

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.013.08

В. Л. Жданов

**ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ
ТРАНСПОРТНЫХ ИСТОЧНИКОВ В ГОРОДАХ**

Интенсивное развитие автомобильного транспорта в совокупности с высокими темпами современной урбанизации приводит к усложнению структуры и процесса функционирования дорожно-транспортной системы в городах. В таких условиях для поддержания эффективности названной системы на заданном уровне необходимо постоянно ужесточать требования по ограничению негативных аспектов, сопровождающих выполнение транспортного процесса. К числу наиболее актуальных из них, наряду с высоким уровнем аварийности, относят отрицательное воздействие на окружающую среду (ОС). Как известно, экологическая нагрузка (ЭН) на ОС от транспортных источников осуществляется по многим направлениям (загрязнение атмосферы, гидросферы, почв вредными веществами, акустическое воздействие, тепловое и электромагнитное излучения, транспортная вибрация, биоцентрическое воздействие) [1]. В настоящих исследованиях объектами анализа являются транспортные потоки (ТП) на улично-дорожной сети (УДС) городов, которые могут быть представлены в качестве трансформированной природной среды. Ее характерным признаком являются полностью освоенные и преобразованные под нужды общества территории. Как следствие, качественно изменена структура биотопа, с которой неразрывно связана структура всего биогеоценоза, наполненная в таком случае преимущественно антропогенными компонентами. Следовательно, все направления биоцентрического загрязнения в городах имеют гораздо меньшую интенсивность по сравнению с остальными составляющими ЭН и ими можно пренебречь. В этой связи на первый план выходит загрязнение атмосферы ТП, поскольку происходит их массовое проникновение в жилые районы городов, оказывая таким образом непосредственное вредное влияние на организм человека.

Для того чтобы обоснованно ограничивать загрязнение атмосферы ТП в городах, необходимо иметь достоверное описание процесса негативного воздействия на атмосферу при движении ТП по городской УДС. Получить данное описание в явном виде не представляется возможным, поскольку в городских условиях могут наблюдаться ТП с бесконечным множеством экологических характе-

ристик и объем информации выходит за пределы значений, допустимых для явного описания. Как следствие, для достижения поставленной цели следует прибегать к услугам усредненного моделирования. Таким образом, в контексте снижения уровня ЭН актуален вопрос объективного моделирования процесса отрицательного воздействия на атмосферу транспортными источниками в городах.

Поскольку в данных исследованиях рассматриваются городские транспортные источники, необходимо учесть, что их режимы движения отличаются высокой степенью сложности. Вследствие этого параметры оценки уровня загрузки дорог городской УДС и степени стесненности условий движения на них намного выше, чем в случае загородных ТП. Поэтому в пределах для городских транспортных источников процесс движения на перегонах УДС можно рассматривать практически непрерывным. Методологически такой подход представляется наиболее предпочтительным, так как при подобном допущении существующие закономерности механизма воздействия ТП на ОС проявляются наиболее ярко, что облегчает процесс моделирования этого воздействия. Впоследствии следует рассмотреть способность построенной таким образом модели учитывать влияние параметров ТП (прежде всего состава), геометрии УДС (длина перегонов, частота и сложность перекрестков) и методов организации дорожного движения (наличие или отсутствие светофорного регулирования, обозначение приоритета на перекрестках) на величину ЭН.

Исходя из введенного допущения, необходимо рассмотреть однородный, непрерывный ТП на участке городской дороги длиной X за фиксированный период времени T . Учитывая сформулированные выше положения, в первом приближении ЭН такого источника определяется массовым выбросом вредных веществ [2]. Поскольку данный параметр зависит от пробегового выброса АТС, то величину выброса вредных веществ в воздух над участком дороги X можно определить как

$$Q = \sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i, \text{ мг}, \quad (1)$$

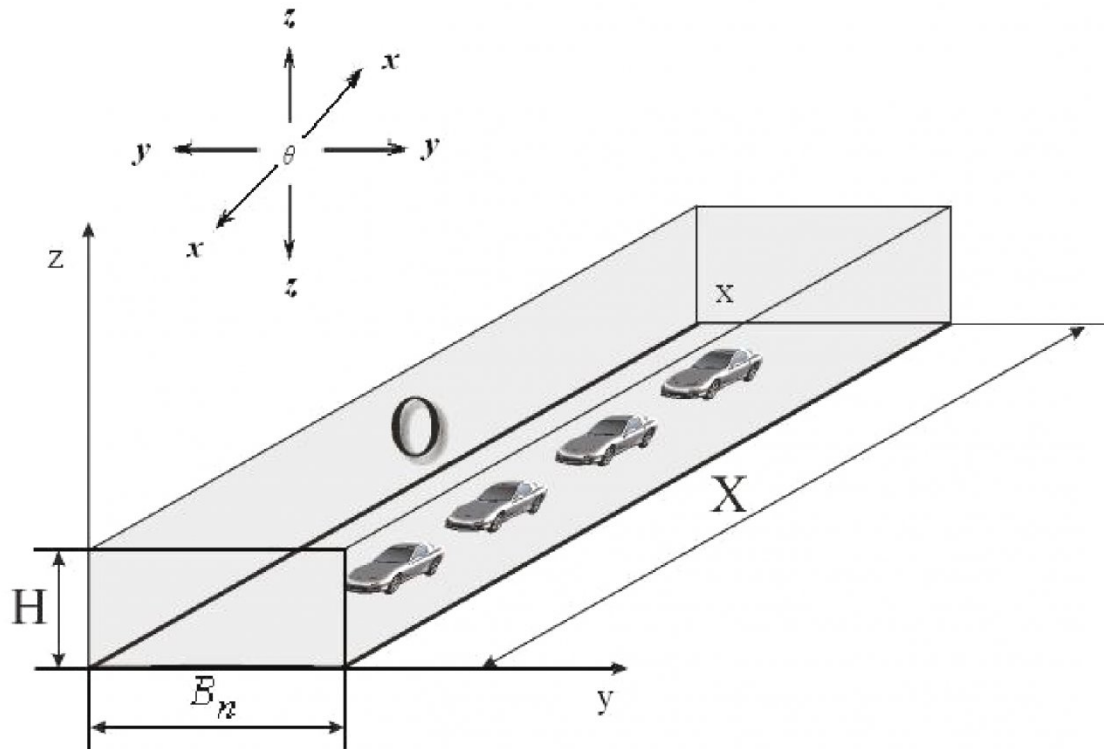


Рис. 1. Модель для расчета объема воздуха при определении возможной концентрации вредных веществ от городского транспортного источника

где Q – выброс вредных веществ в атмосферу от ТП, мг;

N – количество автомобилей, прошедших по участку X за время T ;

W_i – пробеговый выброс i -го автомобиля, мг/м;

X_i – расстояние, пройденное i -м автомобилем по участку, м.

Очевидно, что при таком описании параметром экологической нагрузки является концентрация вредных веществ в воздухе. Известно, что концентрация определяется степенью рассеивания веществ в атмосфере [3]. Степень рассеивания, в свою очередь, зависит от объема, в котором оно рассматривается. Тогда концентрация загрязняющих веществ в атмосфере от исследуемого транспортного источника C за время усреднения T может быть определена как

$$C = \frac{Q}{O}, \text{ мг/м}^3, \quad (2)$$

где O – объем воздуха, в котором рассеиваются вредные вещества за время T , м³.

Возможная ЭН рассматривается при движении данного транспортного источника по одной полосе участка дороги X . В этом случае с теоретических позиций модель для расчета объема воздуха, где происходит рассеивание загрязняющих веществ, будет иметь вид, представленный на

рис.1 (параметром θ обозначены оценочные критерии ветрового потока – направление и скорость).

Согласно полученной модели, объем воздуха O , где измеряется параметр ЭН (концентрация загрязняющих веществ), определяется следующим образом

$$O = X \cdot B_n \cdot H, \text{ м}^3, \quad (3)$$

где B_n – ширина одной полосы движения, м;

H – высота, на которой производится измерение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере, м.

Очевидно, результат, полученный при использовании модели на рис. 1 и произведения (3), показывает величину, характеризующую фиксированный объем воздуха (его можно обозначить как статический объем). Такой подход к определению объема не вполне соответствует действительности и результаты, получаемые при его использовании, будут вызывать сомнения. Поэтому следует рассмотреть возможность повышения точности модели по расчету объема воздуха O , что обеспечит увеличение достоверности определения концентрации вредных веществ в атмосфере по выражению (2). Реализация сформулированного подхода повысит объективность моделей расчета уровня ЭН городских транспортных источников в целом, что и является главной целью настоящих исследований.

Поскольку в качестве источника негативного

воздействия на ОС рассматривается ТП на участке дороги, то выброс вредных веществ и, следовательно, их рассеивание в атмосфере происходит при непрерывном движении данного потока. В процессе этого движения осуществляется постоянная ротация микроисточников (отдельных автомобилей), образующих общую структуру выброса макроисточника (ТП на исследуемом участке дороги). Логично предположить, что в таком случае некорректно рассматривать объем воздуха как абсолютно закрытую систему. Раз сам транспортный макроисточник выступает в роли условно открытой системы, вероятно, и объем воздуха тоже подвергается воздействию внешних факторов, которые приводят к изменению его величины (то есть имеет место так называемый динамический объем воздуха). В работе [4] проведены оценочные расчеты распространения примесей для городской улицы с шириной проезжей части 15 м в одном направлении в пределах двухкилометровой зоны. Данные расчеты показали, что динамический объем воздуха, в котором рассеиваются в течение часа токсичные примеси от выбросов ТП, в концентрациях, оказывающих вредное воздействие на организм человека, составляет: при отсутствии ветра – 100-150 тыс. м³/ч (средняя высота сечения воздушного коридора принята 2,8-3,2 м); при постоянной скорости и направлении ветра – 150-200 тыс. м³/ч. Поэтому при расчете возможной концентрации вредных веществ над участком городской дороги по формуле (2) в качестве параметра O необходимо использовать динамический объем. Как следствие, разработанную модель расчета объема воздуха (рис. 1), в котором происходит рассеивание вредных веществ, требуется модернизировать с учетом выдвинутых предположений.

При определении величины динамического объема воздуха на первый план выходит задача по выявлению наиболее существенных влияющих на объем факторов. Анализируя процесс движения и формирования ЭН транспортного источника, в первом приближении можно учесть, что постоянное изменение объема во времени происходит вследствие перемещения воздуха под влиянием двух главных аспектов:

- изменение объема воздуха под влиянием метеоусловий;
- изменение объема из-за перемещения воздуха вследствие движения автомобилей по исследуемому участку дороги.

При оценке влияния метеоусловий на величину динамического объема воздуха наиболее существенными, а также легко измеряемыми величинами являются параметры ветра (в основном, направление и скорость), что делает их основными факторами в подобной оценке [4]. Однако если использовать основные постулаты теории диффузии, из которых известно, что направление основного переноса вредных веществ, обусловленного

ветром, совпадает с осью x (рис. 1) [5], то в данном контексте можно рассматривать не полное, а линейное изменение объема воздуха. В таком случае направление ветра не будет играть большой роли, следовательно, единственным значимым параметром при оценке влияния метеоусловий остается скорость ветра θ .

Очевидно, что изменение объема воздуха вследствие движения автомобилей также должно выражаться линейной величиной. Современные исследования показывают, что в случае, когда скорость ветра близка к нулю, транспортные средства, двигаясь в плотном потоке, перемешивают шлейф отработавших газов каждого автомобиля и активно влияют только на горизонтальную диффузию вредных веществ [4]. Опираясь на это, можно предположить, что изменение динамического объема определяется расстоянием между автомобилями в транспортном макроисточнике (оценивает степень стесненности условий движения на исследуемом участке дороги).

Обобщая выдвинутые гипотезы, для динамического объема воздуха O можно записать

$$O = X \cdot \Delta O \cdot R_z, \text{ м}^3, \quad (4)$$

где ΔO – линейное изменение объема воздуха за время наблюдения T , м;

R_z – среднее расстояние занятости автомобилями участка X за время T , м.

Для выполнения следующего этапа при построении модели расчета ЭН транспортных источников необходимо проанализировать общую структуру параметров ΔO и R_z формулы (4).

Что касается параметра ΔO , то, принимая во внимание влияющие на него факторы, выявленные ранее, определение его структуры не представляет особых трудностей. Поскольку единственным значимым фактором для него является скорость ветра θ и определяется он за весь период времени наблюдения T , следовательно, параметр ΔO прямо пропорционален этим характеристикам. Тогда линейное изменение объема может быть определено как

$$\Delta O = T \cdot \theta, \text{ м}. \quad (5)$$

Параметр R_z характеризует степень стесненности условий движения данного транспортного источника. Отсюда напрашивается вывод, что среднее расстояние занятости автомобилями участка X тесным образом связано с плотностью ТП. Как известно, прямое использование плотности как самостоятельного параметра неудобно при практических исследованиях в силу затруднительности экспериментального определения ее величины [6]. В этом случае определение структуры параметра R_z должно быть проведено не напрямую через плотность ТП, а через параметр, который являлся бы аналогом плотности и имел бы с ней идентичный информативный признак. Представляет интерес использование в качестве

подобного аналога понятие занятости участка дороги [6, 7]. Если обозначить через t_i время, затрачиваемое i -м автомобилем на прохождение расстояния x_i при движении по участку длиной X , то занятость Z данного участка дороги

$$Z = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i. \quad (6)$$

Такая природа занятости участка дороги позволяет сделать однозначный вывод – среднее расстояние занятости автомобилями данного участка обратно пропорционально параметру Z . А, учитывая тот факт, что названное расстояние определяется на участке дороги фиксированной длины X , тогда для параметра R_z можно записать

$$R_z = \frac{X}{Z} = \frac{X \cdot T}{\sum_{i=1}^N t_i}, \text{ м}. \quad (7)$$

С учетом (4), (5) и (7), динамический объем воздуха O , в котором происходит рассеивание вредных веществ,

$$O = X \cdot T \cdot \theta \cdot \frac{X \cdot T}{\sum_{i=1}^N t_i}, \text{ м}^3. \quad (8)$$

Аналогично, параметр ЭН исследуемого транспортного источника, а именно концентрация вредных веществ в атмосфере C , за время усреднения T с учетом зависимостей (1) и (8) определяется, согласно выражению (2)

$$C = \frac{Q}{O} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i \cdot \sum_{i=1}^N t_i}{X \cdot T \cdot \theta \cdot X \cdot T}, \text{ мг/м}^3. \quad (9)$$

Анализ полученной структуры ЭН городских транспортных источников приводит к выводам.

Зная природу параметров Z , R_z и учитывая, что занятость участка дороги является аналогом плотности ТП и имеет тот же информативный признак, то зависимости, полученные для занятости, можно экстраполировать на плотность ТП. Так как замечено, что среднее расстояние занятости автомобилями участка дороги обратно пропорционально параметру Z , следовательно, такой же характер зависимости для данного параметра сохраняется и с плотностью потока. В этом случае для исследуемого транспортного источника плотность k определяется в виде

$$k = \frac{l}{R_z} = \frac{Z}{X} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{X \cdot T}, \text{ м}^{-1}. \quad (10)$$

Величина массового выброса и, следовательно, концентрация вредных веществ в атмосфере от данного транспортного макроисточника зависит от количества составляющих его микроисточников (автомобилей), которые осуществляют экологическую нагрузку за время наблюдения T .

Если использовать уже известные параметры, то количество этих микроисточников (N) можно определить как отношение суммарного расстояния, пройденного всеми автомобилями по участку за время наблюдения, к длине этого участка, то есть

$$N = \frac{1}{X} \sum_{i=1}^N x_i. \quad (11)$$

Тогда определение интенсивности движения q за время наблюдения T для исследуемого транспортного источника не вызывает особых сложностей и она может быть представлена в виде

$$q = \frac{N}{T} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{X \cdot T}, \text{ с}^{-1}. \quad (12)$$

Как показывают современные исследования, состав и интенсивность ТП оказывают существенное влияние на качественный и количественный состав выбросов вредных веществ, так как автомобили работают на различных видах топлива, которые имеют разные токсические и экономические характеристики [8]. А это как раз и приводит к появлению бесконечного множества фактических экологических характеристик ТП в городских условиях.

Поэтому при практическом определении возможного уровня ЭН от любого транспортного источника на УДС города следует пользоваться не индивидуальными значениями пробегового выброса для каждого микроисточника, а брать за основу среднее значение данного параметра в качестве токсической характеристики всех микроисточников, которое будет являться функцией состава ТП.

Для этого необходимо применять процедуры усредненного моделирования.

Другими словами, если при расчете возможной концентрации вредных веществ в атмосфере над исследуемым участком дороги по формуле (9) использовать параметр w_{cp} и рассматривать его в качестве среднего значения по индивидуальным пробеговым выбросам w_i , тогда выражение (9) примет вид

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N w_{cp} \cdot x_i \cdot \sum_{i=1}^N t_i}{X \cdot T \cdot \theta \cdot X \cdot T} = \frac{w_{cp} \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N t_i}{X \cdot T \cdot \theta \cdot X \cdot T}, \text{ мг/м}^3, \quad (13)$$

где w_{cp} – средний пробеговый выброс для данного ТП, мг/м.

Учитывая зависимости (10) и (12), формулу (13) для расчета концентрации вредных веществ в атмосфере можно представить в окончательном виде

$$C = \frac{w_{cp} \cdot q \cdot k}{\theta}, \text{ мг/м}^3. \quad (14)$$

Подводя итоги проведенным исследованиям, напрашивается вывод о том, что выражение (14) выступает в качестве базовой модели расчета ЭН транспортных макроисточников в городах.

Использованные при ее построении постулаты позволяют ожидать высокую достоверность результатов, получаемых в условиях практического применения модели для оценки уровня негативного воздействия на ОС ТП на УДС исследуемого города.

Проведенные автором в работе [9] исследования позволили доказать, что произведение интенсивность и плотности ТП можно рассматривать в качестве самостоятельного критерия оценки уров-

ня ЭН городских транспортных источников.

Данное произведение было названо «пространственно-временной емкостью ТП», поскольку в ее структуру входит и временная (интенсивность движения), и пространственная (плотность ТП) составляющие:

$$e = q \cdot k, (\text{м}\cdot\text{с})^{-1}, \quad (15)$$

где e – пространственно-временная емкость транспортного потока, $(\text{м}\cdot\text{с})^{-1}$.

Построенная в настоящих исследованиях модель расчета ЭН транспортных источников в городах (14) является дополнительным аргументом в пользу подобного использования емкости ТП, поскольку она включает емкость ТП (15) в свою структуру.

Следовательно, направлениями дальнейшего научного поиска в области экологических характеристик транспортных макроисточников должны стать исследования информативной нагрузки, а также степени оперативности и универсальности емкости ТП как критерия оценки уровня транспортной ЭН в городах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луканин, В. Н. Промышленно-транспортная экология: учеб. для вузов / В. Н. Луканин, Ю. В. Трофименко. – М.: Высш. шк., 2001. – 273 с.
2. Амбарцумян, В. В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / В. В. Амбарцумян, В. Б. Носов, В. И. Тагасов, В. И. Сарбаев. – М.: ООО Изд-во «Научтехлитиздат», 1999. – 235 с.
3. Сарбаев, В. И. Теоретические основы обеспечения экологической безопасности автомобильного транспорта. – М.: Изд-во МГИУ, 2003. – 144 с.
4. Комаров, Ю. Я. Технология активного воздействия на вредные выбросы движущихся автотранспортных средств / Ю. Я. Комаров, С. П. Колесников, В. Н. Федотов // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сборник докладов 6 Международной конференции, Санкт-Петербург, 14-15 сентября, 2004. – СПб, 2004. – С. 359–361.
5. Егоров, А. А. Рассеяние в атмосфере оксида углерода от автомобильного транспорта / А. А. Егоров, О. И. Гроздова, Ю. И. Царева // Экология и промышленность России. – 2006. – №1. – С. 38–41.
6. Клишковштейн, Г. И. Организация дорожного движения: учеб. для вузов / Г. И. Клишковштейн, М. Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
7. Иносэ, Х. Управление дорожным движением: под ред. Блинкина М. Я.: пер с англ. / Х. Иносэ, Т. Хамада. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
8. Михно, М. В. Влияние состава транспортного потока на экологические показатели // Автошляховик України. – 1999. – № 3. – С. 18.
9. Жданов, В. Л. Формирование параметров экологической характеристики транспортных потоков / В. Л. Жданов, Л. С. Жданов // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. 1999. – № 2. – С. 78–82.

□ Автор статьи:

Жданов
Вячеслав Леонидович
– старший преп. каф,
автомобильных перевозок
КузГТУ
E-mail: Slava.jr@rambler.ru