

УДК 629.3

МЕТОДЫ РАСЧЁТА ВЫБРОСОВ ОТ АВТОТРАНСПОРТА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

В. Донченко / Ю. Кунин / А. Рузский / В. Виженский
ОАО «НИИАТ»

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильный транспорт в Российской Федерации продолжает оставаться одним из основных загрязнителей атмосферного воздуха. В крупных городах его вклад в суммарные выбросы может достигать 90 %.

В системе государственного управления качеством окружающей среды методическое обеспечение для проведения расчётных оценок (инвентаризации) выбросов загрязняющих веществ и климатических газов от автомобильного транспорта занимает важное место.

Количественные оценки объёмов выбросов загрязняющих веществ автомобильным транспортом необходимы для решения целого ряда практических задач, направленных на повышение устойчивости функционирования транспортных систем, в частности для:

— проведения оценки экологической эффективности различных технических и организационных

решений в сфере автотранспорта, различных мер и решений в области транспортной политики;

— расчёта размеров платы за загрязнение окружающей среды для предприятий автомобильного транспорта и штрафов за сверхнормативное загрязнение окружающей среды.

Включение в систему экологических оценок модулей расчёта рассеивания выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта, расчёта экспозиции их воздействия и оценки влияния на здоровье позволяет решать широкий круг задач по управлению качеством окружающей среды (рис. 1).

В Российской Федерации первые методики инвентаризации выбросов от автотранспорта были утверждены и начали применяться ещё в восьмидесятых годах прошлого века. В табл. 1 представлена характеристика трёхуровневой системы действующих в настоящее время в России методик

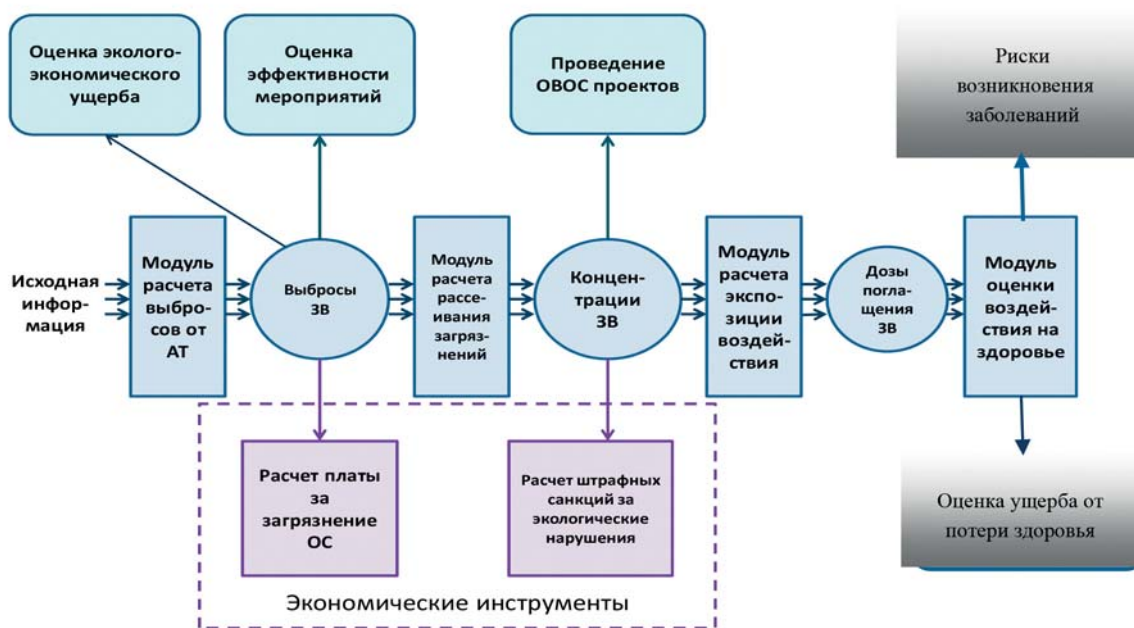


Рисунок 1. Система оценки влияния автомобильного транспорта на окружающую среду и здоровье населения

Таблица 1. Система расчётных методик, действующих в Российской Федерации

№	Решаемая задача	Область применения результатов	Год принятия
1	Методика инвентаризации выбросов на территории транспортных предприятий (парков)	Разработка проектов предельно допустимых выбросов (ПДВ) для действующих предприятий, экологических разделов проектов строительства и реконструкции предприятий	1998
2	Методика расчёта выбросов от автотранспорта на отдельных участках улично-дорожных сетей (УДС) городов	Разработка экологических разделов проектов строительства и реконструкции УДС, сравнительная оценка вариантов решений организации дорожного движения (ОДД), оценка экологической эффективности мер по улучшению ОДД на участках УДС	1996
3	Методики для проведения сводных расчётов выбросов для регионов, городов и городских районов	Укрупнённая оценка массовых выбросов ЗВ для территории страны в целом, региона, города, планирования развития территорий Уточнённая оценка массовых выбросов ЗВ на территории крупнейших городов и их районов для планирования транспортного развития территорий, обоснования и экологической экспертизы проектов развития транспортной инфраструктуры, оценки эффективности реализуемых мероприятий и т. п.	2006 2006 2012–2013 (актуализация)

инвентаризации выбросов от автотранспорта, разработанных Научно-исследовательским институтом автомобильного транспорта (ОАО «НИИАТ»). Представленные методики широко используются в практической деятельности инженерами-экологами и гигиенистами, реализованы и растиражированы в виде коммерческих программных продуктов.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Методология оценки выбросов ЗВ от автотранспорта, принятая в разных странах (НИИАТ, CORINAIR, MOBILE, IVE и др.), приблизительно одинакова. Расчёт этих выбросов может основываться на потреблении топлива (упрощённый подход) или на результатах исследований (или моделирования) характеристик транспортных потоков. Во втором случае используются удельные пробеговые выбросы ЗВ.

Выбросы газообразных соединений, не нормируемых международными требованиями к конструкции транспортных средств (НЗВ), рассчитываются на основе процентного содержания этих веществ в неметановых летучих органических соединениях (NMVOC).

В основу всех используемых в России методик положен известный подход, который в общем виде может быть представлен выражением

$$M_i = 10^{-6} \sum_{k=1}^h m_{ik} N_k L_k, \quad (1)$$

где M_i — массовый выброс i -го загрязняющего вещества, т; m_{ik} — удельный пробеговой выброс i -го загрязняющего вещества автомобилем k -го типа, г/км; N_k — общее количество автомобилей k -го типа; L_k — суммарный пробег автомобилей k -го типа, км; h — количество рассматриваемых типов автомобилей.

Рассмотрим подробнее основные положения недавно актуализированной методики расчёта выбросов от автотранспорта в крупных городах. В случае проведения расчётов для отдельных участков улично-дорожных сетей в качестве источника выброса рассматривается линейный участок улицы (дороги) с определённой интенсивностью движения и относительно однородными условиями движения (в этом случае под $L_k = L$ понимается длина такого участка, а под N_k — интенсивность движения автомобилей k -го типа по этому участку). Совокупность таких участков определяет реальную городскую УДС с фактическими транспортными потоками, что в итоге позволяет выходить на достаточно точные оценки валовых выбросов. При оценке выбросов от автотранспорта на отдельных территориях следует дополнительно учитывать также выбросы, связанные с запуском и прогревом двигателей автомобилей в местах их стоянки, а также выбросы загрязняющих веществ, образующиеся в результате испарения топлива. С учётом этих составляющих формула (1) может быть представлена как

$$M_i = 10^{-6} \left[\sum_{k=1}^h m_{ik} N_k L_k + \sum_{k=1}^h P_{ik}(t) \cdot T_k(t) + \sum_{k=1}^h Q_{ik} \right] \quad (2)$$

где $P_{ik}(t)$ — удельный выброс i -го загрязняющего вещества при запуске и прогреве двигателя автомобиля k -го типа (в зависимости от температуры окружающего воздуха), г/мин; $T_k(t)$ — среднее время запуска и прогрева двигателя автомобиля k -го типа (в зависимости от температуры), мин.; Q_{ik} — выбросы i -го загрязняющего вещества в топливных испарениях автомобиля k -го типа.

Необходимо подчеркнуть, что, несмотря на общность используемых подходов, специфика российского



Рисунок 2. Блок-схема расчётной модели оценки выбросов ЗВ

автомобильного парка и условий его эксплуатации не позволяет напрямую использовать для расчётов соответствующие зарубежные удельные показатели выбросов. К этой специфике следует отнести:

— значительную перегруженность городских УДС и вследствие этого существенное отличие реальных режимов движения от предусмотренных стандартными ездовыми циклами;

— большую долю в парке и в дорожном движении автомобилей устаревших конструкций с экологическими характеристиками значительно ниже, чем у автомобилей аналогичного экологического класса в европейских странах;

— низкую эффективность контроля экологических характеристик автомобилей в эксплуатации;

— меньшую стабильность содержания в отработавших газах российских автомобилей CO и VOC при изменении их пробега.

Учитывая изложенное, российская методика расчёта выбросов от автотранспорта в крупных городах, с одной стороны, практически полностью гармонизирована с европейской методикой ЕМЕП/CORINAIR, а с другой — отличается от неё:

— более дифференцированной классификацией рассматриваемых условий городского движения;

— большей дифференциацией отдельных категорий рассматриваемых АТС;

— учётом удельных выбросов загрязняющих веществ для автотранспортных средств российского производства экологических классов pre-EURO, Евро-1 и Евро-2.

В отличие от методики CORINAIR, где оценка выбросов проводится для трёх характерных условий движения (по городским улицам, загородным дорогам и автомагистралям), в методике НИИАТ для условий движения, характерных для Москвы и других крупнейших городов, рассматривается пять уровней градации пробеговых выбросов по условиям движения:

I. П	Магистральные дороги регулируемого движения и магистральные улицы общегородского значения регулируемого движения, магистральные улицы общегородского значения непрерывного движения и магистральные дороги скоростного движения, а также магистральные улицы районного значения в период пиковой загрузки при скорости сообщения $V_c \leq 15$ км/ч;
I. МП	Магистральные дороги регулируемого движения и магистральные улицы общегородского значения регулируемого движения в межпиковый период при скорости сообщения $V_c > 15$ км/ч;
II	Магистральные улицы районного значения в межпиковый период при скорости сообщения $V_c > 15$ км/ч, улицы и дороги местного значения;
III	Магистральные улицы общегородского значения непрерывного движения при $V_c > 15$ км/ч;
IV	Магистральные дороги скоростного движения при $V_c > 15$ км/ч.

Укрупнённая блок-схема детализированной расчётной модели оценки выбросов, используемой в актуализированной методике НИИАТ, представлена на рис. 2. Модель включает в себя три расчётных блока:

— расчёт валового выброса при движении АТС (так называемые горячие выбросы);

— расчёт валового выброса при пуске и прогреве двигателя (холодные выбросы);

— расчёт валового выброса при испарении топлива.

На выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта непосредственное влияние оказывают также вид и качество используемого моторного топлива. В России с принятием в 2005–2008 годах технических регламентов, определивших более жёсткие требования к выбросам автомобилей и качеству моторного топлива, резко ускорился процесс обновления парка за счёт поступления в него автомобилей высоких экологических классов. Сейчас на российском топливном рынке представлены бензины и дизельное топливо уровня Евро-3, Евро-4 и Евро-5. В связи с этим в актуализированную методику 2013 года был введён блок, позволяющий учитывать влияние на выбросы качества используемого топлива. Для получения корректирующих коэффициентов для пробеговых выбросов NMVOC и ненормируемых загрязняющих веществ для автомобилей с бензиновыми двигателями использовались уравнения, полученные в рамках Европейской программы по выбросам, топливам и технологиям двигателей (EPFTE) (ACEA and Euro, 1996) и показатели качества российских бензинов различных экологических классов (табл. 2). Влияние экологического класса дизельного топлива учитывается в методике для выбросов диоксида серы. Для других компонентов отработавших газов (CO, VOC, PM и других) было решено отказаться от корректировки пробеговых выбросов ввиду незначительного изменения содержания соответствующих компонентов в выбросах (менее 5 %).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Важной задачей проводившихся работ являлось сравнение результатов расчётов выбросов, сделанных по актуализированной методике НИИАТ и методике CORINAIR. Для проведения такого сравнения были выполнены натурные наблюдения за интенсивностью, составом и режимами движения транспортных потоков в различное время суток на нескольких участках Волоколамского шоссе в Москве — типичной вылетной магистрали города со смешанным режимом движения. Результаты расчётов выбросов некоторых загрязняющих веществ, сделанные по двум этим методикам, представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, расчёты по этим методикам не дали тождественно равных результатов. Методики НИИАТ и CORINAIR показали заметные различия в оценках выбросов CO и летучих органических соединений (VOC, NMVOC и группы нетрадиционных веществ), но при этом достаточно близкие результаты по выбросам NO_x (в пересчёте на NO₂), PM и ряда других веществ. Это может быть объяснено наличием в транспортном потоке значительно

большей по сравнению с европейскими странами доли автомобилей низких экологических классов без систем нейтрализации или с недостаточно эффективными системами нейтрализации.

Для верификации рассматриваемых методик был использован метод, основанный на сравнении отношений расчётных величин выбросов различных веществ и измеренных концентраций этих же веществ в воздухе на примагистральных территориях. Такое сравнение не даёт основания сделать заключение о точности количественных оценок, получаемых по каждой из методик, но позволяет качественно сравнить различные методики между собой.

Для сравнения соотношений концентраций каких-либо веществ в атмосфере на примагистральных территориях и соотношений выбросов этих веществ автотранспортом требуется выполнение нескольких условий, а именно:

- наличие надёжных и длительных рядов наблюдений за концентрациями в воздухе сравниваемых пар веществ;
- знание величин фоновых концентраций этих веществ, характерных для города;
- уверенность в том, что именно выбросы автотранспорта формируют концентрации рассматриваемых веществ в воздухе на примагистральных территориях.

В Москве имеется несколько станций автоматического контроля загрязнения атмосферы, которые находятся вблизи автомагистралей и соответствуют сформулированным требованиям. Данные о содержании загрязняющих веществ в воздухе фиксируются круглый год, как правило, каждые двадцать секунд. Общее количество измерений в течение года превышает 20 000.

Таблица 2. Поправочные коэффициенты для учёта влияния класса бензина на удельные выбросы NMVOC и H3B

Автомобили экологического класса	Класс бензина по российскому техническому регламенту			
	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
Евро-0 — Евро-2	1,0	0,901	0,856	0,847
Евро-3	1,110	1,0	0,950	0,940
Евро-4	1,168	1,053	1,0	0,989
Евро-5	1,181	1,064	1,011	1,0

Таблица 3. Результаты расчётов выбросов загрязняющих веществ по методикам НИИАТ и CORINAIR

Выбросы, кг/сутки		CO	NO _x	VOC	NMVOC	PM
		НИИАТ	3 761	415	356	350
	CORINAIR	2 566	489	230	224	5,16

Таблица 4. Средние годовые концентрации монооксида углерода и оксидов азота в атмосфере в 2012 году

Станция	CO, мг/м ³	NO, мг/м ³	NO ₂ , мг/м ³	NO _x , мг/м ³
МГУ	0,26 ± 0,003*	0,013 ± 0,0003	0,041 ± 0,00025	0,062 ± 0,00081
Московский автодорожный институт (МАДИ)	0,69 ± 0,006	0,061 ± 0,0006	0,028 ± 0,00013	0,121 ± 0,0010
Вешняки	0,51 ± 0,0048	0,026 ± 0,0006	0,045 ± 0,00024	0,085 ± 0,0011
Кожуховский проезд	0,95 ± 0,0082	0,060 ± 0,0007	0,039 ± 0,00024	0,131 ± 0,0015

* Доверительный интервал на уровне надёжности 0,95.

Данные о фоновых концентрациях загрязняющих веществ поступают со станции, расположенной рядом с Московским государственным университетом (МГУ) на юго-западе города, с наветренной стороны по отношению к преобладающему переносу воздушных масс, в удалении от крупных автомагистралей.

Для сравнительной оценки рассматриваемых методик было выбрано отношение концентраций CO/NO_x. Соотношение именно этих веществ в воздухе и выбросах от автотранспорта в наибольшей степени удовлетворяет перечисленным выше условиям. Во-первых, на станциях автоматического контроля загрязнения атмосферы имеются длительные ряды наблюдений за содержанием CO, NO и NO₂ как на примамгистральных территориях, так и на фоновой станции. Во-вторых, именно автотранспорт формирует уровни концентраций этих веществ около крупных автомагистралей.

В методиках НИИАТ и CORINAIR величины выбросов оксидов азота оцениваются как сумма NO_x в пересчёте на NO₂. Известно, что в выбросах автомобилей оксиды азота присутствуют в основном в форме монооксида азота (NO). В результате взаимодействия с озоном и фотохимических реакций в свободной атмосфере оксиды азота присутствуют как в форме NO, так и в форме NO₂. Соотношение концентраций NO и NO₂ в воздухе зависит от многих факторов (температуры, влажности, уровня ультрафиолетового излучения, содержания озона). На станциях мониторинга загрязнения атмосферы концентрации NO и NO₂ измеряются отдельно. Чтобы в какой-то степени исключить из рассмотрения и нивелировать влияние сложных и разнонаправленных

фотохимических процессов, в дальнейших оценках используется сумма концентраций NO и NO₂ (NO_x) в пересчёте на NO₂. Пересчёт концентраций NO₂ и NO в концентрацию NO_x (как NO₂) выполнен по формуле

$$C(NO_x) = C(NO_2) + (m(NO_2)/m(NO)) \times C(NO), \quad (3)$$

где $C(NO_x)$, $C(NO_2)$, $C(NO)$ — концентрация в воздухе, мг/м³; $m(NO_2)$, $m(NO)$ — молекулярный вес, 46 и 30 а. е. м. соответственно.

Отношения концентраций CO/NO_x рассчитаны с учётом городского фона этих веществ:

$$CO/NO_x = (CO_i - CO_{\phi}) / (NO_{xi} - NO_{x\phi}), \quad (4)$$

где CO_i , NO_{xi} — наблюдаемые концентрации оксида углерода и оксидов азота на i -й станции, мг/м³; CO_{ϕ} , $NO_{x\phi}$ — фоновые концентрации оксида углерода и оксидов азота на фоновой станции (МГУ), мг/м³.

Для участков автомагистралей, расположенных вблизи указанных выше станций автоматического контроля загрязнения атмосферы, были определены средние годовые концентрации монооксида углерода и оксидов азота в 2012 году, представленные в табл. 4.

Величины отношений средних годовых концентраций CO/NO_x за вычетом фона представлены в табл. 5. Для этих же участков с использованием рассматриваемых методик были рассчитаны выбросы загрязняющих веществ. Отношение концентраций в воздухе на примамгистральных территориях и величин выбросов CO/NO_x показано на рис. 3. Из данного рисунка видно, что соотношение CO/NO_x для выбросов, рассчитанных по методике НИИАТ, оказывается более близким к соотношению реальных концентраций этих веществ в атмосфере, чем при расчётах по методике CORINAIR.

Помимо этого, для ранее рассмотренного участка Волоколамского шоссе были рассчитаны выбросы загрязняющих веществ в разное время суток (табл. 6). Средние величины отношений концентраций CO/NO_x в воздухе за каждый час были рассчитаны по данным станции мониторинга МАДИ. Число пар натуральных наблюдений для каждого часа за год составило около 1 000.

Таблица 5. Средние годовые концентрации и отношения концентраций оксида углерода и оксидов азота в воздухе

Станция	(CO _{ст} - CO _ф), мг/м ³	(NO _{xст} - NO _{xф}), мг/м ³	(CO _{ст} - CO _ф) / (NO _{xст} - NO _{xф})
МАДИ	0,43 ± 0,0057	0,059 ± 0,00084	7,3 ± 0,1
Вешняки	0,25 ± 0,0050	0,023 ± 0,00091	10,9 ± 0,2
Кожуховский проезд	0,69 ± 0,0081	0,069 ± 0,0013	10,0 ± 0,1

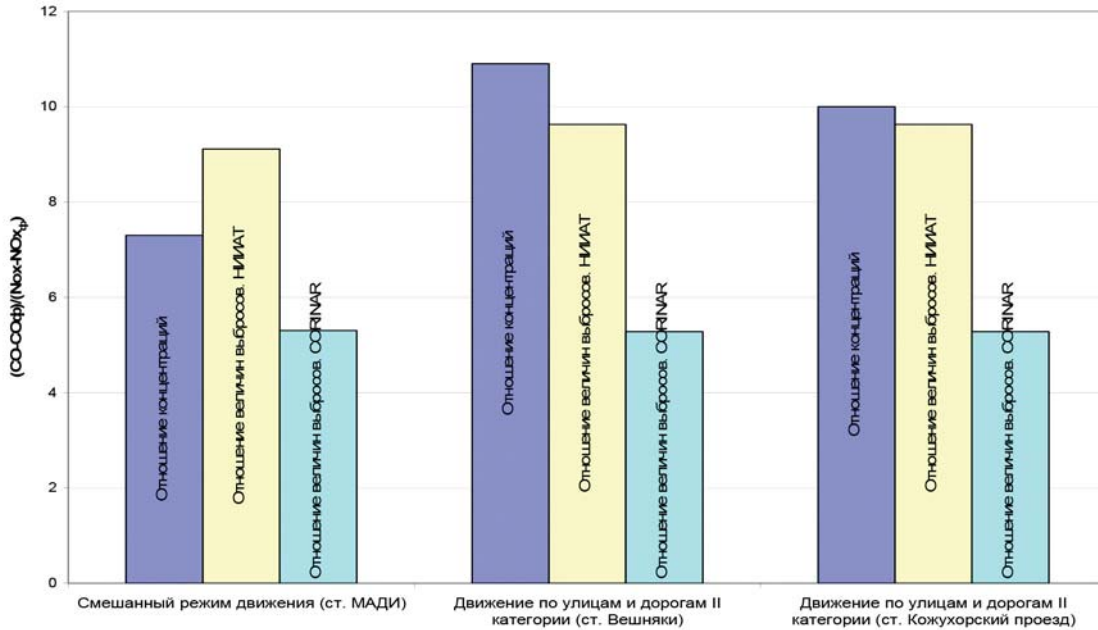


Рисунок 3. Отношение концентраций в воздухе на примагистральных территориях и расчётных величин выбросов CO/NO_x

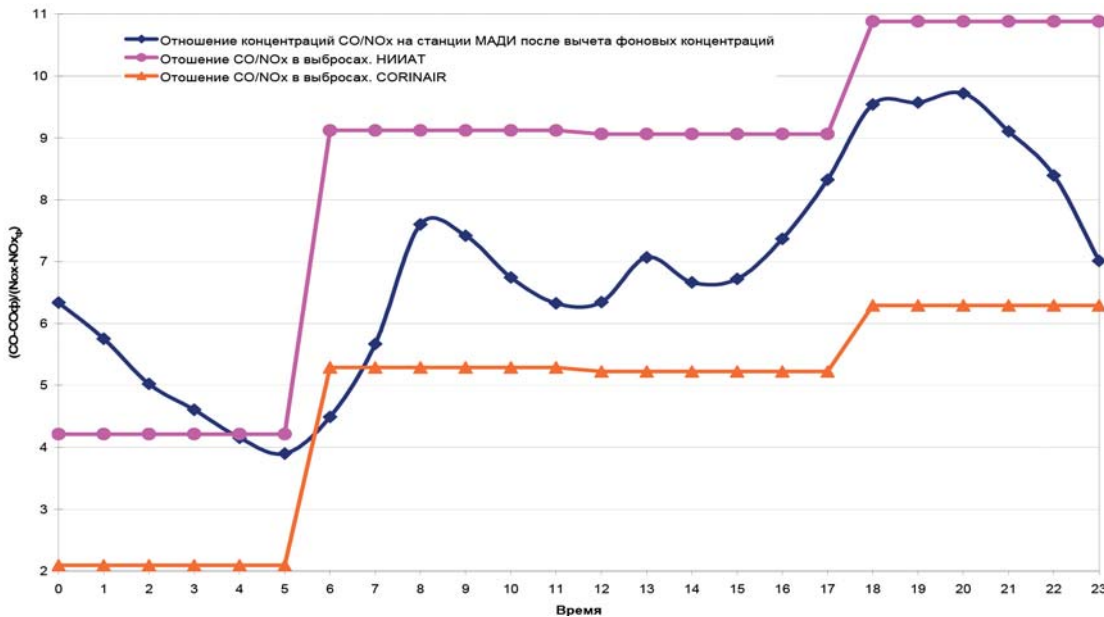


Рисунок 4. Внутрисуточный ход отношений величин выбросов и концентраций CO и NO_x в воздухе

Внутрисуточные изменения отношений выбросов CO/NO_x и концентраций этих веществ в воздухе показаны на рис. 4.

Представленные сравнения позволяют заключить, что методика НИИАТ применительно к расчётам выбросов оксида углерода в реальных условиях Москвы даёт более правильные результаты, чем методика CORINAIR.

Проведение аналогичной верификации для других ЗВ (VOC, NMVOC и НЗВ), по которым выявлены расхождения при проведении расчётов по методикам (табл. 3), пока не представляется возможным из-за отсутствия данных о фоновых концентрациях этих веществ в атмосфере и наличия иных, помимо

автомобильного транспорта, мощных источников выбросов этих веществ.

Разработанная методика НИИАТ в настоящее время находит практическое применение при оценке эффективности мероприятий, направленных на повышение экологической безопасности автотранспортного комплекса в Москве (перевод транспорта на газомоторное топливо, регулирование качества топлива, поставляемого на рынок, введение различных ограничений на передвижение определённых категорий транспортных средств и др.).

Возможности практического применения методики могут быть проиллюстрированы на примере оценки изменения экологической опасности усло-

Таблица 6. Величины выбросов CO и NO_x автотранспортом на Волоколамском шоссе в разное время суток, рассчитанные по методикам НИИАТ и CORINAIR

Время суток	Выбросы CO, кг/период		Выбросы NO _x , кг/период		Отношение величин выбросов CO/NO _x	
	НИИАТ	CORINAIR	НИИАТ	CORINAIR	НИИАТ	CORINAIR
0–6 ч.	173	81	41	39	4,21	2,09
6–12 ч.	1 201	839	132	159	9,12	5,29
12–18 ч.	1 133	779	125	149	9,06	5,22
18–24 ч.	1 254	865	115	137	10,88	6,29

Таблица 7. Исходные данные для проведения расчётов

Параметр	Задаваемые условия
Условия движения	Пять уровней, предусмотренных методикой ОАО «НИИАТ» (I, II, III, IV)
Длина каждого расчётного участка	1 км
Интенсивность движения	1 000 авт/ч
Состав транспортного потока	Легковые АТС с бензиновыми двигателями 1,4–2,0 л
Качество моторного топлива	Экологический класс бензина соответствует экологическому классу автомобиля

ного транспортного потока легковых автомобилей с бензиновыми двигателями за последние десять лет. Рассматривались следующие факторы, влияющие на выбросы от автотранспорта:

- условия движения по городским дорогам и улицам различных категорий;
- структура парка автомобилей по экологическим классам;
- структура рынка моторного топлива по экологическим классам.

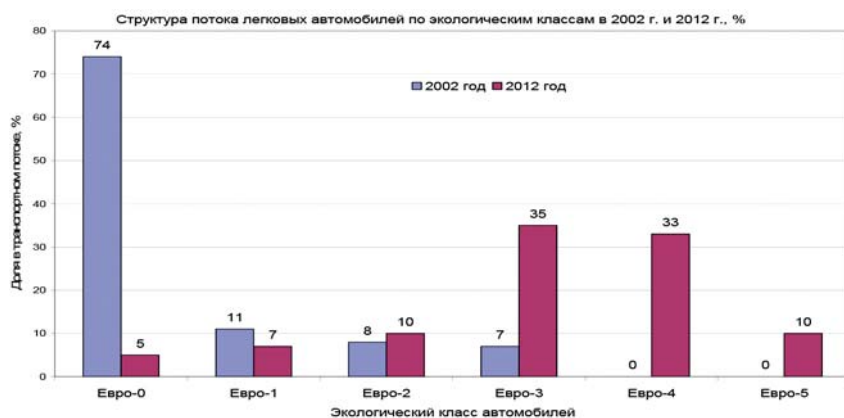


Рисунок 5. Распределение легковых автомобилей в Москве по экологическим классам для 2002 и 2012 годов

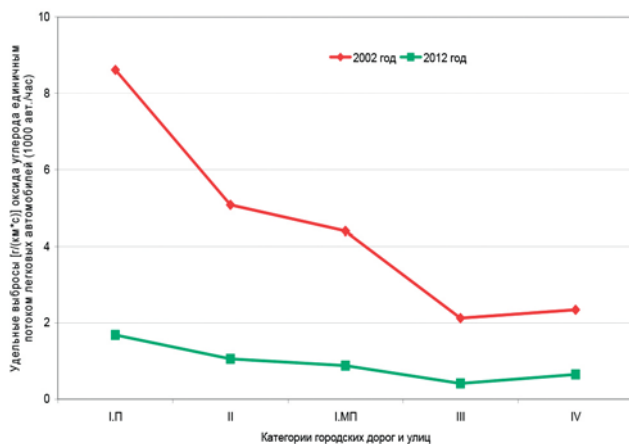


Рисунок 6. Изменение удельных выбросов монооксида углерода [g/(км×с)] для транспортного потока 1 000 ЛА/ч на городских дорогах и улицах различных категорий в 2002 и 2012 годах

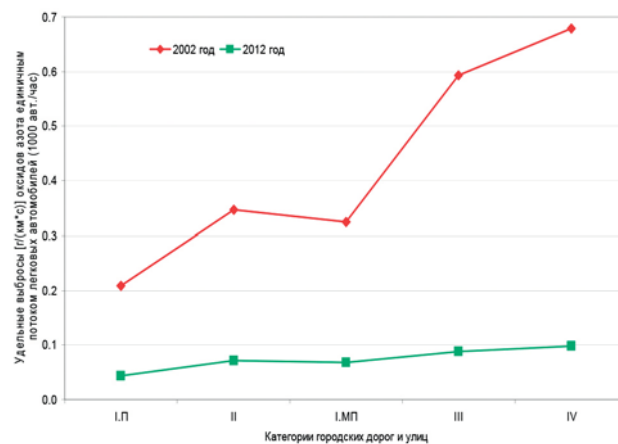


Рисунок 7. Изменение удельных выбросов оксидов азота [g/(км×с)] для транспортного потока 1 000 ЛА/ч на городских дорогах и улицах различных категорий в 2002 и 2012 годах

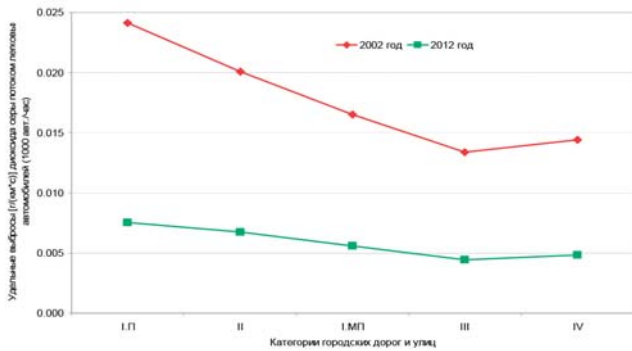


Рисунок 8. Изменение удельных выбросов диоксида серы [г/(км³)] для транспортного потока 1 000 ЛА/ч на городских дорогах и улицах различных категорий в 2002 и 2012 годах



Рисунок 9. Динамика выбросов 3В автомобильным транспортом Москвы (расчёт)

В табл. 7 представлены исходные данные для проведения расчётов.

На основании имеющихся статистических данных и проведённых исследований структуры автомобильного парка Москвы для расчётов принято представленное на рис. 5 распределение легковых автомобилей по экологическим классам в потоке для 2002 и 2012 годов. Полученные результаты расчётов удельных выбросов от транспортных потоков представлены на рис. 6, 7 и 8.

Результаты расчётных оценок изменения выбросов загрязняющих веществ автомобильным транспортом, полученные для Москвы с использованием методики НИИАТ, приведены на рис. 9. Здесь же показана численность автомобильного парка Москвы за тот же период.

ВЫВОДЫ

В рамках данной работы выполнено сравнение результатов расчётов выбросов по методикам НИИАТ и CORINAIR с натурными наблюдениями. Показано, что методика НИИАТ применительно к расчётам выбросов монооксида углерода в реальных условиях Москвы даёт более правильные результаты, чем методика CORINAIR.

Численные эксперименты показали, что методика расчёта выбросов НИИАТ чувствительна как к изменению структуры потока автомобилей по экологическим классам, так и к изменению скоростных режимов движения на городских дорогах и улицах.

Оценки, сделанные с помощью методики НИИАТ, дают основание заключить, что удельные выбросы транспортных потоков CO, NO_x, SO₂ (в г/км³) снизились за последние десять лет за счёт проведённых городскими властями мероприятий в четыре-пять раз.

Методика НИИАТ позволяет учесть влияние качества автомобильных бензинов на выбросы диоксида серы, углеводородов и группы особо токсичных и канцерогенных веществ.

Расчёты подтверждают, что значительные изменения структуры транспортных потоков по экологическим классам автомобилей, существенное омоложение автомобильного парка компенсировали негативное влияние автотранспорта на качество воздуха в Москве, вызванное ростом численности парка и перегрузкой транспортной сети города. Увеличение протяжённости и длительности транспортных заторов не привело к увеличению выбросов и концентраций CO и NO_x в атмосфере. Наоборот, с 2005 года в Москве наметилась тенденция к снижению, а с 2010 года — к стабилизации общего объёма выбросов этих веществ автотранспортом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации: ежегодный государственный доклад. — 2009, 2010, 2011.
2. Расчётная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух. — М.: ОАО «НИИАТ», 2006.
3. Рузский А. В., Кунин Ю. И., Парфёнов Е. В. Обеспечение экологической безопасности автотранспортных средств в период эксплуатации: вопросы нормирования и контроля // Журнал автомобильных инженеров. — 2012. — № 3 (74).
4. Расчётная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов. — М.: ОАО «НИИАТ», 2006.
5. Донченко В. В., Кунин Ю. И., Казьмин Д. М., Сазонова Г. М. Снижение негативного воздействия автотранспорта на состояние окружающей среды и здоровье населения в городах. — М.: ОАО «НИИАТ», 2010.
6. Донченко В. В., Кунин Ю. И., Казьмин Д. М. Транспортные проблемы городов и механизмы их решения // Научный вестник автомобильного транспорта. — М.: ОАО «НИИАТ», 2012.