка<br>Тормозной диск<br>Задний барабанный тормоз:<br>Накладка тормозной колодки<br>Тормозной барабан<br>Итого по автомобилю: 2 передних тормоза (4 колодки + 2 тормозных диска), 2 задних тормоза (4 тормозных колодки + 2 тормозных барабана) | <br>0,0012<br>0,0024<br><br>0,0013<br>0,0019<br><br>0,0186 |
| КамАЗ-5511 | Барабанный тормоз:<br>Накладка тормозной колодки | <br>0,011 |

| | | |
|---|---|---|
| | Тормозной барабан<br>Итого по автомобилю: 2 передних тормоза (4 колодки + 2 тормозных барабана), 4 задних тормоза (8 тормозных колодки + 4 тормозных барабана) | 0,0168<br>0,2328 |
| ЛиАЗ-6212 | Барабанный тормоз:<br>Накладка тормозной колодки<br>Тормозной барабан<br>Итого по автомобилю: 2 передних тормоза (4 колодки + 2 тормозных барабана), 4 задних тормоза (8 тормозных колодки + 4 тормозных барабана) | <br>0,0288<br>0,0221<br>0,4782 |

Таким образом интенсивность износа тормозных механизмов грузовых автомобилей составляет от 0,243 г/км до 0,47 г/км.

Выполненные расчеты позволили определить валовые выбросы вредных веществ не выхлопного происхождения от всех грузовых автомобилей во временной период от 2002 по 2030 годы.

«На основании анализа эксплуатации принимаем усредненный пробег грузовых автомобилей и автобусов в Москве равным 70 000 км. (Методическое руководство по определению стоимости автотранспортных средств с учетом естественного износа и технического состояния на момент предъявления РД 37.009.015-98. Приложение 12 «Среднегодовые пробеги грузовых автомобилей, автобусов и легковых автомобилей»)» [26,31].

Результаты расчета выбросов твердых частиц от грузовых автомобилей при эксплуатации в городских условиях (г. Москва) приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10

| Год | Количество грузовых автомобилей и автобусов, шт | Средний пробег автомобиля за год, км | Выбросы за год, тонн | | Сумма выбросов твердых частиц,т. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | от шин (при интенсивности износа шин автомобиля – 1,1 г/км), т | от тормозов, (при интенсивности износа тормозов автомобиля – 0,243 г/км), т | |
| 2002 | 229 600 | 70 000 | 17 679 | 3 905 | 20 584 |
| 2014 | 395 600 | 70 000 | 30 461 | 6 729 | 37 190 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2020 | 449 600 | 70 000 | 34 619 | 7 648 | 42 267 |
| 2030 | 531 700 | 70 000 | 40 941 | 9 044 | 49 985 |

Графическое отображение данных, приведенных в таблице 3.10. приведено на рисунке 3.3.

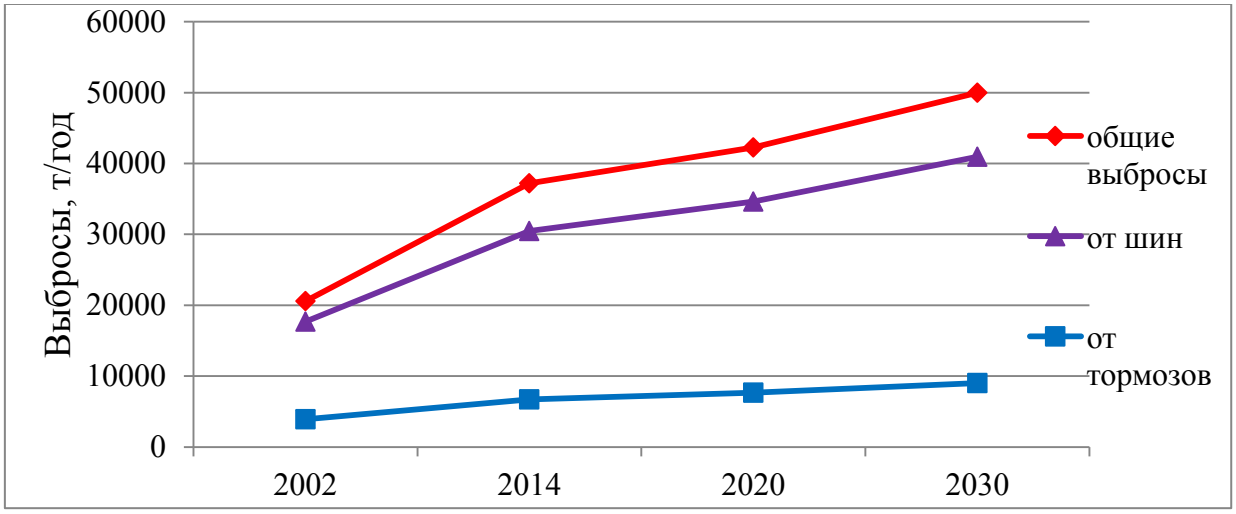



Рис.3.3. Изменение валовых выбросов твердых частиц не выхлопного происхождения от грузовых автомобилей и автобусов во временной период от 2002 по 2030 годы в г. Москве.

«Проведенные расчеты выявили прямую зависимость количества выбросов от износа шин и тормозных механизмов от количества грузовых автомобилей и автобусов. Увеличение автомобилей и автобусов приводит к значительному увеличению количества выбросов; их годовое значение по сравнению с 2002 годом увеличилось в 2014 году в 1,8 раза, в 2020 году увеличится в 2,1 раза, в 2030 году в 2,4 раза»[31,34].

**3.1.4. Анализ изменения суммарных выбросов твердых частиц от износа шин и тормозных механизмов легковых и грузовых автомобилей в г. Москва в период с 2002 г. по 2030 гг. представлен в таблице 3.11.**

Таблица 3.11

| Год | Выбросы за год, тонн | | Сумма выбросов твердых частиц, т. |
|---|---|---|---|
| | от шин, т | от тормозных механизмов, т | |
| 2002 | 22 703 | 4 300 | 27 003 |
| 2014 | 43 139 | 7 725 | 50 864 |
| 2020 | 50 084 | 8 863 | 58 947 |
| 2030 | 60 301 | 10 565 | 70 866 |

Представляет большой интерес графическое отображение суммарных выбросов твердых частиц от легковых и грузовых автомобилей в городе Москва за период 2002 по 2030 годы. Изменение выбросов представлено на рисунке 3.4.

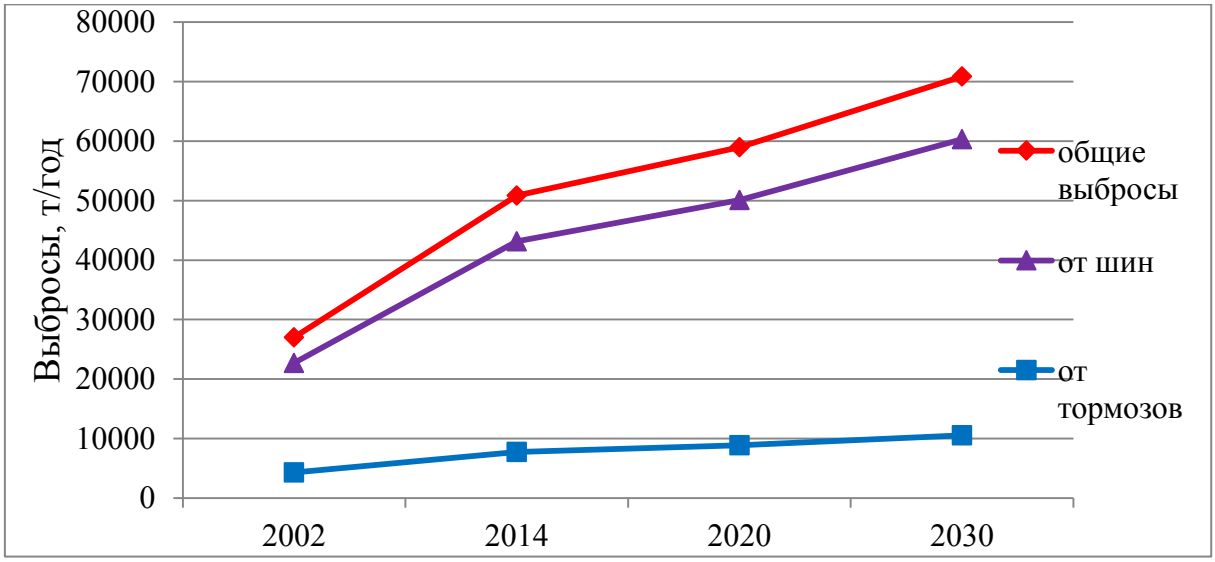



Рис. 3.4. Суммарные валовые выбросы твердых частиц от легковых и грузовых автомобилей в городе Москва за период 2002 по 2030 годы.

## 3.2. Теоретический расчет выбросов твердых частиц и интенсивности износа дорожного покрытия от эксплуатации автомобильного транспорта г. Москвы.

Весьма сложным вопросом, является определение влияния интенсивности износа дорожного покрытия на выброс твердых частиц в окружающую среду г. Москвы.

Городские дороги мегаполиса подразделяются на магистральные улицы и дороги общегородского значения.

Общая протяженность всех дорог г. Москвы в 2014 году составляет 4470 км, из них магистральные улицы - 1367 км и дороги общегородского значения - 3103 км (Государственная программа города Москвы «Развитие транспортной системы на 2012 – 2016 гг»).

При расчете износа и выбросов твердых частиц от дорожного покрытия необходимо учесть , что реконструкция дорог и совершенствование организации движения автомобильного транспорта обеспечивает увеличение интенсивности движения автотранспорта на 10 – 15% за десятилетие.

Эти цифры заложены в плане первоочередных мер по решению транспортных проблем московского узла под названием «Город удобный для жизни». Он предполагает, в частности, введение интеллектуальной транспортной системы и появление на дорогах табло с информацией о пробках, также строительство современных паркингов вместо привычных для московских автомобилистов стихийной парковки, а также развитие общественного транспорта и выделение для автобусов и троллейбусов специальных полос на всех магистралях.

Учитывая, что магистральные и дороги общегородского значения строятся и реконструируются с пропускной способностью, рассчитанной на рост автомобильного парка и способны выдержать нагрузку 2030 года принимаем, что изменение интенсивности движения автомобильного парка идет пропорционально увеличению количества автомобилей в городе.

«Результаты многолетних наблюдений за износом дорожного полотна на примере Ленинградского проспекта г. Москвы показали, что средняя величина износа дорожного покрытия автомагистрали составляет 5,3 мм в год»[18]. «Определение годового износа позволило провести расчеты по определению интенсивности износа дорожного полотна на примере участка Ленинградского проспекта в районе Речного вокзала длиной в 1км, 5 полос движения в каждую сторону, ширина одной полосы движения 3,5 м»[31].

«Расчет интенсивности износа дорожного полотна выполнялся при следующем условии: движение грузового транспорта (грузовые автомобили, автобусы и автопоезда) в каждую сторону осуществлялось по одной полосе, а легковой транспорт по четырем полосам с каждой стороны с интенсивностью движения отраженной в таблице 3.12»[31].

Масса изношенного дорожного покрытия (Мдп) одного километра многополосной магистральной дороги была определена по формуле 2.13 (глава 2) (Таблица 3.1). Мдп = Ш х Д х Н х Пдп, кг/год

Таблица 3.12

| Транспортные средства | Интенсивность, авт./сут |
|---|---|
| Легковые до 3,5 т.<br>Грузовые<br>Автобусы<br>Автопоезда | 234 748<br>12 396<br>6 607<br>1 130 |
| Итого: | 254 882 |

Масса изношенного дорожного покрытия одного километра одной полосы магистральной дороги за год, рассчитанная по формуле 2.14, составила 38 955 кг/год.

Рассчитана масса изношенного дорожного покрытия от легкового транспорта (Мдпл) при движении по магистральным дорогам (6 полос движения по 3 полосы в каждом направлении с интенсивностью движения (Идл) 234 748 авт/сут) составила: Мдпл = 38 955 х 8 = 311 640 кг/год.

При этом интенсивность износа дорожного полотна (Иил) от легковых автомобилей составила (Глава 2, формула 2.14): 3,64 г/км.

Рассчитанная масса выбросов изношенного дорожного покрытия (Мдпг) от движения грузового автотранспорта при движении по магистральным дорогам (2 полосы движения с интенсивностью движения (Идг) 20.133 авт/сут.) составила: Мдпг = 38955 х 2 = 77 910 кг/год.

Интенсивность износа дорожного полотна (Ииг) от грузовых автомобилей, определенная по формуле 2.15. (глава 2) составила 10,6 г/км.

При расчете износа дорожного полотна дорог общегородского движения принимаем износ дорожного полотна в год – 2мм, из-за меньшей интенсивности движения по дорогам автомобильного транспорта.

Экспертное определение (на основе анализа движения транспорта по Онежской ул., 2-х полосное движение в каждую сторону) показало, что интенсивность движения легкового транспорта составляет 23 000 авт/сутки, а грузового транспорта (в том числе автобусов – 3000 авт/сутки, при этом

легковой транспорт занимал при движении в одну сторону 1,5 полосы, а грузовой транспорт 0,5 полосы.

Масса изношенного дорожного покрытия одной полосы движения дороги общегородского движения, определенная по формуле 2.13, составила:

Мдп =3,5 м х 1000 м х 0,002 м х 2100 кг/м$^3$= 14700 кг/год

«Интенсивность износа дорожного полотна от легкового транспорта, рассчитанная по формуле 2.14, составила 5,25 г/км»[31].

«Интенсивность износа дорожного полотна при движении грузового транспорта, рассчитанная по формуле 2.15, составила 13,4 г/км»[31].

Изменение общих выбросов твёрдых частиц от износа дорожного полотна магистральных дорог и улиц общегородского движения при эксплуатации легкового и грузового транспорта с 2002 по 2030 годы представлено на рисунке 3.5.

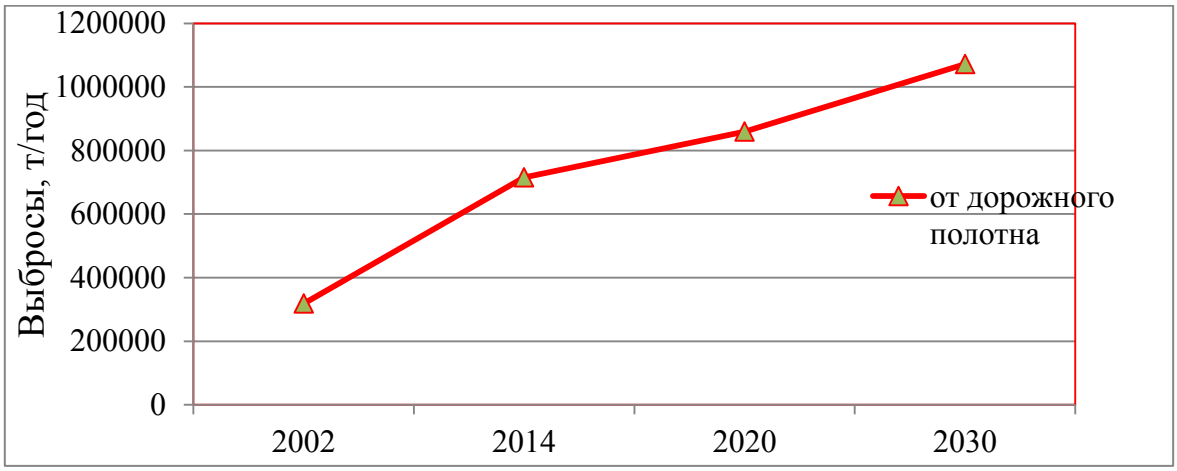



Рис.3.5. Общие выбросы твердых частиц от износа дорожного полотна магистральных дорог и улиц общегородского движения при эксплуатации легкового и грузового транспорта в г. Москва с 2002 по 2030 годы

## 3.3. Теоретический расчет общих выбросов вредных веществ и твердых частиц от эксплуатации всего автомобильного транспорта г. Москва в перспективе до 2030 года

«Неуклонное увеличение количества легковых, грузовых автомобилей и автобусов отрицательно сказалось и будет далее существенно ухудшать экологическое состояние воздушной среды в городе Москва за счет увеличения выбросов от износа шин, тормозных механизмов и дорожного

полотна. Годовое количество выбросов от шин, тормозных механизмов и дорожного полотна по сравнению с 2002 годом увеличилось: в 2014 году в 2,1 раза, ожидается увеличение в 2020 году в 2,5 раза и к 2030 году в 3,0 раза. Результаты расчетов представлены в таблице 3.13»[31].

Таблица 3.13.

| Год | Общие выбросы вредных веществ и твердых частиц, т/год | Выбросы, т/год | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | с ОГ | от шин | от тормозных механизмов | от дорожного полотна |
| 2002 | 1 779 831 | 1 433 995 | 22 703 | 4 300 | 318 833 |
| 2014 | 1 579 715 | 813 730 | 43 139 | 7 725 | 715 121 |
| 2020 | 1 280 293 | 361 725 | 50 084 | 8 863 | 859 621 |
| 2030 | 1 462 216 | 319 692 | 60 301 | 10 565 | 1 071 658 |

Изменение выбросов от эксплуатации автомобильного транспорта в городе Москва за период 2002 по 2030 годы представлено на рис. 3.5.

На рисунке 3.6 прослеживаются следующие тенденции влияния на выброс вредных веществ от автомобильного транспорта за счет применения более современных двигателей и изменения количества автомобилей в городе.

Выбросы вредных веществ и ТЧ с отработавшими газами в связи с применением двигателей, удовлетворяющих нормативы Евро-3 и далее жестких Евро-5, значительно снижаются.

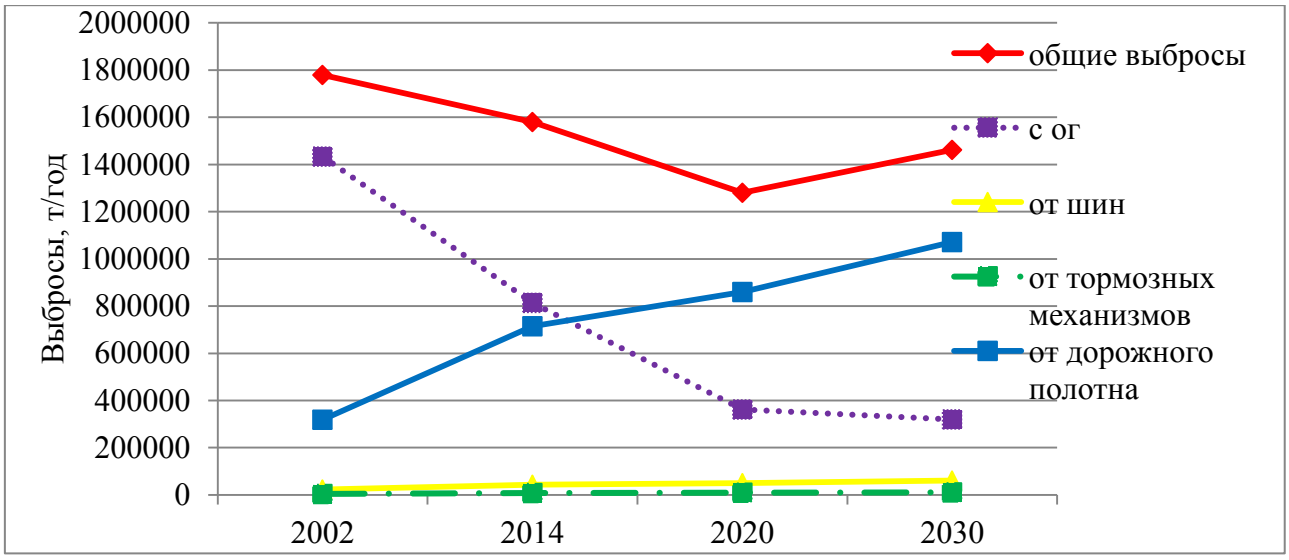



Рис.3.6. Изменение общих выбросов вредных веществ и твердых частиц при движении легковых и грузовых автомобилей в г. Москва.

Увеличение количества автомобильного транспорта оказывает значительное влияние на выбросы твердых частиц от дорожного полотна. Наблюдается постоянный и значительных рост, который с годами оказывает решающее влияние на экологию города. Это обстоятельство диктует необходимость более тщательной проработки вопроса с износом дорожного полотна в зависимости от его состава.

Также наблюдается небольшой рост количества вредных выбросов от износа автомобильных шин из-за увеличения их количества (увеличение автомобилей в эксплуатации). На этот факт необходимо также обратить внимание. На наш взгляд еще не реализованы все возможности уменьшения таких выбросов за счет изменения рецептуры протекторных резин и применения шин более прогрессивных конструкций с уменьшенным сопротивлением качению.

Общий валовый выброс вредных веществ от автомобильного транспорта в период до 2020года уменьшается, в основном за счет снижения выбросов с ОГ, но затем ожидается рост выбросов от износа дорожного полотна и шин.

Производителей автомобилей и контролирующих организаций должно в большой степени интересовать как непосредственно системы конструкций автомобильного транспорта влияют на экологию воздушной среды в городе.

Для рассмотрения этого вопроса в аспекте образования смога в крупных городах проведен сравнительный анализ выбросов от автомобильного транспорта с ОГ, от износа шин и тормозных механизмов в г. Москве. Графическое отображение таких выбросов представлено на рисунке 3.7, который показывает почти четырехкратное их снижение к 2020 и 2030 годам.

Анализ результатов аналитического исследования выбросов только от систем автомобилей показывает, что выбросы от автомобилей в период с 2002 г. по 2030 г. резко снижаются. Этот эффект обусловлен, как это было показано выше, введением поэтапно более жестких норм от ЕВРО-1 до ЕВРО-5 для двигателей автомобилей.

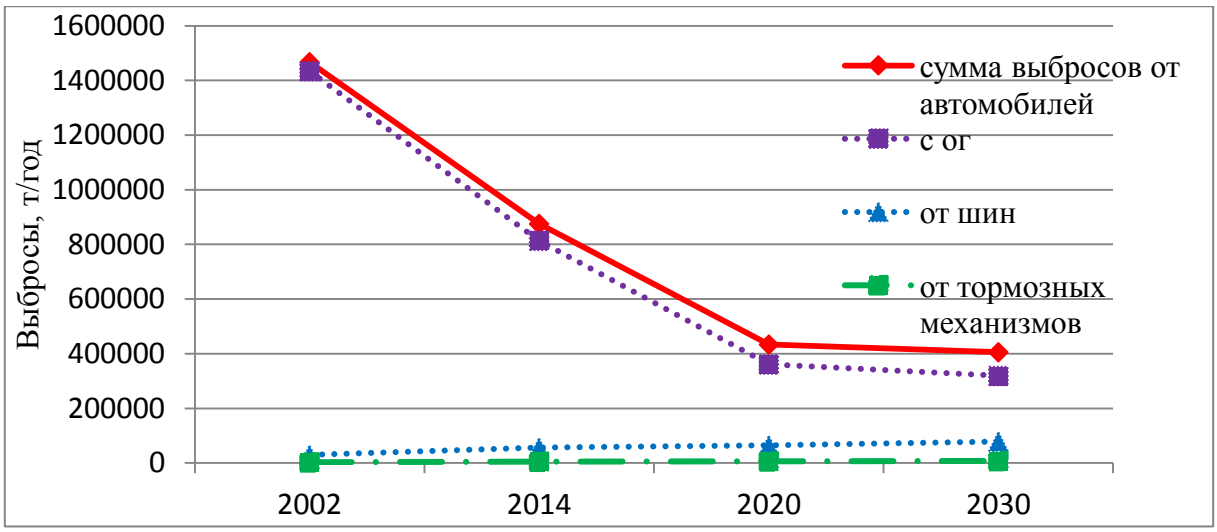



Рис.3.7. Выбросы вредных веществ и ТЧ с ОГ и от износа шин и тормозных механизмов легковых автомобилей, грузовых автомобилей, автобусов и троллейбусов в г. Москва.

**На основании результатов расчетных исследований, можно сделать следующие выводы:**

1. Выброс вредных веществ с ОГ от автомобильного транспорта в г. Москва с 2002 года уменьшился в 2014 году в 2 раза, ожидается снижение в 2020 году в 4 раза и в 2030 году снижение ожидается в 7 раз.

2. В связи с ростом парка автотранспорта в г. Москва с 2002 года (1726200 штук) до 5054300 штук (в 2020 году) и до 6295400 автотранспортных средств в 2030 году будет происходить резкое увеличение выбросов твердых частиц от износа шин и тормозных механизмов с 28000 тонн в 2002 году до 60000 т в 2020 году и в 2030 году выброс может составить более 70000 тонн.

3. Увеличение транспортных средств в мегаполисе Москва при их эксплуатации приведет по сравнению с 2002 годом (при выбросе твердых частиц от износа дорожного полотна 300000 тонн) к увеличению этих выбросов в 2020 году до 825000 тонн и до 1090000 тонн в 2030 году.

4. Определены прогнозы следующего распределения выбросов ВВ:

- в 2020 году: с ОГ (385000т/год)-30%;от износа тормозных механизмов (9500т/год)-0,7%; от износа шин(50000т/год)- 4% и от износа дорожного полотна (825000т/год)-65%.

- в 2030 году: с ОГ(325000т/год)-22%;от тормозных механизмов(10500т/год)-0,7%;от шин(60000т/год)-4,1% и от дорожного полотна (1050000т/год) - 71%.

# Глава 4.

## Исследования эффективности и объективности требований в международных правилах ООН по проблемным вопросам комплексной экологической безопасности автомобилей

«Существующий в настоящее время парк автотранспорта в крупных городах и мегаполисах, не смотря на принимаемые в последние 50 лет законодательные меры по ограничению выбросов вредных веществ с отработавшими газами (ОГ) автомобилей, по требованиям Международных Правил ООН № 49 и 83, обеспечивших значительное, более чем в 40-60 раз их снижение, остаётся под острой критикой конструкции систем нейтрализации по обезвреживанию вредных веществ в отработавших газах»[31,32].

«Так, в 2012 году Всемирная организация здравоохранения вышла с предложением о запрете использования в городах Европы автомобилей с дизельными двигателями по причине повышенного выброса ими оксидов азота и особенно твёрдых частиц»[5].

В 2014 году с этой идеей, запрета использования автомобилей с дизелями, выступил мэр Парижа, так как в 2013 и 2014 годах в Париже в летнее время стал появляться смог, аналогично это было отмечено и в Лондоне, а в 2016 году об этом заявили скандинавские законодатели, и смог стал отмечаться в Москве и в других городах РФ.

Особо следует отметить информацию в Евроновостях о том, что в Париже, во время августовской жары (40°С) произошло сильное образование смога и власти Парижа были вынуждены ввести ограничения в скорости движения транспорта до 20 км/час и ограничить число ввоза в Париж автомобилей.

В 2015 году европейские автопроизводители отрицательно отнеслись к выводу из эксплуатации в городах Европы автомобилей с дизельными двигателями.

По нашему мнению, современные экологические проблемы крупных городов происходят «по причине недостаточного внимания к загрязнению городского воздуха частицами от износа шин и асфальто-дорожного полотна, что и проявилось в появлении смога в последние годы, после 2010 года в Европе, а в Российской Федерации в 2016 году»[31,33].

Так, по оценкам специалистов разных стран, в конце прошлого столетия загрязнение воздуха в среде обитания человека являлось причиной трёх миллионов случаев безвременной смерти людей во всем мире ежегодно. Кроме того, ежегодно регистрируется более 1 миллиона новых случаев рака лёгких по всему миру. «За 40 последних лет заболеваемость раком лёгкого значительно возросла в развитых и развивающихся странах по всему миру. Максимальные показатели заболеваемости зарегистрированы в Европе и США, минимальные – в Восточных странах»[27,28].

Следует особо отметить, что твёрдые частицы, образующиеся от износа шин и асфальто-дорожного полотна, несут на себе весьма опасные канцерогенные вещества, которые в первую очередь и являются источником заболевания раком лёгких [27,28].

На основании проведенных во ФГУП «НАМИ» работ по исследованию экологических проблем автомобильного транспорта Российской Федерацией в 2013-2014 годах, был сделан ряд докладов по новым современным проблемам загрязнения атмосферы крупных городов, как на международной группе по загрязнению атмосферы и экономии энергии (GRPE), так и на Всемирном форуме по разработке требований к конструкции транспортных средств (WP-29) Комитета по внутреннему транспорту (КВТ) Европейской экономической комиссии ООН. [29,30,31,32,33,34].

## 4.1. Анализ обсуждения докладов Российской Федерации на Всемирном форуме по разработке требований к конструкции транспортных средств (WP-29) Комитета по внутреннему транспорту ЕЭК ООН и её рабочих группах, представителями Европейских производителей шин.

Ниже приведены выдержки из официального дискуссионного обсуждения представителей Европейских производителей шин на поставленную Российской Федерацией новую проблему загрязнения воздушной среды городов не только отработавшими газами, но и от других узлов и агрегатов автомобилей при их эксплуатации, в первую очередь от износа шин и дорожного полотна.

Перечень кратких резюме по итогам рассматриваемой проблемы на международной группе GRPE и на специально созданной по Докладам Российской Федерации неофициальной рабочей группе (НРГ-IWG) по ПИЧ (Программа измерения твёрдых частиц):

Комментарии представителей Европейских производителей шин:

- Российская Федерация представила доклад GRPE-65-20) "О выбросе твердых частиц автомобильными шинами". Первоочередное внимание делегации Российской Федерации сосредоточено на проблеме ЧИШД (Частиц, возникающих в результате Износа Шин и Дорожного покрытия), так как по проведенным исследованиям ГПУ «Мосэкомониторинг» "основным загрязнителем городского воздуха в Москве (до 60% загрязняющих и опасных для здоровья веществ) является истертая в мелкую пыль резина автомобильных покрышек"[32,35].
- Делегация Российской Федерации представила новый доклад: WP.29-161-22 - (Российская Федерация) "О реальном выбросе твердых частиц автомобильным транспортом"[30]. Также был представлен документ ETRMA (Европейской

ассоциации производителей шин и резиновых изделий), доведенный до сведения COM (Объединенного исследовательского центра).

"Необходимо организовать разработку технических норм, ограничивающих объем выбросов в городской воздух твердых частиц и канцерогенных веществ, вызванных износом шин и тормозных колодок".

- Российской Федерацией представлен новый документ WP.29-161-22 "Об экологической безопасности автомобилей"[32].
- 21 ноября 2013, в Брюсселе состоялась 28-я сессия НРГ (IWG - неофициальной рабочей группы) по ПИЧ (Программа измерения твердых частиц).
- ETRMA приняла участие в качестве нового участника ПИЧ в GRPE.

ETRMA презентовала Доклад: "Анализ содержащихся в воздухе ЧИШД" на основе исследований Рабочей группы по технологической и инновационной политике WBCSD (Всемирного бизнес-совета по устойчивому развитию) GRPE-PMP-29-04 (F. Peters).

- «Доклад GRPE-68-10 (Российская Федерация) - "О рассеивании твердых частиц в городском атмосферном воздухе в результате износа шин и дорожного покрытия" и устное выступление представителей Российской Федерации (те же положения, что и указанные выше)»[33]; ETRMA принимали участие, но не представили докладов!
- Вебинар ETRMA 3 февраля 2014 г. с председателем ПИЧ ЕЭК ООН и экспертом Объединенного исследовательского центра (доклад Рабочей группы по технологической и инновационной политике WBCSD по анализу литературы, посвященной выбросам частиц, образующихся в результате ЧИШД и изнашивания тормозов). Представлена подробная презентация ETRMA о степени изучения вопроса.
- 69-я сессия GRPE ЕЭК ООН, 5-6 июня 2014.

Рассматривается документ GRPE GRPE-69-03 от Российской Федерации Представлен документ GRPE-69-24 - Комментарии группы по ПИЧ к документу GRPE-69-03, представленному Российской Федерацией.

"Группа по ПИЧ предлагает рабочую программу в том числе с целью разработки ряда рекомендуемых методологий осуществления выборки измерений для решения данной проблемы. В случае, если GRPE одобрит подход и предложенную рабочую программу, группа по ПИЧ хотела бы пригласить экспертов из Российской Федерации принять участие в запланированных мероприятиях [в НРГ по ПИЧ] в сфере выбросов частиц, не связанных с сжиганием топлива. Основываясь на опыте уже проделанной работы и интересе, проявленном к данному вопросу, группа по ПИЧ пришла к мнению, что Российская Федерация может внести ценный вклад в дискуссию".

- На 37-й сессии НРГ по ПИЧ (8 октября 2015) – Представлен доклад PMP-37-07 - Презентация ETRMA – «Результаты Глобальной программы по отбору проб WBCSD TIP PM10 & 2.5».

В итоге проведённых обсуждений международными специалистами группа НРГ ПИЧ объявила Новую поставленную задачу на ближайший период: Измерение твердых частиц (PM), образованных в результате износа шин и дорожного покрытия:

- Продолжать мониторинг текущих проектов и публикуемой информации касательно физической природы и классификации по размеру частиц выбросов, образованных в результате износа шин и дорожного покрытия.
- В январе 2019 года предоставить отчет о статусе изучения вопроса и следующих рекомендуемых шагах для рассмотрения GRPE.
- Неофициальная группа по Программе измерения твердых частиц должна выполнить указанные в данном разделе задачи к июню 2019 года. Продление и расширение мандата группы в отношении вышеуказанных задач должно быть своевременно рассмотрено GRPE.

## 4.2. Реакция и комментарий зарубежных производителей шин на материалы Российской Федерации о выбросах твердых частиц от износа шин.

Итак, рассмотрим комментарии европейских производителей шин (ETRMA) к представленным документам Российской Федерации на WP-29 и GRPE – КВТ ЕЭК ООН.

В вышеуказанных документах утверждается, что воздействие выбросов твердых частиц, образующихся от шин, может представлять опасность для здоровья вследствие малого размеров частиц и объемов их выбросов в атмосферу.

Данное заявление подтверждается приведенными ссылками на 2 исследования:

- Montague P., Tyre Dust, 1995 (3800-6900 частиц шин / м³ в воздухе на шоссе с умеренной интенсивностью движения, > 58% данных частиц размером меньше 10 мкм);
- Российское научное исследование, 2009 ("основным загрязнителем воздуха в Москве - до 60% загрязняющих и опасных для здоровья веществ - является истертая в мелкую пыль резина автомобильных покрышек") признается недействительным по результатам Рабочей группы по технологической и инновационной политике WBCSD / Проекта шинной промышленности (TIP) - см. ниже - Результаты Глобальной программы по отбору проб.

Данные Российские документы, также ссылаются на оценку пыли от износа шин (по массе) в зависимости от среднего срока службы шины, выраженного в милях пробега для различных категорий транспортных средств: легкового автомобиля, легкого коммерческого автомобиля (LCV) и грузового автомобиля (CV). На основании данных показателей определяется средний коэффициент выброса (г пыли от износа шин на км) для каждой категории транспортного средства и сравнивается с (Правила ООН №49 и 83) ограничениями по выбросам твердых частиц для выхлопных газов двигателей

(соответствующей категории транспортного средства), демонстрируя превышение ограничений в 6-7 раз для легковых (PC) и почти в 5 раз для легких коммерческих автомобилей (LCV). Во-первых, рассчитанные коэффициенты выброса представляются завышенными по сравнению с указанными в литературных источниках и актуальными данными ETRMA. Во-вторых, коэффициент выброса ЧИШД должен зависеть от содержания в атмосфере твердых частиц PM10, а не от общего количества частиц. Наконец, Mathissen et al. 2011 приходят к заключению, что коэффициент выброса ультрамелких частиц, образующихся от шин, имеет второстепенное значение в сравнении с новым ограничением ЕС по выбросам частиц для дизельных легковых автомобилей.

**Актуальная научная информация Европейских представителей в поддержку позиции ETRMA Программа TIP WBCSD.**

Проект шинной промышленности (TIP), организованный в январе 2006 по инициативе руководителей крупных предприятий по производству шин, действующий под эгидой Всемирного бизнес-совета по устойчивому развитию (WBCSD), нацелен на выявление и решение вопросов, связанных с потенциальным воздействием на здоровье и окружающую среду материалов, имеющих отношение к производству и использованию шин.

Текущей основной задачей научно-исследовательской работы TIP является содействие лучшему пониманию поведения и возможного воздействия частиц, образующихся в результате обычной эксплуатации шин и их износа.

**Что такое частицы "от износа шин" (ЧИШД)?**

Следует отметить, что, говоря о частицах, которые сдираются с шин в результате трения о дорожное покрытие, мы имеем в виду частицы, возникающие в результате износа шин и дорожного покрытия (ЧИШД). Благодаря исследованию TIP2 [37], мы установили, что предыдущая формулировка не отражала реальность и, фактически, в окружающей среде частицы протекторов шин не существуют в отдельности - частицы

изнашивающегося протектора шины всегда смешиваются, по крайней мере, с частицами дорожного покрытия, таким образом уменьшая в твердых частицах долю резины по массе.

**Исследование, проведенное TIP и его результаты.**

Отчет The State of the Knowledge (июль 2008) продемонстрировал, что понимание данных частиц ограничено. Кроме того, остро стоит вопрос о методах, используемых для выявления частиц при отсутствии на данный момент стандартных аналитических методов или методов сбора данных.

Чтобы восполнить данный пробел, группа TIP запустила научно-исследовательский проект для изучения состава и динамики данных частиц и их потенциального воздействия на здоровье человека и окружающую среду.

**Размерное распределение ЧИШД.**

Согласно тому же автору (Kreider et al., 2010) [24], размеры частиц, образованных в результате износа на асфальтовом покрытии, находились в пределах 4-350 мкм со средним значением 105 мкм и на бетонном покрытии: 1-149 мкм со средним значением 77 мкм.

Следовательно, средний размер ЧИШД составляет приблизительно 80-100 мкм. Данный размер частицы осадочный по своей природе и будет откладываться главным образом на дороге или около дороги. Существует возможность попадания данных частиц в водную среду посредством стоков с дорожного полотна.

**Глобальная программа по отбору проб TIP WBCSD.**

Глобальная программа по отбору проб проводилась, чтобы определить количество частиц, возникающих в результате износа шин и дорожного покрытия (ЧИШД), в атмосферном воздухе для понимания их потенциального воздействия на человеческий организм и общую долю данных частиц в твердых частицах PM10. Отбор проб производился в Европе, Соединенных Штатах и Японии, а места отбора проб выбирались таким образом, чтобы представлять различные условия, включая центры и сельской, и городской местности, а также в каждом из жилых, коммерческих и развлекательных

объектов воздействия загрязняющих веществ. Пробы воздуха анализировались с использованием утвержденных химических стандартов для резинового полимера, основанных на методе пиролиза.

Результаты исследований [38] показали, что: средние концентрации ЧИШД в атмосферном воздухе в составе твердых частиц PM10 были низкими, варьируясь от 0,05 до 0,70 мкг/м3, т.е. более чем в 1000 раз ниже, чем изучавшаяся концентрация 112 мкг/м3, которая не проявила никаких негативных последствий. Это означает средний уровень концентрации 0,84% в PM10 (т.е. ЧИШД составляют менее 0,1% массы всех PM10). Это независимо подтверждает предыдущее исследование, в котором предполагается, что ЧИШД содержатся в PM10 в низких концентрациях, а их источником преимущественно является дорожное покрытие (Kreider et al.2009) [37].

Вывод: концентрации в воздухе были ниже предельных значений токсикологического тестирования, что свидетельствует о низком уровне риска, связанного с воздействием ЧИШД в окружающей среде.

**Коэффициенты выбросов износа шин и сравнение с ограничениями выброса частиц с выхлопными газами.**

Исходящие данные Российской Федерации (2013) для расчета интенсивности износа протектора шин автомобильного транспорта, эксплуатирующегося в России приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

| Автомобиль | Износ одной шины, кг | Пробег шины до полного износа км | Интенсивность износа шины | |
|---|---|---|---|---|
| | | | г/100 км | г/км |
| Легковой автомобиль | 1,4-1,9 | 45-60.000 | 3,3 | 0,33 |
| Легкий коммерческий автомобиль (до 3,5 т) | 3,2-4,0 | 65-75.000 | 5,1 | 0,51 |
| Грузовой автомобиль | 12,7-17,7 | 80-85.000 | 18,7 | 1,87 |

Сравнение с исходными данными, предоставленными членами ETRMA в рамках проекта Оценки жизненного цикла шин ETRMA 2013 года, и

исходными данными исследования Организации прикладных научных исследований Нидерландов (TNO) показывает, что коэффициенты потерь на износ, о которых сообщили представители Российской Федерации, представляются высокими, особенно для грузовых автомобилей.

Этот факт имеет свое объяснение: при эксплуатации шин в условиях России последние имеют значительно меньший пробег ≈2,7 раза, чем на дорогах Западной Европы.

**Европейский источник: Оценка жизненного цикла шин ETRMA (предварительный вариант финальной версии, 2013).**

Европейские производители шин в своих комментариях к представленным документам Российской Федерацией согласны с расчетом массы износа протектора шин легковых и грузовых автомобилей, однако они отмечают, что легковые и грузовые шины, эксплуатирующиеся в Западной Европе за свой жизненный цикл имеют гораздо большие пробеги, чем шины в условиях России. Эти данные приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

| Автомобиль | Износ одной шины (кг) | Пробег (км) | Интенсивность износа | |
|---|---|---|---|---|
| | | | г/100 км | г/км |
| Легковой автомобиль (PC) | 1,14 (RH) | 40.000 (RH) | 2,83 | 0,283 |
| Грузовые автомобили (CV) | 11,86-13,34 (LH) | 210-230.000 (LH) | 5,51-5,96 | 0,551-0,5961 |

Условные обозначения: RH (региональные перевозки); LH (перевозки на дальние расстояния); PC (легковой автомобиль); CV (грузовой автомобиль)

**Источник: Отчет Организации прикладных научных исследований Нидерландов (TNO) (2003).**

Краткое изложение ключевых параметров динамики частиц, образованных в результате износа шин, согласно литературному обзору и анализу в данном отчете. Частицы PM10, выделяемые в результате износа протектора шин и дорожного покрытия (ЧИШД) приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

| Тип автомобиля | Масса частиц PM10, возникающая в результате износа протектора шин и дорожного покрытия (ЧИШД) | | Количество ходовых шин на автомобиле, шт. |
|---|---|---|---|
| | мг км$^{-1}$ шина$^{-1}$ | г/км | |
| Легковые автомобили | 20 -30 | 0,02 – 0,03 | 4 |
| Мотоциклы | 20 - 30 | 0,02 – 0,03 | 2 |
| Автомобили-фургоны | 25 - 40 | 0,025 – 0,04 | 4 |
| Грузовые автомобили | 50 - 70 | 0,05 – 0,07 | 6 - 14 |

Кроме того, научная статья продемонстрировала практический метод измерения, пригодный для измерения ультрамелких частиц, образующихся от летних шин, в режиме реального времени на внедорожнике (SUV) и установила верхний предел коэффициента выброса частиц PM10, возникающий в результате износа протектора шин и дорожного покрытия (ЧИШД) 1 x $10^{11}$ на км при движении на установившемся режиме. Автор приходит к заключению, что "по сравнению с новым ограничением ЕС по выбросам частиц 6 x $10^{11}$ на км для дизельных легковых автомобилей, которое вводит в практику эффективные фильтры твердых частиц, настоящий коэффициент выброса имеет второстепенное значение".

Итак, на основании представленных материалов, можно констатировать, что величины износа (интенсивность износа) шин по данным Российской Федерации и ETRMA практически совпадают. Разница только по интенсивности износа шин на грузовых автомобилях, объясняется тем, что принят для расчетов пробег автомобилей в 2,7 раза больше.

## 4.3. О выбросе ЧИШД и ПАУ (полициклических ароматических углеводородах).

Что касается заявленной угрозы здоровью в связи с канцерогенностью

веществ, образующихся в результате износа шин, таких как ПАУ и летучие N-нитрозамины в высокоароматических маслах, используемых при производстве шин, Kreider et al (2010) также приходит к заключению, что "Классом химических веществ, представлявших особый интерес в данном исследовании, являлись ПАУ ввиду использования высокоароматических масел, содержащих ПАУ, при производстве шин. В 2003 году предполагалось, что шины являются основным источником ПАУ в окружающей среде, и в результате Европейский союз запретил использование высокоароматических масел в производстве шин, так как они содержат ПАУ. В соответствии с этим решением ETRMA считают, что шины с весьма малой долей вероятности являются основным источником содержания ПАУ в дорожной пыли (<150 мкм), о чем свидетельствует низкая концентрация ПАУ в частицах, возникающих в результате износа шин по сравнению с частицами дорожного покрытия (Macias-Zamora et al., 2002; Rogge et al., 1993; Takada et al., 1990; Zakaria et al., 2002)".

## 4.4. Сопоставление ранних результатов Российских и зарубежных исследований и вновь представленных материалов Европейских производителей шин.

Итак, выше изложена реакция Европейских представителей шинной промышленности (ETRMA) или научных публикаций, на которые они ссылаются [24,37,38], что износ шин весьма мал по сравнению с выбросами ТЧ в отработавших газах или от дорожного полотна (подразделы 4.2.2; 4.2.6; 4.2.7).

Удивительно, что специалисты ETRMA и их научные покровители, как бы даже не знакомы с работой [16], в которой анализируются результаты измерений износа шин транспортных средств малой грузоподъёмности, проведёнными 35 исследователями разных стран в период с 1971 г. по 2004 год. В этой работе представлен (Рисунок 4.1) по износу шин в граммах на машино-км, где зафиксированы величины износа в диапазоне от 0,07 до 1 г/маш.км.

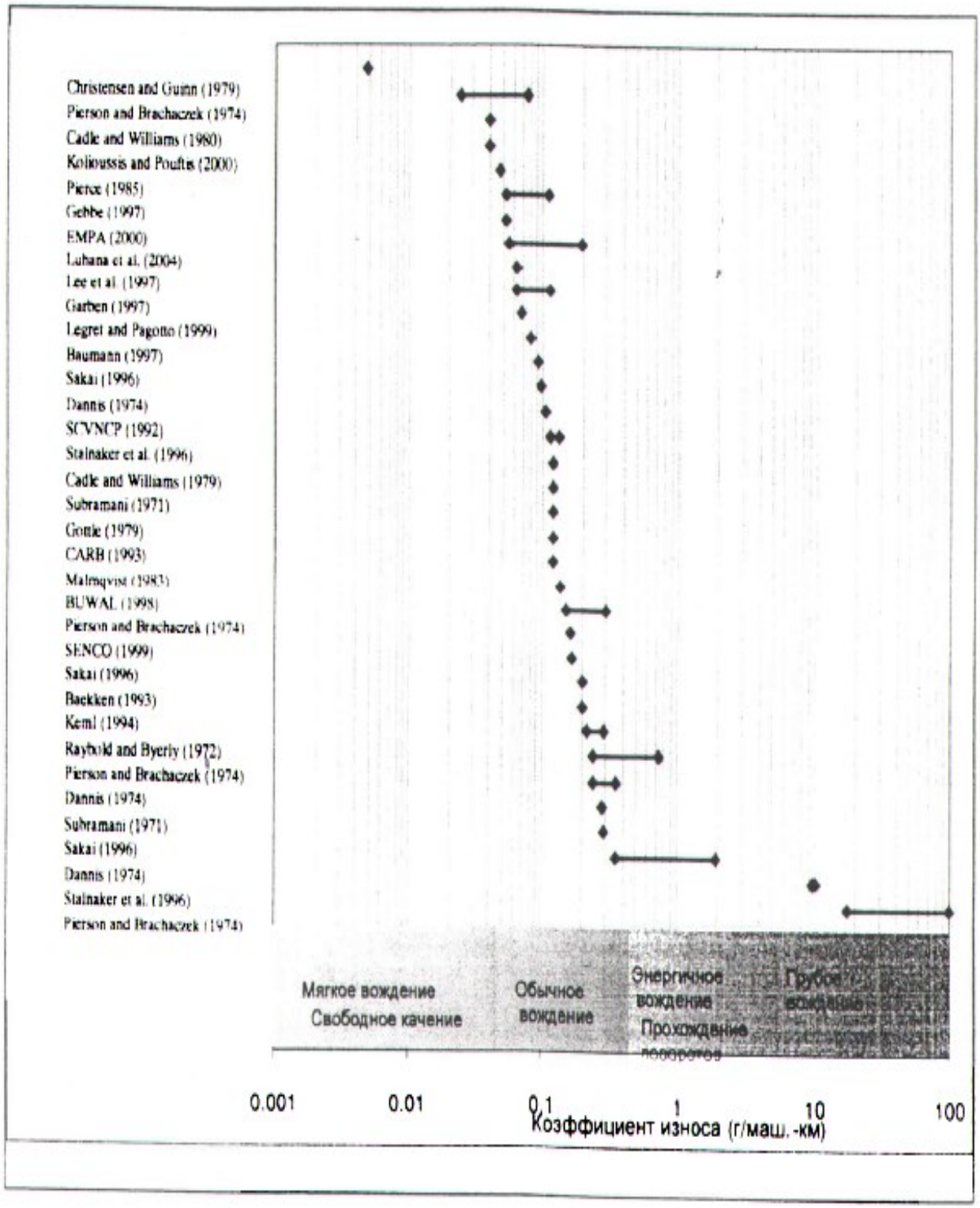



Рис. 4.1. Коэффициенты износа протектора шин транспортных средств малой грузоподъёмности (Boulter, 2005 г.). «маш.-км» = «машино-километр»

Следует отметить, что величины износа от 0,07 до 0,2 г/маш.км зафиксированы в исследованиях от 1996 по 2004 год, а величины износа выше 0,2 г/маш.км (от 0,2 до 0,6 г/маш.км) отмечались при измерениях, проведённых

с 1971 по 1996 годы, что хорошо согласуется с результатами российских работ [3,12,13,14,15,39], в которых приведены расчётные величины износа комплекта шин легковых автомобилей на уровне 0,13 г/км, а автомобилей до 3,5 тонн-0,32 г/км.

И далее, ETRMA объявив глобальную программу исследований по оценке величин твёрдых частиц, доказывают (Раздел 4.2.6 и 4.2.7), что размеры частиц, образованных от износа (чего не указывают) на асфальтовом покрытии находятся в пределах от 4 до 350 мкм, а их средний размер частиц находится в интервале 80-100 мкм, и поэтому он оседает на поверхности дорожного полотна, не представляя опасности для здоровья человека!

Таким образом, по мнению ETRMA, величины износа ТЧ от 4 до 80 мкм, как бы не существуют!

И ещё делается вывод, что средние концентрации ЧИШД измеренные по программе ПР WBCSD, были от 0,05 до 0,70 мкг/м$^3$, т.е. ЧИШД составляет менее 0,1% массы всех PM10 ($ТЧ_{10}$), т.е. износа шин нет!!!

И в то же время в материалах ETRMA (таблица 2), появляются данные по износу шин легковых автомобилей, которые корреспондируются с российскими материалами исследований, доказывая существенный выброс шинной пыли в атмосферу на уровне 2,83 г/100 км (0,283 г/км) от одной шины, что корреспондируется с величиной 0,33 г/км в публикациях Российской Федерации [3,15,31,39]. Так где же правда в материалах ETRMA и где искать истинную величину выбросов на основании большого числа проведенных исследований?

Что касается материалов по канцерогенной опасности твёрдых частиц от износа шин и асфальтового покрытия дорожного полотна, в которых содержатся канцерогенные полициклические ароматические углеводороды и N-нитрозалины, то действительно производителями шин принимаются меры по некоторому уменьшению их использования, однако это нельзя сказать об асфальтовом покрытии дорожного полотна.

На рисунке 4.2 приведены сравнительные материалы проведённых в НАМИ исследований по величинам выбросов твёрдых взвешенных частиц $ТЧ_{10}$ и менее от эксплуатации АТС в городских условиях на примере города Москва, а также оценку прогноза по изменению их выброса до 2030 года [39]. Эти результаты были получены на основе обобщённых материалов, представленных в зарубежных работах [16], в российских работах [15,18,29,39] и Докладах Российской Федерации в WP-29 и GRPE[30,31,32,33.34].

Эти исследования показали, что выбросы твёрдых частиц от износа шин и тормозных систем сегодня в 10 раз больше, чем выбросы ТЧ с отработавшими газами дизельных автомобилей по нормативам Евро-6 действующих в Европе!

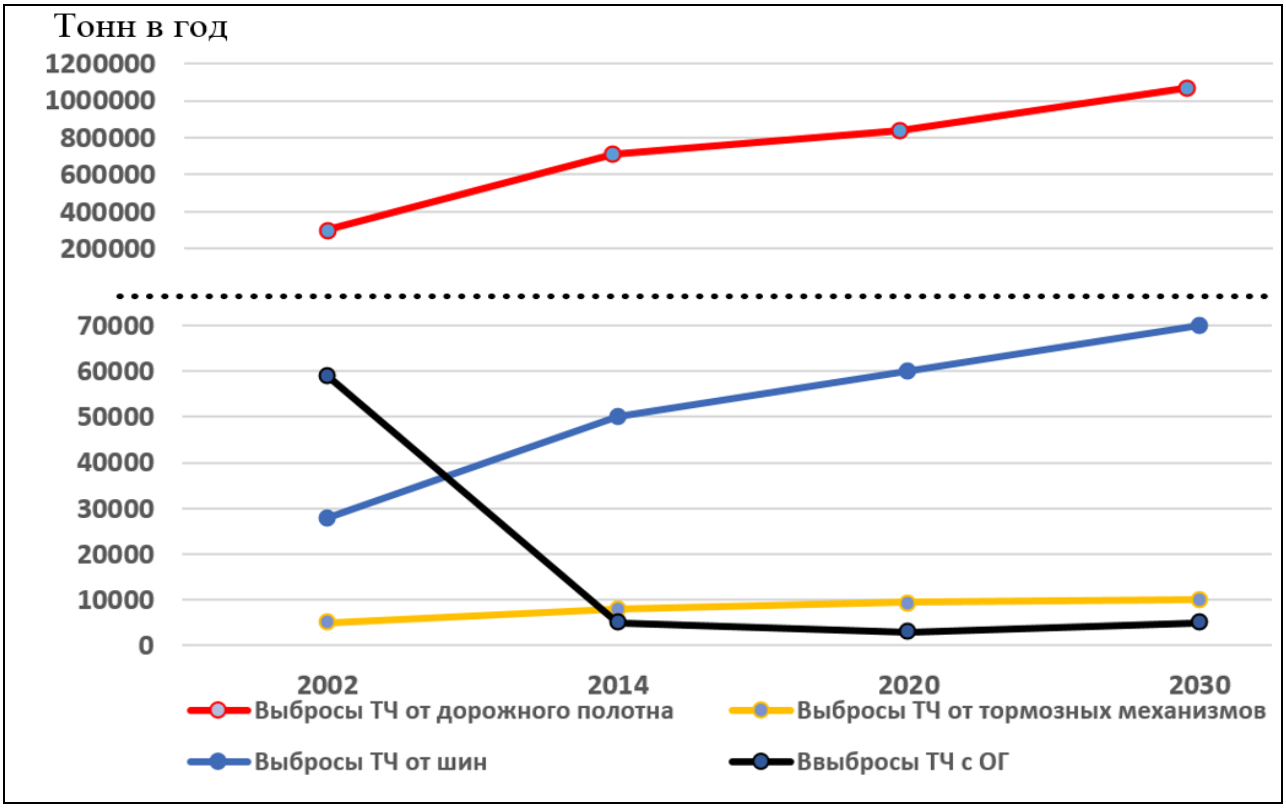



Рис. 4.2. Изменение и прогноз ежегодных общих выбросов твёрдых частиц с отработавшими газами, от износа шин, тормозных механизмов и дорожного полотна с 2002 г. по 2030 г. в г. Москве в тоннах

Выбросы ТЧ от износа дорожного полотна более, чем в 500 раз превышают нормативы допустимых выбросов ТЧ с отработавшими газами!

Из представленных материалов видно, что с введением в Европе после 2010 года международных нормативов Евро-5 и Евро-6 (после 2014 года) Правилами ООН на выброс вредных веществ с отработавшими газами, в настоящее время, определяющими основное загрязнение воздушной среды городов, становятся выбросы от износа асфальтового покрытия дорожного полотна, от износа шин и тормозных накладок, которые не нормируются ни каким законодательством, ни в одной стране и, тем более Правилами ООН!

Важно, в связи свыше изложенными материалами сравнительных выбросов $ТЧ_{10}$ обратить внимание на информационный бюллетень Всемирной организации здравоохранения [27] и Российского онкологического портала [28], приводящих статистические данные по заболеваемости человека раком лёгких. Ежегодно регистрируют более 1 000 000 новых случаев рака легких по всему миру, из них 60 000 в России, прирост заболеваемости при этом составляет 5-8% [27,28].

В структуре онкологической смертности рак легкого занимает 31%. Основная группа пациентов - мужчины старше 50 лет, хотя в последнее время наблюдается тенденция к омоложению заболевания. Доля пациентов младше 45 лет составляет 10%, от 46-60 лет - 52%, 61 и старше - 38% [27,28].

За 40 лет заболеваемость раком легкого значительно возросла в развитых и развивающихся странах по всему миру. Максимальные показатели заболеваемости зарегистрированы в Европе и США, минимальные – в Восточных странах [27].

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) официально признала грязный уличный воздух онкогенным фактором, вызывающим рак легких у горожан. Ученые доказали, что воздух на улице провоцирует развитие рака так же, как и курение, ультрафиолетовое излучение или, например, тяжелый радиоактивный металл плутоний [27].

Международное агентство по изучению рака (МАИР), специальное подразделение Всемирной организации здравоохранения, называет особо опасными веществами твердые примеси и выхлопы транспортных средств.

Воздух становится «ядовитым» из-за транспорта, стационарных энергоблоков и промышленных выбросов.

Получается, онкогенным становится воздух практически в любом крупном мегаполисе. При этом концентрация вредных веществ может очень сильно различаться в разных районах мира, но понятно, что речь идет о промышленно развитых районах.

Итак, на основании анализа Европейских дискуссий на сессиях GRPE по предварительным материалам от Российской Федерации и результатов Европейских и американских исследований и материалов от Европейских производителей шин (ETPMA), можно констатировать, что существует серьезная проблема с загрязнением воздушной среды городов, которая требует от мировой научной общественности и от государственных служб принятия срочных организационных мер и мероприятий по решению этой глобальной проблемы, на которую раньше не обращали внимания, - загрязнения воздушной среды городов, от износа шин, тормозных механизмов и дорожного полотна, приводящих к образованию смога в крупных городах Европы.

И тем более не понятен, настойчивый уход Европейских производителей шин (ETRMA) от понимания и признания результатов исследований, выполненных рядом зарубежных и российских исследований, вскрывающих истинную причину образования смога и роста заболевания человека раком легких в крупных городах и мегаполисах, прежде всего в США и в Европе.

В связи с вышеизложенным необходимо дополнительное современное проведение исследований по определению реальных выбросов ТЧ менее 10 микрометров от износа дорожного асфальтового полотна и от износа шин.

# Глава 5.

## Экспериментальные исследования дисперсности твердых частиц и объемов их выбросов, от автомобилей на различных режимах движения в городских условиях.

Как было проанализировано в предыдущих главах, современные экологические проблемы крупных городов происходят по причине недостаточного внимания к загрязнению городского воздуха твердыми частицами от износа шин и асфальто-дорожного полотна.

Европейские представители в GRPE, в лице Европейской ассоциации производителей шин (ERTMA), при оценке величин выбрасываемых твердых частиц опираются на единичные исследования, которые констатируют, что размеры частиц от износа шин на асфальтовом покрытии находятся в пределах от 4 до 350 мкм при среднем размере 80-100 мкм и, поэтому «по их мнению» они оседают на поверхности дорожного полотна и не представляют опасности для здоровья человека [37,38]. В связи с этими выводами, твердые частицы ТЧ от 4 до 80 мкм выпали из анализа выбросов ТЧ от автомобильного транспорта, средства (АТС), эксплуатирующегося в крупных городах, однако ряд зарубежных независимых и российских исследователей представили результаты измерений, в которых суммарные выбросы ТЧ от износа шин и дорожного полотна более, чем в 500 раз превышают нормативы допустимых выбросов ТЧ с отработавшими газами [16,31,32,39].

Решение проблемы повышающегося в последние годы загрязнения воздушной среды городов невозможно без исследований процессов износа современных шин и дорожного полотна при движении АТС. Решение этих проблемных вопросов и является целью экспериментальной части настоящего диссертационного исследования.

С целью определения реального выброса ТЧ и их дисперсности при движении автомобиля была специальная разработана методика

исследовательских работ, которая предусматривала решение следующих задач:

1. Методология и процедура технологии отбора проб выбросов твердых частиц от движущегося АТС;

2. Исследование влияния различных режимов движения АТС на дисперсность и величину выбросов ТЧ от износа шин и дорожного полотна.

При выборе места отбора выбросов твердых частиц, необходимо учитывать, что при движении автомобиля вокруг его создается воздушный поток, состоящий из ламинарных и турбулентных слоев. Ламинарный воздушный поток обладает постоянными характеристиками, зависящими от конструктивных особенностей автомобиля. На него практически не оказывает влияние наличие других потоков воздуха. Поэтому место отбора проб выброса твердых частиц необходимо проводить в ламинарной части воздушно-пыле вого потока до образования его турбулентной части. Таким местом, по нашему мнению, является зона, следующая сразу за выходом протектора шины автомобиля из пятна контакта её с дорожным покрытием на расстоянии, не более чем 100-150 мм с забором пробы по ширине шины.

Такое жесткое ограничение по месту отбора пробы было определено в наших исследованиях в отличие методов отбора проб в ранних зарубежных и российских исследованиях, которые и определяли те расхождения в получаемых ранее результатах [18,24,29,37,38]

Представленные рассуждения подтверждаются рисунком 5.1, на котором наглядно показаны ламинарные и турбулентные потоки воздушно пылевой смеси при движении автомобиля.

Учитывая, что наибольшую нагруженность в пятне контакта шины с дорожным полотном создают ведущие колеса автомобиля, то отбор проб должен производиться из-под них.

## 5.1. Аппаратура для проведения исследований и условия проведения экспериментальных исследований.

С целью качественного и надежного подвода воздуха с содержащимися в нем выбросов ТЧ 10 микрометра и менее, была разработана система принудительного подвода измеряемой воздушно-пылевой пробы к прибору Lighthouse HANDHELD 3016.

Рис.5.1. Потоки воздуха с пылью, заполненной выбросами от износа полотна дороги и шин

Указанный прибор ориентирован на ручной замер ТЧ оператором.

Применяемый измерительный прибор Lighthouse HANDHELD 3016 обладает эргономичным дизайном и небольшой массой. Счётчики частиц Lighthouse HANDHELD представляют собой новейшие и наиболее совершенные ручные счётчики частиц.

Комплекс измерительной аппаратуры, состоит из автопылесоса Black & Decker PAD 1200, пластиковых трубопроводов, кронштейнов крепления трубопроводов к корпусу автомобилей и измерительного прибора Lighthouse HANDHELD 3016.

Для крепления приемной трубы в месте отбора проб твёрдых частиц сконструирован кронштейн с возможностью изменения высоты отбора.

Применяемый автопылесос Black & Decker PAD 1200 использует автомобильный источник питания 12V постоянного тока. Размеры автопылесоса позволяют удобно разместить его в салоне автомобиля.

Для подачи отбираемых проб используются пластиковые трубопроводы с внутренним диаметром 33 мм, который обеспечивает надежное плотное соединение с пылесосом. В трубопровод встроена пластиковая трубка с внутренним диаметром 11мм, в которую вставляется приемная трубка измерительного прибора Lighthouse HANDHELD 3016.

Скорость отбираемой пробы воздушной смеси с продуктами износа в пластиковом трубопроводе определялась анемометром Digital ZC 16100.

Такая система принудительного подвода измеряемой воздушно-пылевой пробы позволяет отбирать её со скоростью 50 км/ч (13,5 м/сек). Учитывая длину пластикового трубопровода 4,0 м конкретная проба воздуха от точки забора до измерительного прибора обеспечивается за **0,3-0,4 сек**.

На **рисунках 5.2. – 5.4.** показана установка измерительного комплекса на автомобиле NISSAN NAVARA на котором установлены радиальные бескамерные шины фирмы Continental (e4) cross LX contact M+S размером 255/65R17. Представленный автомобиль позволил обеспечить устойчивую работу при всех режимах движения, что было необходимо для получения стабильных результатов замеров твердых частиц, забираемых из контакта шины с дорожным полотном.

Рис. 5.2. Установка измерительного трубопровода на автомобиле

Рис. 5.3. Установка измерительного комплекса в салоне автомобиля

Рис.5.4. Установка приемной трубы для отбора выбросов твердых частиц после контакта шины с дорожным полотном.

Для определения количества и дисперсности выбросов твёрдых частиц в воздушно-пылевой смеси используется ручной лазерный счетчик частиц Lighthouse HENDHELD 3016 производства США (рисунок 5.5), который имеет 6 счетных каналов (размерных диапазонов) и показывает количество частиц в отобранной пробе, а также температуру и относительную влажность.

Рис. 5.5. Ручной лазерный счетчик частиц Lighthouse HANDHELD 3016

Прибор оснащен удобным сенсорным экраном с диагональю 9,25 см. Сменные батареи максимально повышают время работы счётчика HANDHELD. Полученные данные можно легко загрузить в компьютер с помощью программы LMS Express Data Transfer Software.

Счётчик частиц Lighthouse HANDHELD позволяет:

• Выбрать продолжительность отбора пробы и время паузы между измерениями.

• Задать количество измерений, проводимых в одной точке пробоотбора или режиме движения автомобиля.

Прибор может работать в следующих режимах пробоотбора: AUTO (автоматический), MANUAL (ручной), CONCEN (концентрация), BEEP (сигнал).

• AUTO (автоматический): измерения проводятся в соответствии с настройками времени отбора пробы (пауза, время отбора пробы, объём пробы). После нажатия кнопки START прибор продолжает измерения, пока не

будет нажата кнопка STOP или наберётся заданное количество измерений (циклов).

• MANUAL (ручной): после нажатия кнопки START прибор производит одно измерение в соответствии с заданными значениями паузы, времени отбора пробы, объёма пробы.

• CONCENTRATION (концентрация): в этом режиме прибор измеряет концентрацию частиц в прокачиваемом объёме отбираемой пробы. Данные измерений отображаются в главном меню как количество частиц в $м^3$, в соответствии с выбранным временем измерения.

При проведении исследований процессов, связанных с выбросом твердых частиц в атмосферу от автомобилей таких как разгон автомобиля и торможение, ввиду их ограниченной по времени величины решающее значение имеет время измерения.

Счётчик частиц Lighthouse HANDHELD 2016/3016/5016 позволяет проводить один замер в диапазоне от 1 до 5 секунд. Для исследования быстротекущих процессов (разгона и торможения автомобиля) целесообразно использовать режим замера 1 -2 секунды, что позволяет получить от 3 до 6 измерений в зависимости от времени разгона или торможения.

Испытания проводятся при стабильных положительных температурах воздуха.

К качеству дорожного покрытия предъявляются следующие требования: дорожное покрытие должно быть сухим, без посторонних предметов, которые искажают результаты исследований: листва, грязь, наличие следов от колес автомобилей, движущихся с обочины дороги и других.

Соблюдение этих требований позволяет обеспечить надежную работу измерительного прибора Lighthouse HANDHELD 3016 и избежать его засора водой и грязью.

Требования к состоянию системы принудительного подвода измеряемой пробы: перед началом исследований входной шланг пылесоса должен быть чистым, пластиковые трубопроводы и кронштейны крепления трубопроводов

к корпусу автомобилей и измерительного прибора Lighthouse HANDHELD 3016 должны быть надежно закреплены.

## 5.2. Определение дисперсности и величин выбросов твердых частиц при различных режимах движения автомобиля на дорогах с различными покрытиями.

При определении выбросов ТЧ от автомобиля большое значение имеют условия проведения исследований: трасса, состояние покрытия, скоростные режимы движения.

При анализе характера движения автомобиля в городских условиях необходимо учитывать скоростные ограничения движения. Максимальная скорость автомобилей в городе ограничена скоростью 60 км/ч, поэтому все измерения проводились на режимах движения автомобиля (разгон, равномерное движение и торможение происходит в скоростном диапазоне от 0 до 60 км/ч.

Для исследования реального процесса выбросов ТЧ от автомобильного транспорта были выбраны следующие режимы:

Разгон автомобиля от: 0 до 30, 40, 60 км/ч;

Равномерное движение: 20, 30, 40, 50, 60 км/ч.;

Торможение с: 20, 30, 40, 50 км/ч.

Автомобиль должен пройти техническое обслуживание и технический осмотр.

Загрузка автомобилей не должна превышать 75% полезной нагрузки.

Давление воздуха в шинах – номинальное и соответствует ТУ на автомобиль. Перед проведением испытаний давление воздуха в шинах проверяется и при необходимости устанавливается (нормативное).

Перед испытаниями автомобили должны пройти мойку.

Условия проведения экспериментальных исследований.

Для проведения исследований выбросов ТЧ были выбраны три дороги, отличающиеся по интенсивности движения:

1. Служебная дорога на территории НАМИ (не загруженная);

2. Дорога Московского центрального кольца слабо загруженная (МЦК станция «Лихоборы»);

3. Тимирязевская ул. – с плотным интенсивным движением автомобилей.

Автомобиль с аппаратурой устанавливается на месте проведения испытания. Дается выдержка по времени в течении 15 минут. За это время твердые частицы, поднятые колесами автомобиля при заезде его на измеряемый участок дороги, опускаются на поверхность дороги. Замеры проводились над поверхностью дороги – 150 мм.

При определении дисперсности и величин выбросов твердых частиц при различных режимах движения испытуемого автомобиля на дорогах с различной плотностью движения транспортного потока необходимо прежде всего определить фон распределения твердых частиц на поверхности дорожного полотна в зоне проведения исследований.

## 5.3. Виды экспериментальных испытаний и их результаты.

### 5.3.1. Определение фона распределения твердых частиц на поверхности дорожного полотна.

Замеры фона проводились в двухсекундном временном интервале. Результаты замеров представлены в таблице 5.1. и на рисунке 5.6.

Таблица 5.1

| Дорожное полотно | Фон количества твердых частиц в замере за 2 сек. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0,3 мкм | 0,5 мкм | 1,0 мкм | 5,0 мкм | 10,0 мкм |
| Территория НАМИ | 938 | 144 | 128 | 22 | 18 |
| Дорога Московского центрального кольца (МЦК ст. Лихоборы») | 1075 | 150 | 135 | 26 | 20 |
| Тимирязевская ул. | 1156 | 455 | 986 | 112 | 29 |

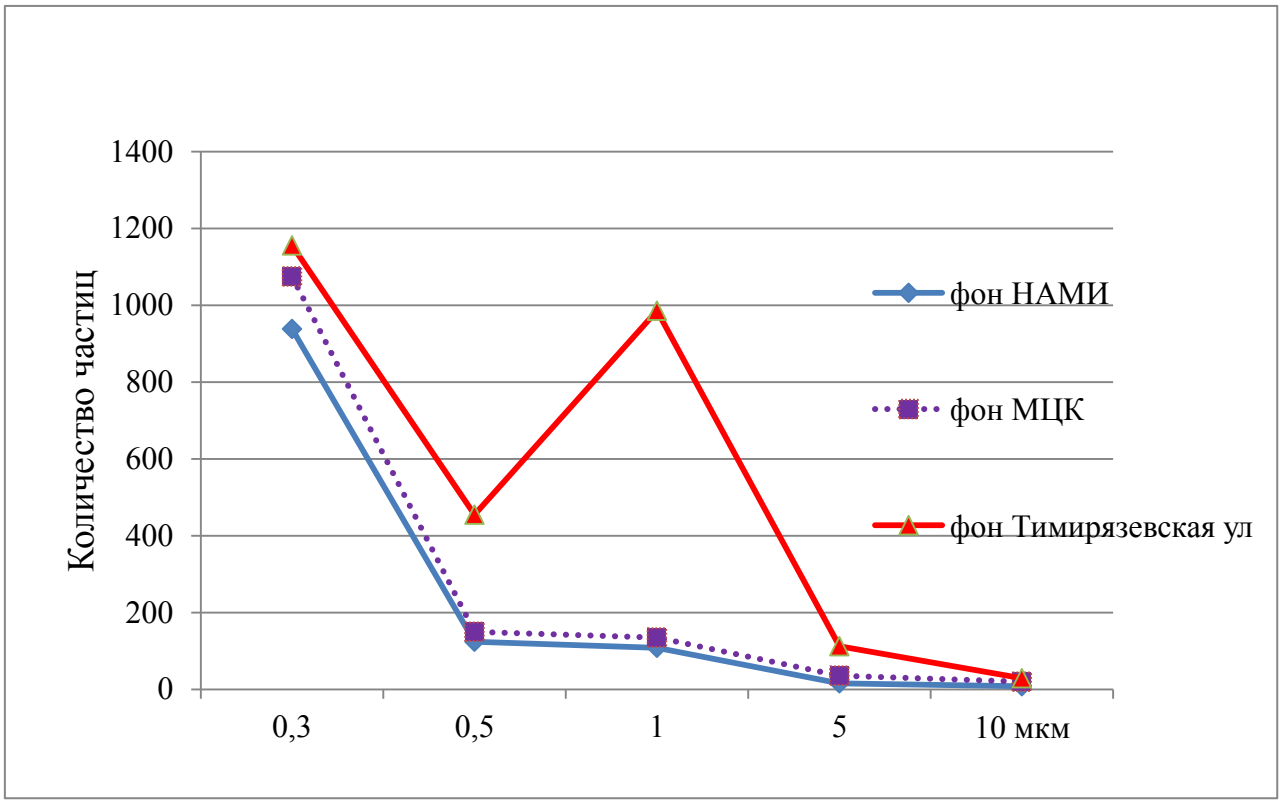



Рис. 5.6. Дисперсность и величины фона твердых частиц менее 10 мкм над поверхностью различных дорог г. Москвы.

Измерения фона и выбросов ТЧ при движении испытуемого автомобиля проводились в дневное время с 12-00 до 14-00 в сухую безоблачную погоду при температуре окружающего воздуха + 21 - 28°С (июнь – июль 2018 г.).

В результате проведенных испытаний выявлено, что количество твердых частиц, находящихся над поверхностью дорожного полотна, создающих загрязнение воздуха, существенно возрастает в зависимости от количества движущихся автомобилей по конкретным улицам. Так на Тимирязевской улице по сравнению с незагруженными улицам, отмечено увеличение фоновых ТЧ размером 0,5 мкм почти в 3 раза, ТЧ размером в 1 мкм в 7 - 8 раз, ТЧ размером 5 мкм в 5 раз, ТЧ размером 0,3 мкм, и 10 мкм – по существу без особых изменений.

Распределение дисперсных твердых частиц в массе выбросов, входящих в фон, составляет: ТЧ 0,3 мкм 43%; ТЧ 0,5 – 16%; ТЧ 1,0 – 36%; ТЧ 5,0 – 4%; ТЧ 10,0 – 1%, т.е. основную массу (95%) твердых частиц над дорожным полотном составляют размеры 0,3; 0,5 и 1,0 мкм.

Следует особо обратить внимание на большое количество частиц размером 0,3 мкм, как постоянно присутствующие на поверхности дорожного полотна различных дорог.

### 5.3.2. Определение выбросов твердых частиц при различных режимах движения автомобиля.

При определении выбросов ТЧ от движения автомобиля большое значение имеет режим проведения исследований: трасса, состояние покрытия, скорость движения.

Наиболее интересным, с точки зрения чистоты эксперимента, представляется следующий режим исследований: исследуемый автомобиль устанавливается на ровный прямолинейный участок дороги, на нем производится замер фона, после чего автомобиль разгоняется с места до скорости замера равномерного прямолинейного движения, автомобиль движется необходимое время для проведения замера и затем производится торможение. При этом производится постоянный двухсекундный замер выбросов твердых частиц в режимах разгона, движения с постоянной скоростью и в режиме торможения.

Такая методология и условия испытаний позволяют получить достоверные данные по дисперсности выбросов твердых частиц из контакта шины с дорожным полотном при движении и оценить суммарный выброс твердых частиц в различных режимах движения автомобиля, на различных дорожных покрытиях.

**Определение выбросов ТЧ при движении автомобиля с постоянной скоростью.**

Результаты определения дисперсности и величин выбросов твердых частиц из контакта шины с дорогой при движении автомобиля с постоянной скоростью по асфальтовой дороге МЦК (станция «Лихоборы») приведены в таблице 5.2. и на рисунке 5.7.

Таблица 5.2.

| Скорость движения автомобиля, км/ч | Выброс количества частиц по размерам в замере 2 сек. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0,3 мкм | 0,5 мкм | 1,0 мкм | 5,0 мкм | 10,0 мкм |
| фон | 1075 | 150 | 135 | 26 | 20 |
| 30,0 | 1569 | 568 | 2021 | 346 | 88 |
| 40,0 | 2055 | 1553 | 5283 | 1043 | 625 |
| 60,0 | 4697 | 3264 | 9834 | 1786 | 669 |

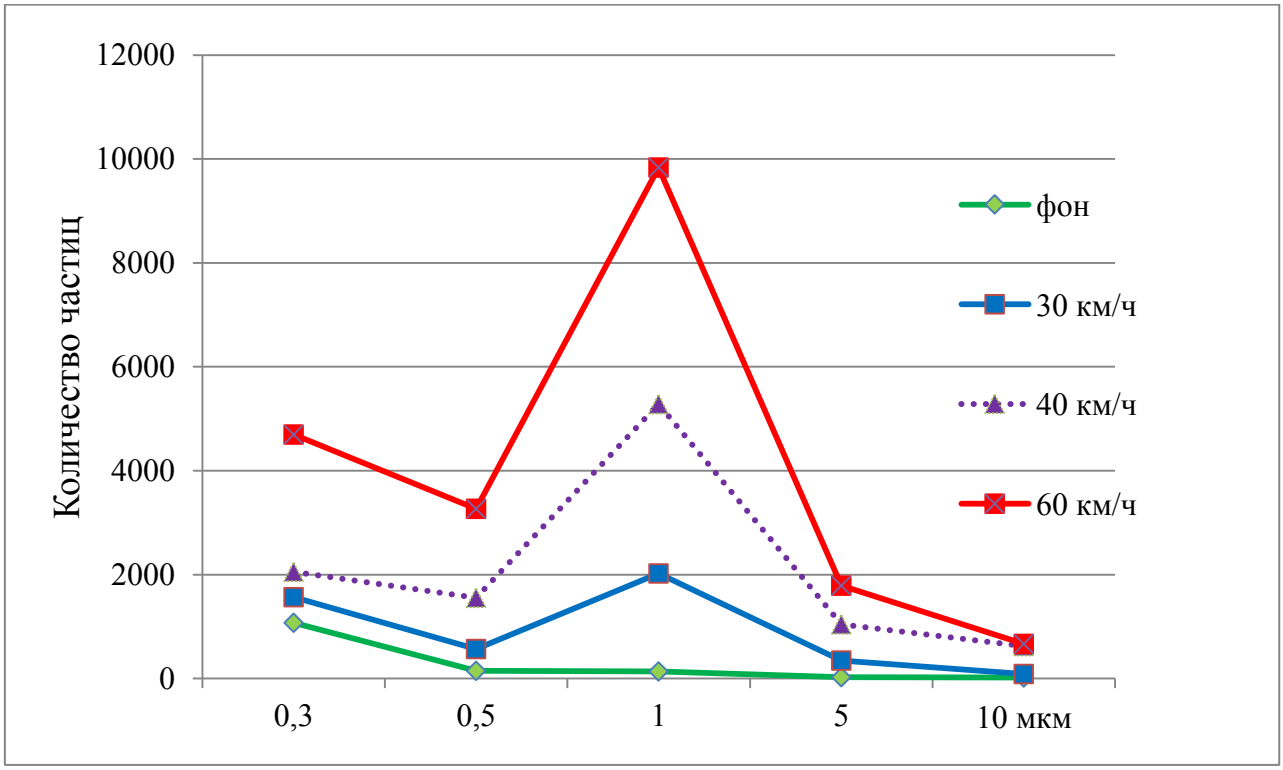



Рис.5.7. Дисперсность и величины выбросов ТЧ при постоянной скорости движения автомобиля

Результаты проведенных исследований, показали, что выбросы ТЧ при постоянных скоростях движения автомобиля значительно превышают фоновые значения и возрастают с увеличением скорости.

Так при постоянной скорости движения автомобиля:

1. На 30 км/ч превышение над фоновым загрязнением воздуха составляет: ТЧ 0,3 мкм в 1,5 раза; ТЧ 0,5 мкм в 4 раза; ТЧ 1,0 мкм в 15 раз; ТЧ 5,0 в 13 раз; ТЧ 10,0 мкм в 4 раза;

2. На 40 км/ч превышение над фоновым загрязнением воздуха составляет: ТЧ 0,3 мкм в 2 раза; ТЧ 0,5 мкм в 10 раз; ТЧ 1,0 мкм в 40 раз; ТЧ 5,0 в 40 раз; ТЧ 10,0 мкм в 31 раз;

3. На 60 км/ч превышение над фоновым загрязнением воздуха составляет: ТЧ 0,3 мкм в 4 раза; ТЧ 0,5 мкм в 22 раза; ТЧ 1,0 мкм в 73 раза; ТЧ 5,0 в 69 раз; ТЧ 10,0 мкм в 34 раза;

Полученные результаты показывают, что с увеличением скорости движения автомобиля от 30 до 60 км/ч происходит рост общего количества выбросов всех измеряемых размеров ТЧ в среднем в 5 раз.

Распределение твердых частиц в общей массе выбросов при постоянных скоростях движения автомобиля 30 – 60 км/ч составляет: ТЧ 0,3 - 23%; ТЧ 0,5 – 16%; ТЧ 1,0 – 49%; ТЧ 5,0 – 9%; ТЧ 10,0 – 3%.

Таким образом важно законстатировать, что основной выброс (> 97%) ТЧ при постоянной скорости составляют частицы размером от 0,3 до 5,0 мкм.

**Определение дисперсности и количества выбросов ТЧ при разгоне автомобиля.**

Определение выбросов ТЧ при разгоне автомобиля осуществлялось не на максимальных подачах топлива (не на максимальной динамике разгона). Движение осуществлялось на дороге МЦК станция «Лихоборы» в режиме одиночного движения. Такой режим движения был выбран для проведения чистых испытаний без учета влияния на выбросы ТЧ от движущихся рядом автомобилей. Результаты испытаний по определению выбросов твердых частиц при разгоне автомобиля на дороге МЦК станция «Лихоборы» представлены в таблице 5.3. и на рисунке 5.8.

Таблица 5.3.

| Разгон автомобиля, км/ч | Выброс количества частиц за 2 сек. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0,3мкм | 0,5 мкм | 1,0 мкм | 5,0 мкм | 10,0мкм |
| фон | 1075 | 150 | 135 | 26 | 20 |
| 0 - 30,0 км/ч | 1231 | 403 | 1732 | 168 | 32 |
| 0 - 40,0 км/ч | 1739 | 1649 | 3885 | 813 | 216 |
| 0 – 50,0 км/ч | 3000 | 2762 | 5614 | 1012 | 370 |

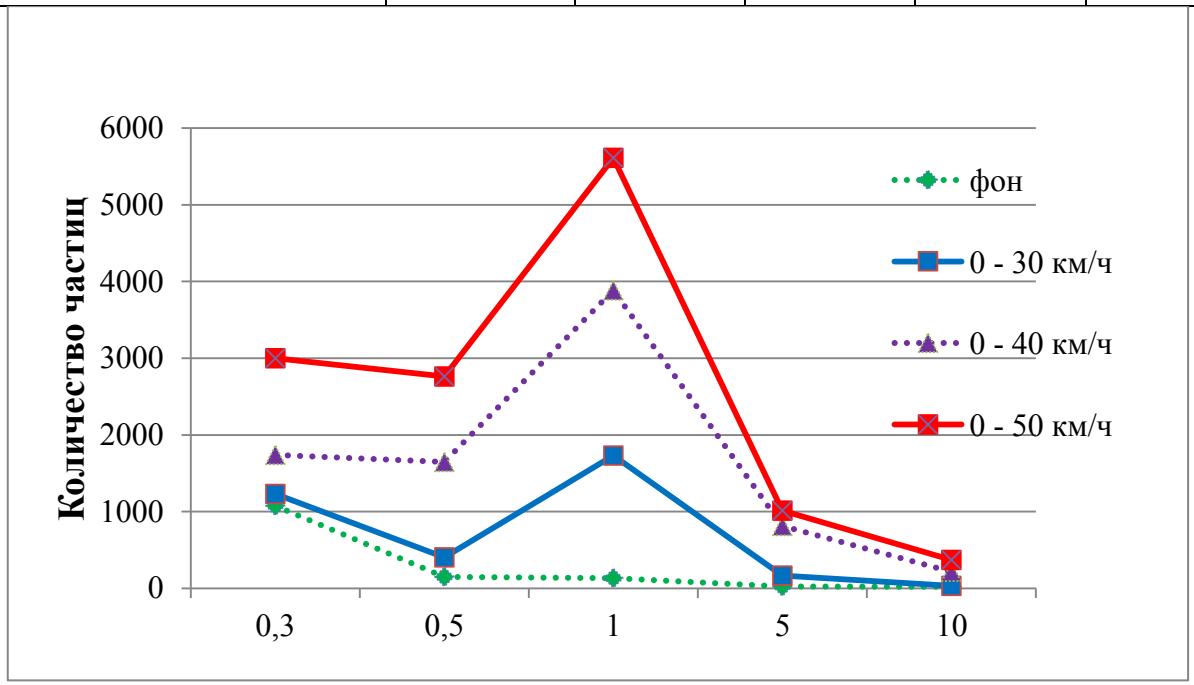



Рис.5.8. Дисперсность и количество выбросов ТЧ при разгоне автомобиля по дороге МЦК станция «Лихоборы»

При разгоне автомобиля с места с увеличением скорости достижения постоянной скорости движения происходит более интенсивный разгон вследствие чего величины выбросов всех измеряемых размеров ТЧ значительно увеличиваются.

Так по сравнению с фоновыми значениями выбросы ТЧ:

1. При разгоне до 30 км/ч выбросы увеличиваются: ТЧ 0,3 мкм в 1,1 раза; ТЧ 0,5 мкм в 3 раза; ТЧ 1,0 мкм в 13 раз; ТЧ 5,0 в 7 раз; ТЧ 10,0 мкм в 1,6;

2. При разгоне до 40 км/ч выбросы увеличиваются: ТЧ 0,3 мкм в 1,6 раза; ТЧ 0,5 мкм в 11 раза; ТЧ 1,0 мкм в 29 раз; ТЧ 5,0 в 31 раз; ТЧ 10,0 мкм в 10 раз;

3. При разгоне до 50 км/ч выбросы увеличиваются: ТЧ 0,3 мкм в 3 раза; ТЧ 0,5 мкм в 18 раз; ТЧ 1,0 мкм в 42 раза; ТЧ 5,0 в 4 раза; ТЧ 10,0 мкм в 18 раз;

Следует особо отметить резкое увеличение выбросов твердых частиц размером 1,0 мкм (в 13 -42 раза) в зависимости от интенсивности разгона до скоростей 30-50 км/час.

Распределение твердых частиц в массе выбросов при разгоне автомобиля составляет: ТЧ 0,3 - 23%, ТЧ 0,5 – 21%; ТЧ 1,0 – 44%; ТЧ 5,0 – 8%; ТЧ 10,0 – 4%.

Таким образом можно утверждать, что основными выбросами ТЧ (98%) при разгоне автомобиля являются частицы размером от 0,3 до 5 мкм, что дополнительно показывает ошибочность позиции Европейских производителей шин (ERNMA).

**Определение выбросов ТЧ при торможении автомобиля.**

Величины выбросов твердых частиц, определенные при торможении автомобиля со скоростей 20–50 км/ч представлены в таблице 5.4. и на рис. 5.9.

Определение выбросов твердых частиц при торможении автомобиля проводились на дороге МЦК станция «Лихоборы».

Таблица 5.4.

| Торможение автомобиля со скорости, км/ч | Выброс количества частиц по размерам за 2 сек | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0,3 мкм | 0,5 мкм | 1,0 мкм | 5,0 мкм | 10,0 мкм |
| фон | 1075 | 150 | 135 | 26 | 20 |
| 20 км/ч | 1380 | 1436 | 3922 | 347 | 74 |
| 30 км/ч | 1684 | 1608 | 5668 | 752 | 85 |
| 40 км/ч | 1829 | 2084 | 7061 | 1026 | 105 |
| 50 км/ч | 3841 | 3800 | 11434 | 1945 | 820 |

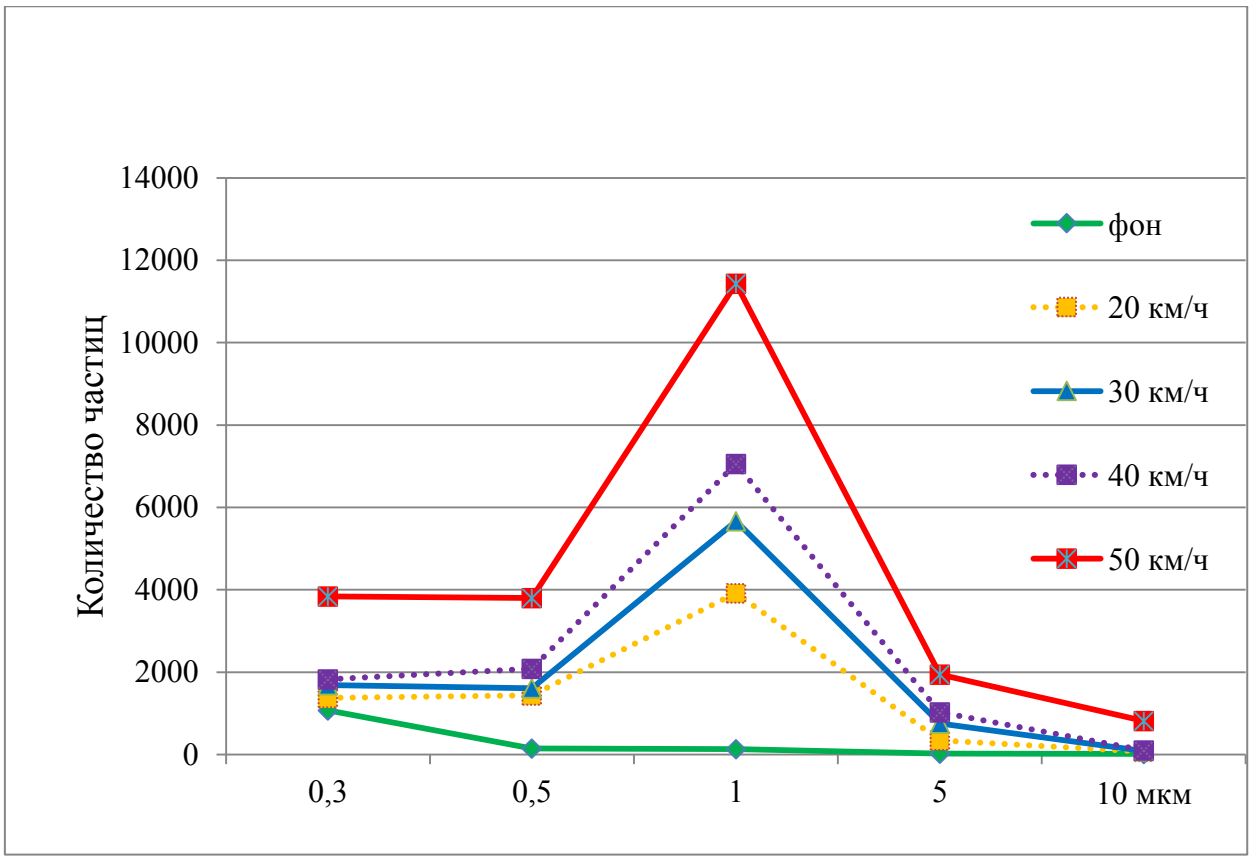



Рис.5.9. Дисперсность и количество выбросов ТЧ при торможении автомобиля со скоростей: от 20 до 50 км/ч

В результате проведенных исследований можно отметить, что выбросы ТЧ при торможении автомобиля существенно превышают фоновые значения. Так при торможении автомобиля со скорости:

1. 20 км/ч превышение выбросов частиц составляет: ТЧ 0,3 мкм в 1,3 раза; ТЧ 0,5 мкм в 10 раз; ТЧ 1,0 мкм в 29 раз; ТЧ 5,0 в 13 раз; ТЧ 10,0 мкм в 4 раза;
2. 30 км/ч превышение выбросов частиц составляет: ТЧ 0,3 мкм в 1,6 раз; ТЧ 0,5 мкм в 11 раз; ТЧ 1,0 мкм в 42 раза; ТЧ 5,0 в 29 раз; ТЧ 10,0 мкм в 4 раза;
3. 40 км/ч превышение выбросов частиц составляет: ТЧ 0,3 мкм в 1,7 раз; ТЧ 0,5 мкм в 14 раз; ТЧ 1,0 мкм в 52 раза; ТЧ 5,0 в 40 раз; ТЧ 10,0 мкм в 5 раз;

4. 50 км/ч превышение выбросов частиц составляет: ТЧ 0,3 мкм до 4 раз; ТЧ 0,5 мкм в 25 раза; ТЧ 1,0 мкм в 85 раз; ТЧ 5,0 в 75 раз; ТЧ 10,0 мкм в 41 раз.

В результате проведённых измерений зафиксировано, что наибольшие выбросы ТЧ при торможении автомобиля с разных скоростей (20, 30, 40, 50 км/ч) имеют частицы размером 1,0 мкм.

Важно, что с увеличением скорости начала торможения автомобиля от 20 до 50 км/ч рост количества выбросов ТЧ увеличивается в 3 раза.

Среднестатистическое распределение дисперсности твердых частиц в общей массе выбросов при торможении автомобиля с различных начальных скоростей движения в интервале от 20 до 50 км/ч составляет: ТЧ 0,3 – 18 %; ТЧ 0,5 – 17%; ТЧ 1,0 – 52%; ТЧ 5,0 – 9%; ТЧ 10,0 – 4%. Таким образом основную массу выбросов (96%) составляют ТЧ размером от 0,3 до 5 мкм.

И так на основании результатов проведенных исследований дисперсности и величин выбросов твердых частиц на различных режимах движения автотранспортных средств в городских условиях, можно констатировать: зафиксированы величины твёрдых частиц в основном 97 % в диапазоне от 0,3 до 5 микрометра, т.е. не более 5 микрометра.

Таким образом разработанная методика исследований позволила провести комплексную оценку дисперсности и величин выбросов твердых частиц по циклу, включающему в себя: разгон автомобиля, движение с постоянной скоростью и при торможении автомобиля.

С целью возможной косвенной оценки полученных результатов выброса ТЧ с нормативами на выброс ТЧ по санитарным нормам предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в окружающем воздухе, приведенных а таблице 1.1. на рисунках 5.10 и 5.11 представлены пересчитанные величины фона на дорогах и величины выброса при движении автомобиля с постоянной скоростью ТЧ менее 10 мкм в млн. штук в 1 м$^3$ пробы.

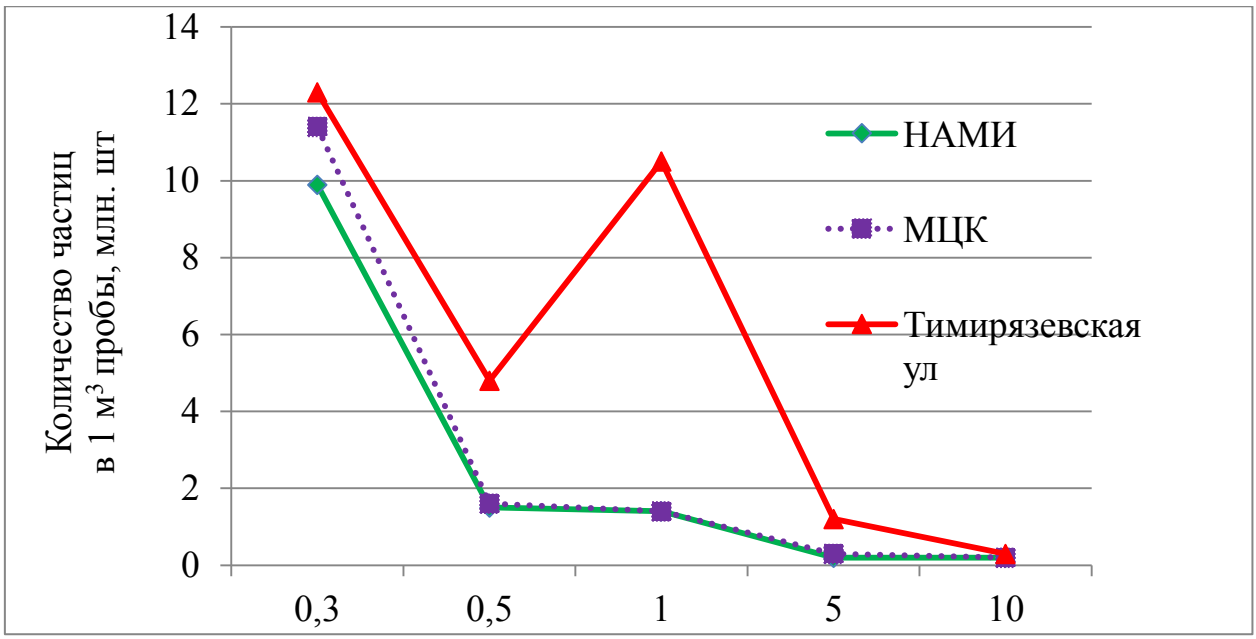



Рис. 5.10. Дисперсность и величины фона твердых частиц менее 10 мкм над поверхностью различных дорог г. Москвы.

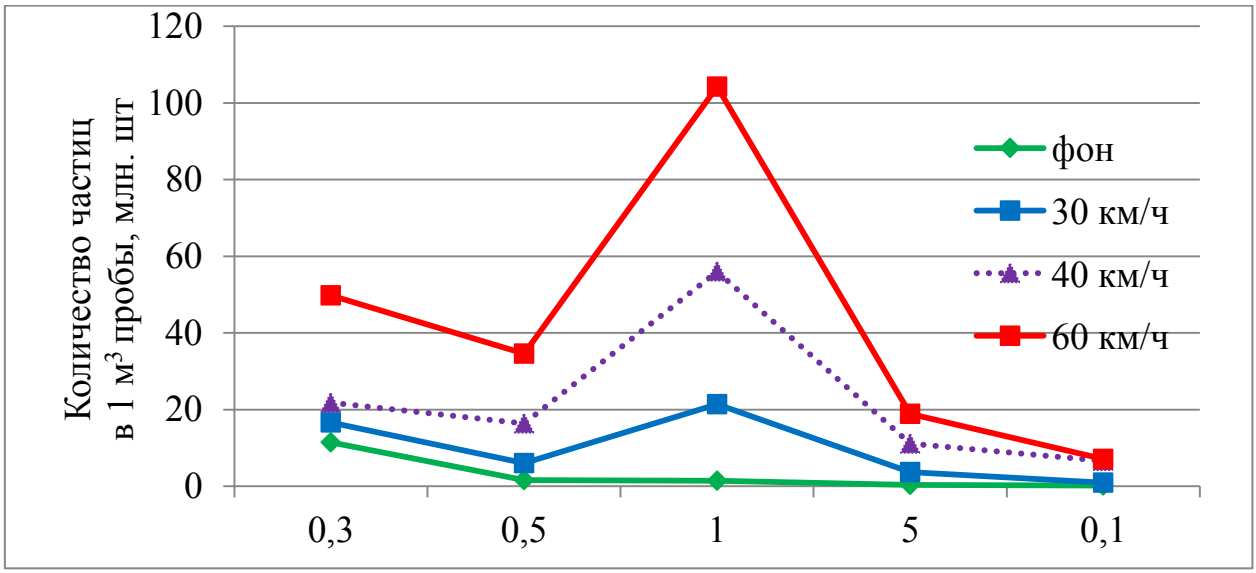



Рис.5.11. Дисперсность и величины выбросов ТЧ менее 10 мкм при постоянной скорости движения автомобиля

## Выводы.

1. В процессе экспериментальных исследований разработана методика исследовательских работ, которая предусматривала методологию отбора проб выбросов твердых частиц от движущегося автомобиля и оценить влияние различных режимов движения АТС на дисперсность и величину выбросов ТЧ от износа шин и дорожного полотна.

2. Создан комплекс измерительной аппаратуры и системы отбора проб для анализа, позволяющий проводить замеры выбросов ТЧ из-под колеса движущегося автомобиля и фиксировать результаты оператором, находящимся в салоне автомобиля.

3. Оценена дисперсность и величина фона твердых частиц менее 10 мкм над поверхностью различных дорог г. Москвы. Основную массу твердых частиц (95%) над дорожным полотном составляют размеры 0,3; 0,5 и 1,0 мкм.

4. Результаты проведенных исследований дисперсности и общих величин выбросов твердых частиц на различных режимах движения автотранспортных средств в городских условиях, позволило определить, что основной выброс твердых частиц (97%) составляют частицы размером от 0,3 до 5 микрометров, что полностью противоречит позиции Европейских производителей шин ETRMA представленную в 2014-2015 гг., в которой искажаются результаты зарубежных и российских исследований [3,9,12,16,18,31,39] опираясь только на одну работу [37].

# 6. Общие выводы

1. Анализ исследований зарубежных и российских исследований по снижению экологического ущерба от выбросов вредных веществ и твердых частиц выявил серьезные расхождения в объективной оценке величины выбросов и дисперсности твердых частиц менее 10 микрометров от эксплуатации автомобилей в городских условиях, влияющих по мнению Всемирной организации здравоохранения с 2010 г., на образование смога в крупных городах Европы, США, России и др. стран.

2. Разработанный на основе анализа усовершенствованный комплекс математических расчетов выбросов вредных веществ и твердых частиц для оценки общего загрязнения воздушной среды городов позволил определить раздельно существующий валовый выброс вредных веществ и твердых частиц, от эксплуатации автотранспорта с отработавшими газами и от и от износа тормозных систем, шин и от износа дорожного полотна.

3. В результате теоретических и экспериментальных исследований впервые осуществлено раздельно среднестатистическое (для норм Евро-6) определение соотношения выбросов твердых частиц с отработавшими газами, от износа тормозных механизмов, от износа шин и дорожного полотна: от легковых автомобилей: 0,005 г/км, 0,009 г/км, 0,112 г/км, 3,64 г/км, а для грузовых автомобилей от износа тормозных механизмов (0,243 г/км-0,47 г/км); от износа шин (1,1 г/км-7,5 г/км) и от дорожного полотна (10,6-13,4 г/км).

4. Впервые в 2013 году на международном уровне по результатам российских исследований был поставлен вопрос о том, что в настоящее время существует новая проблема с загрязнением воздушной среды городов. Она является такой же важной проблемой, которая была 50 лет назад с загрязнением атмосферы городов отработавшими газами автомобилей, которая успешно решается в настоящий период. Однако рост парка автомобилей в городах развивающихся стран, ведет к постоянному увеличению выбросов особо вредных для здоровья населения взвешенных твердых частиц менее 10 микрометров, и в настоящий период не учитываемых ни каким законодательством от износа шин, тормозных систем и дорожного полотна!

5. На основании настоящих теоретических и экспериментальных исследований, подтверждена ошибочность необоснованного предложения Всемирной организации здравоохранения о запрете с 2012 года использования в городах Европы автомобилей с дизельными двигателями, по причине повышенного выброса ими с отработавшими газами твердых частиц, приводящих только якобы ими к образованию смога с 2010 года в городах Европы.

6. Впервые выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили определить на примере увеличивающегося парка автотранспортных средств в г. Москва фактические выбросы вредных веществ и отдельно твердых частиц и прогноз их изменения в период до 2030 года.

Выполненные экспериментальные исследования величин выбросов и дисперсности твердых частиц менее 10 микрометров подтвердили основную массу (97%) и размеры твердых частиц от износа тормозных систем, шин и асфальто-дорожного полотна в диапазоне от 0,3 до 5 мкм.

7. Полученные в настоящей диссертационной работе результаты исследований дисперсности ТЧ менее 10 микрометров при износе шин и дорожного полотна, как российских, так и зарубежных исследований, обсуждаемых в международной группе по загрязнению и экономии энергии (GRPE) искажаются Европейскими производителями шин (ETRMA) и прежде всего транснациональными корпорациями как «Мишлен» и «Континенталь», исходя из своих корпоративных интересов.

8. На основании выполненных исследований по определению фактических выбросов и дисперсности твердых частиц менее 10 микрометров от износа тормозных механизмов, шин и дорожного полотна, зафиксировано, что более 90% по массе выбросов составляют частицы от 0,3 до 1 мкм, являющиеся весьма опасными для здоровья городского населения, в связи с чем, необходимо подготовить новый доклад Российской Федерации для рассмотрения на сессии GRPE Всемирного форума по разработке требований к конструкции транспортных средств КВТ ЕЭК ООН в 2019 году.

9. В сложившейся ситуации, необходимо Правительствам стран участницам Всемирного форума, осуществлять серьёзные научно-исследовательские работы по уменьшению содержания вредных веществ в материалах, используемых при производстве тормозных систем, шин и

дорожного полотна, а международному сообществу, разрабатывать соответствующие нормативные требования.

## ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кутенев В.Ф., Кисуленко Б.В., Шюте Ю.В. Экологическая безопасность автомобилей с двигателями внутреннего сгорания // М.: Экология, Машиностроение. - 2009. - 253 с.

2. Хесин А.И., Скудатин М.Е., Ушмодин В.Н. Канцерогенная опасность автомобильных шин // Журнал «Национальная безопасность и геополитика России» (Федеральное издание) - №10-11(51-52) -2003.

3. Азаров В.К. Разработка комплексной методики исследований и оценки экологической безопасности автомобилей: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.- 2014. - 135 с.

4. Вайсблюм М.Е. Новые тенденции в развитии требований ЕЭК ООН в отношении экологических показателей АТС и устанавливаемых на них двигателей // Журнал ААИ. - 2011. - №3 (68) - С 14-19.

5. Вестник ЕЭК ООН. Женева, выпуск №9, май 2012.

6. Правила ООН № 83 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выбросов загрязняющих веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей».

7. Правила ООН № 49 «Единообразные предписания, касающиеся подлежащих принятию мер по ограничению выбросов загрязняющих газообразных веществ и твердых частиц из двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенных для использования на транспортных средствах, а также выбросов загрязняющих газообразных веществ из двигателей с принудительным зажиганием, работающих на природном газе или сжиженном нефтяном газе и предназначенных для использования на транспортных средствах».

8. Технический регламент «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ», утвержденный Постановлением

Правительства Российской Федерации от 12 октября 2005 г. № 609 (в ред. с изменением, внесенным Постановлением Правительства РФ от 20.01.2012 г. №2).

9. Азаров В.К., Кутенев В.Ф. О показателе экологической опасности автотранспортных средств // Труды НАМИ. – 2014. - № 257. – С. 31-40.

10. Доклад о состоянии окружающей среды в г. Москва в 2011 году. Правительство Москвы, Департамент природопользования и охраны окружающей среды горда Москвы, 128 с.

11. Доклад Российской Федерации «О безопасности окружающей среды от выбросов из автомобилей» на 161 сессии Всемирного Форума по конструкции транспортных средств, ноябрь 2013, г. Женева (Швейцария)

12. Азаров В.К., Васильев А.В., Кутенев В.Ф. Современные экологические проблемы грузовых автомобилей и автобусов // М. 2014, Труды НАМИ. – 2014. - № 258. – С. 94-101 .

13. Васильев А.В., Кутенев В.Ф. Проблемные вопросы повышения ходимости шин грузовых автомобилей и автобусов // Грузовик. – 2015. - №9. – С. 18-20.

14. Азаров В.К., Кутенёв В.Ф., Сайкин А.М. «Новые проблемы создания экологически чистого автомобиля». Журнал «Автомобильная промышленность», 2013, № 10, с. 5-7.

15. А.В. Васильев, В.К. Кутенев, В.В. Степанов «О методике оценки износа протектора шин для конкретных условий эксплуатации автомобилей и автобусов» Труды НАМИ, 2015, № 260, с.127-137.

16. Нцахристос Л., Боутлер П., Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов, 2009.

17. Каталог шин 2009 by the YOKOHAMA Rubber CO, LTD.

18. Чижова В.С. Повышение экологической безопасности автотранспортного комплекса путем снижения загрязнения воздуха дисперсными частицами размером менее 10 мкм // Диссертация на соискание учёной степени к.т.н., М. - 2015. -148 с.

19. Отчёт ОАО «НИИАТ» «О научно-исследовательской работе по теме: Разработка научно-обоснованных предложений по внесению изменений в нормативную и правовую базу Российской Федерации в части эксплуатации шин пневматических для колёсных транспортных средств, предназначенных для перевозки пассажиров в целях повышения энергоэффективности транспортных средств» Этап 2-ой: «Разработка методических рекомендаций по установлению норм пробега автомобильных шин и эксплуатации для колёсных транспортных средств» (2016 г.).

20. Справочная энциклопедия дорожника. Том II. Ремонт и содержание автомобильных дорог. – М., 2003 г.

21. М.П. Костельов, В.П. Перевалов, Д.В. Пахаренко – Практика борьбы с колейностью асфальтобетонных покрытий может быть успешной. М., ДОРОЖНАЯ ТЕХНИКА. – 2011.

22. А.Орешкин «О ремонте дорог, бесшовном асфальте на Тверской и укреплении откосов».https://www/mos/ru/news/item/33456073/.

23. Современные дорожные покрытия «АДС-Техника».www.proektant.ru >Новости > Генплан и сооружения транспорта>.

24. M.L. Kreider et al., Physical and chemical characterization of tire-related particles: Comparison of particles generated using different methodologies, Science of the Total Environment 408 (2010) 652-659.

25. Отчет о научно-исследовательской работе «Прогнозирование структуры парка АТС города Москвы по их типам и экологическим классам на период с 2015 по 2030 гг. с учетом эффективности мер по стимулированию обновления парка АТС и ограничения въезда АТС на отдельные территории города Этап 3. Разработка методики прогнозирования структуры парка АТС города Москвы по их типам и экологическим классам на период с 2015 по 2030 гг. с учетом эффективности мер по стимулированию обновления парка АТС и ограничения въезда АТС на отдельные территории города (промежуточный)», Руководитель работы Ю.В. Трофименко.

26. Государственная программа г. Москвы «Развитие транспортной системы на 2012-2016 гг.).

27. Информационный бюллетень Всемирной организации здравоохранения «Качество атмосферного воздуха и здоровье». Сентябрь,2016 г.

28. https://www.oncoforum.ru//Российский онкологический портал.

29. Азаров В.К., Кутенёв В.Ф., Сайкин А.М. «Новые проблемы создания экологически чистого автомобиля» Журнал «Автомобильная промышленность» 2013, № 10, с. 5-7.

30. Доклад Российской Федерации WP-29-160-39 «О реальном выбросе твердых частиц на автомобильном транспорте» на 160 сессии Всемирного форума для согласования правил в области транспортных средств – WP-29 (25-28 июня 2013 г.).

31. Васильев А.В., Гайсин С.В., Кутенёв В.Ф., Степанов В.В. «Сравнительный анализ результатов зарубежных и отечественных исследований по загрязнению атмосферы городов выбросами, образующихся в результате износа шин, тормозных механизмов автомобилей и дорожного покрытия»/ Труды НАМИ, сборник научных статей, вып. № 262, 2015 г., с. 54-64.

32. Доклад Российской Федерации WP-29-161-22 «Об экологической безопасности автомобилей» на 161 сессии WP-29 (12-15 ноября 2013 г.).

33. Доклад Российской Федерации GRPE-68-10 «О рассеивании твердых частиц в городском атмосферном воздухе в результате износа шин и дорожного покрытия» (9 января 2014 г.).

34. Доклад Российской Федерации GRPE-69-03, обобщающий материалы предыдущих докладов (июнь 2014 г.).

35. Доклад «Загрязнение атмосферного воздуха в Москве во втором квартале 2008 года», ГПУ «Мосэкомониторинг», 2009 г., 60 с.

36. «Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москва в 2011 году» Правительство Москвы, Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, 128 с.

37. Kreider et al, Effects of Intratracheal Instillation of Tire and Road Wear Particles (TRWP) and Tread Particles (TP) on Inflammation and Cytotoxicity in Rat Lung: A Comparative Toxicity Study (SOT, 2009).

38. Julie M. Panko et al., Measurement of airborne concentrations of tire and road wear particles in urban and rural areas of France, Japan, and the United States (Atmospheric Environment, In Press).

39. К.т.н. В.К. Азаров, А.В. Васильев, д.т.н. В.Ф. Кутенёв «О причинах увеличивающегося загрязнения воздушной среды больших городов взвешенными частицами от эксплуатации автотранспортного комплекса», журнал «Экология и промышленность», М., 2017 г., т. 21, № 8, с. 44-48.

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель генерального директора

по науке НИЦ РФ ФГУП «НАМИ»,

д.т.н., профессор

_____ С.В. Бахмутов

«27» мая 2019 г.

# АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы Васильева Андрея Владимировича «Повышение качества оценки комплексной экологической безопасности автотранспортных средств», выполненной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины»

Комиссия в составе: председателя – Заместителя генерального директора Аникеева С.А. и членов – Директора центра «Энергоустановки» к.т.н. Теренченко А.С., начальника управления «Энергосберегающие технологии и альтернативное топливо» д.т.н. А.В. Козлова составила настоящий акт о том, что полученные в диссертационной работе А.В. Васильева результаты теоретических и экспериментальных исследований, а именно:

- разработаны теоретические методы расчета по определению выбросов вредных веществ и твердых частиц (ТЧ) от узлов, агрегатов и систем автомобилей не выхлопного происхождения для сравнения с нормативными требованиями международных Правил ООН № 49 и 83 выбросов с отработавшими газами;

- создана методика испытаний и комплекс оборудования для сравнительной объективной оценки выбросов твердых частиц непосредственно из зоны контакта шины с дорожным полотном при эксплуатации автомобилей в городских условиях;

- представлены сравнительные результаты теоретических исследований выбросов вредных веществ и твердых частиц в текущий период и прогноз до 2030 года изменения их выбросов в атмосферный воздух г. Москва от износа тормозных систем, от износа шин и от дорожного полотна, в сравнении с выбросами твердых частиц с отработавшими газами.

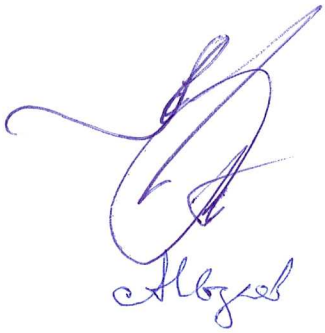
- приведены новые результаты экспериментальных исследований выбросов ТЧ менее 10 микрометров в зависимости от различных режимов движения автомобилей в городских условиях, создавшие основу предложений Российской Федерации о внесении в программу GRPE WP-29 КВТ ЕЭК ООН.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований используются:

- в ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» при подготовке материалов для Всемирного Форума по разработке международных требований к конструкции транспортных средств WP-29 КВТ ЕЭК ООН;

- в разрабатываемых предложениях в «Дорожную карту» по развитию производства шин в Российской Федерации на период до 2025 года;

- в перспективных планах работы международной группы по загрязнению и экономии энергии (GRPE) Всемирного форума WP-29 КВТ ЕЭК ООН, которые приведены в приложении.



Председатель комиссии С.А. Аникеев

Члены комиссии:

к.т.н. А.С. Теренченко

д.т.н. А.В. Козлов

документ **GRPE-79-04-Rev.2**
79-ая сессия Рабочей группы по проблемам энергии и загрязнения окружающей среды (GRPE), 21-24 мая 2019 г.
2 пункт повестки

# Приоритетные задачи деятельности группы по загрязнению окружающей среды и энергии GRPE

## Документ, подготовленная Председателем и секретариатом

Приведенный ниже текст был подготовлен Председателем GRPE и секретариатом с целью инициировать рассмотрение участниками GRPE и WP.29 будущих мероприятий, которые GRPE могла бы поддержать в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе.* Ожидается, что он будет представлен на Всемирный форум для согласования правил в области ТС (WP.29) в качестве неофициального документа для обсуждения на его 178-ой сессии в июне 2019 г. Он также предоставлен для обсуждения с Рабочей группой по проблемам энергии и загрязнения окружающей среды (GRPE) с целью рассмотрения на ее 79-ой сессии.

## Предложение по определению приоритетов в работе Всемирного форума (WP.29), связанных с темами энергии и загрязнения окружающей среды, относящимися к ведению GRPE

1. В нижеприведенных таблицах основное внимание уделяется энергии и загрязнению окружающей среды. Данный документ не направлен на способы доставки/реализации по одному или нескольким Соглашениям, регулируемым WP.29. GRPE ставит своей целью предоставить технические положения, приемлемые для всех Договаривающихся сторон.

2. Таблица 1 ниже содержит работы, в данный момент ведущиеся в GRPE и ее неофициальных рабочих группах (IWGs).

3. Таблица 2 содержит предлагаемые среднесрочные и долгосрочные приоритеты деятельности Рабочей группы 29 (WP.29).

---

* Краткосрочная перспектива означает, что мероприятия проходят в рамках GRPE и IWG (неофициальных рабочих групп) в настоящее время. Среднесрочные мероприятия в рамках GRPE еще не начаты, но будут иметь первостепенное значение в ближайшие годы. Долгосрочные мероприятия — это актуальные вопросы, которые, как ожидается, будут иметь большое значение и потенциально станут высокоприоритетными в течение следующего десятилетия.

Таблица 2

**Потенциальная будущая деятельность, связанная с вопросами/проблемами энергии и загрязнения окружающей среды**

| *Название* | *Период времени* | *Возглавляет работу* | *Цели* |
|---|---|---|---|
| Соответствие на протяжении срока службы: Согласованность в процессе службы, соответствие при использовании и прочее | Среднесрочный период | GRPE / неофициальная рабочая группа НРГ (IWG) по ПТО (периодическому техосмотру) | Обеспечить надлежащую и долгосрочную экологическую эффективность автомобилей:<br>- Положения по Согласованности в процессе службы / долговечности<br>- Испытания в отношении ПТО<br>- Бортовые измерения и наблюдение<br>- Предотвращение вмешательства/манипуляций (например, имитатор датчика оксидов азота (NOx), удаление фильтра твердых частиц (DPF)...) |
| Выбросы на протяжении жизненного цикла | Среднесрочный период | GRPE | Работа со всеми выбросами от производства автомобилей и их применения:<br>- Выбросы с учетом полного цикла производства топлива (WTW) при производстве энергии для обеспечения функционирования автомобилей,<br>- Выбросы при производстве автомобилей<br>- Возможность переработки / Выбросы при утилизации автомобиля |
| Нерегулируемые выбросы | Среднесрочный период | GRPE | Включить нерегулируемые загрязняющие вещества в нормативы по выбросам, если это применимо |
| Технологически нейтральная процедура испытаний и ограничения по выбросам | Среднесрочный период | GRPE | Привести в соответствие (гармонизировать/скоординировать) процедуры испытаний и ограничения по выбросам для всех видов топлива |
| Выбросы от износа шин | Среднесрочный период | НРГ по ПИЧ / GRBP (Рабочая группа по вопросам шума и шин)? | Разработать методологию для характеризации (количество частиц, другое?) выбросов, образованных в результате износа шин |
| Определения силовых агрегатов | Среднесрочный период | Новая НРГ (IWG) / GRPE? | Разработать более стандартную и систематическую модель для обновления Общей резолюции № 2 (OP.2), содержащей определения силовых установок транспортных средств |
| Сменный каталитический нейтрализатор | Среднесрочный период | GRPE | Поправки в Правило ЕЭК ООН № 103 |
| Стандартная методология измерения экономии топлива | Средне- / долгосрочный период | Новая НРГ (IWG) / GRPE? | - Гармонизация/координация различных существующих методологий для стандартных подходов экономии топлива<br>1 – для автомобилей большой грузоподъемности<br>2 – для автомобилей малой грузоподъемности<br>3 – для других категорий автомобилей<br><br>- Гармонизация/координация подходов для практического мониторинга экономии топлива |
| Информация для потребителей | Долгосрочный период | GRPE | Маркировка (классификация) расхода энергии / парниковых газов и загрязняющих веществ.<br><br>например, Green NCAP и др. |
| Автомобили с выходом в Интернет (с сетевыми возможностями) и окружающая среда | Долгосрочный период | GRPE / GRVA | Используя подключение автомобилей к Интернету (возможности сетевого взаимодействия), минимизировать воздействие автомобилей на окружающую среду |
| Упрощение нормативов по выбросам | Долгосрочный период | GRPE | Совершенствование законодательства и повышенная эффективность для утверждения / согласования, соответствия производства, испытаний ISC, чтобы упростить протоколы испытаний для совершенствования ввода в действие, применения и обеспечения исполнения для всех договаривающихся сторон. |