

Методические подходы к моделированию выбросов автотранспорта

В статье рассмотрены методы математического моделирования, позволяющие учитывать влияние множества факторов на экологические показатели функционирования системы «автомобиль – окружающая среда». Особого внимания заслуживает модель расчета вредных выбросов в зависимости от расхода топлива.

Ключевые слова: математическая модель, вредные выбросы, расход топлива, режим движения, объем выбросов, транспортный поток.

Растущие темпы автомобилизации сопровождаются интенсивным потреблением исчерпаемых природных ресурсов и возрастанием негативного влияния на окружающую среду. Решение этой проблемы предусматривает разработку и внедрение комплекса мероприятий технического, экономического, организационного, архитектурно-планировочного характера. Вместе с тем реализация таких мероприятий, особенно в городах, является сложной задачей требующих учета многообразных факторов, воздействующих на систему «автомобиль – окружающая среда». Функционирование этой системы происходит при постоянном изменении интенсивности, скорости, плотности и состава транспортных потоков, состояния дорожного покрытия и маршрутов движения в зависимости от целей перевозок. Учесть влияние всего многообразия этих факторов на экологические показатели функционирования системы позволяют методы математического моделирования [1, 2]. Существует множество моделей, учитывающих как режимы движения автотранспорта применительно к характеристикам улично-дорожной сети, так и методы регулирования дорожного движения. Рассмотрим некоторые из них, в частности те, которые имеют широкие функциональные возможности при решении задач экологической безопасности автомобильного транспорта. Одной из таких моделей является модель расчета вредных выбросов в зависимости от расхода топлива.

Расход топлива и, следовательно, объем токсичных выбросов в значительной степени зависит от режимов работы двигателя в определенных условиях. Из всей совокупности факторов, определяющих режим работы, наиболее существенными являются мощность и частота вращения коленчатого вала двигателя. Поэтому базовым уравнением для определения объема токсичных выбросов является следующее [3, 4]:

$$Q_F = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\eta_i} \int_{N_{i_{min}}^i}^{N_{i_{max}}^i} \int_{N_{i_{min}}^i}^{N_{i_{max}}^i} \frac{G_i}{N_i} A_i dV, \quad (1)$$

Шапочка Николай Константинович, кандидат экономических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой экономики Сумского государственного университета; Лямцев Александр Викторович, аспирант кафедры экономики Сумского государственного университета; Вороненко Вячеслав Игоревич, студент факультета экономики и менеджмента Сумского государственного университета.

© Н.К. Шапочка, А.В. Лямцев, В.И. Вороненко, 2009

ЧАСТИНА 2 НАУКОВІ ПОВІДОМЛЕННЯ

где S – длина участка дороги;
 i – тип двигателя автомобиля;
 η_i – коэффициент полезного действия трансмиссии;
 n_{min}^i, n_{max}^i – минимальная и максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя, об./мин.;
 N_{max} – эффективная мощность двигателя, кВт;
 N_{max}^i – максимальная мощность двигателя, кВт;
 N_{max}^{Ti} – максимальная тормозная мощность двигателя, кВт;
 A, dB – суммарная работа, выполненная всеми двигателями автомобилей типа i в диапазоне режимов dB на участке дороги S .

Область изменения режимов работы двигателя располагается при частоте движения от n до $n+dn$ и мощности от N до $N+dN$. Поэтому уравнение (1) можно выразить следующим образом:

$$Q_F = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\eta_i} \int_{n_{min}^i}^{n_{max}^i} \int_{N_{min}^i}^{N_{max}^i} \frac{G_i}{N_i} P_{Ti} dB, \quad (2)$$

где P_{Ti} – суммарная сила тяги автомобилей типа i , Н.

В этих уравнениях отношение G_i/N_i является удельной токсичностью двигателя q_i [4].

Для определения расхода топлива необходимо рассчитать силу тяги автомобиля. Сила тяги P_T определяется следующим образом:

$$P_T = P_W + P_\psi \mp P_j = KFV^2 + G_a g \psi \mp G_a \delta_j a, \quad (3)$$

где K – коэффициент обтекаемости автомобиля, кг/м³;
 F – лобовая площадь автомобиля, м²;
 V – скорость движения автомобиля, м/с;
 G_a – полная масса автомобиля, кг;
 ψ – коэффициент полного дорожного сопротивления;
 δ_j – коэффициент учета вращающихся масс;
 a – ускорение автомобиля, м/с².

Для использования уравнения тягового усилия автомобиля при расчетах расхода топлива для множества автомобилей в транспортном потоке необходимо использовать математические модели, которые позволяют получить адекватные результаты, но в то же время являются достаточно простыми для моделирования токсичных выбросов на транспортной сети. Одна из таких моделей, разработанная М. Тейлором и Т. Янгом для оценки мгновенного расхода топлива, имеет следующий вид [5]:

$$\frac{dG_T}{dt} = g_x + \beta_1 P_T V + \left(\frac{\beta_2 G_a a^2 V}{1000} \right)_{a>0} \text{ для } P_T > 0, \quad (4)$$

$$\frac{dG_T}{dt} = g_x \text{ для } P_T = 0, \quad (5)$$

где V – скорость движения автомобиля, м/с;
 a – ускорение автомобиля, м/с²;

g_x – расход топлива на холостом ходу, мл;
 β_1, β_2 – параметры, подбираемые для конкретного двигателя;
 α – уклон дороги;
 t – время.

При описании пробегового расхода топлива используется следующее уравнение:

$$G_s = \frac{3600 g_x}{V_r} + A + BV_r^2 + \beta_1 K_{E1} + G_a E_{K+} + \beta_2 K_{E2} G_a E_{K+}^2 + g\beta_1 K_G G_a \frac{\alpha}{100} + \frac{g_x t_i}{5}, \quad (6)$$

$$E_{K+} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,35 - 0,0025V_r; \\ 0,5; \end{array} \right. \quad (7)$$

$$K_{E2} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,675 - \frac{1,22}{V_r}; \\ 0,5; \end{array} \right. \quad (8)$$

$$K_{E2} = 2,78 + 0,0178V_r; \quad (9)$$

$$K_G = 1 - 1,13E_{K+} \text{ для } \alpha < 0;$$

$$K_G = 0,9 \text{ для } \alpha \geq 0. \quad (10)$$

Для прогнозирования времени поездки при различных дорожных условиях и интенсивности движения можно использовать следующие зависимости [5]:

при стабильном состоянии транспортного потока:

$$t = t_0 \left(1 + J \frac{q_n}{1 - q_n} \right), \quad (11)$$

при нестабильном состоянии транспортного потока:

$$t = t_0 \left[1 + J \frac{\rho}{1 - \rho} + \frac{J}{(1 - \rho)^2} (q_n - K_q) \right], \quad (12)$$

где t_0 – время поездки в свободных условиях;
 q_n – нормированная интенсивность движения, определяемая отношением фактической интенсивности движения к пропускной способности;
 ρ – коэффициент насыщения движением, определяемый отношением фактической плотности транспортного потока к максимальной плотности;
 K_q – нормированная интенсивность движения при переходе к плотному насыщенному потоку, $K_q = 0,75-0,85$;

J – параметр, учитывающий внутреннее трение в транспортном потоке.

На основании приведенных моделей можно получить зависимости, определяющие расход топлива и токсичные выбросы при различной скорости и неравномерности движения. Для легкового автомобиля среднего класса эти зависимости имеют следующий вид:

$$G_T = 0,294 + 0,0311V + 0,00004V^3, \quad (13)$$

$$E_{co} = 32,447 + 3,012V + 0,162V^2 - 0,00326V^3, \quad (14)$$

где G_T – расход топлива, мл/с;
 E – токсичные выбросы, г/км.

Выводы

Одним из основных требований, предъявляемых к построению таких моделей, является необходимость адекватно воспроизводить характеристики транспортных потоков, поскольку их интенсивность и режимы движения являются определяющими факторами при оценке воздействия автотранспорта на окружающую среду. Важной задачей при этом является как воспроизведение режимов движения, так и оценка фактического уровня токсичных выбросов, поскольку при расчетах оперируют, как правило, нормативными показателями.

1. *Гутаревич Ю. Ф.* Защита окружающей среды от вредных выбросов автомобильного транспорта : учеб. пособие / Ю. Ф. Гутаревич, А. Г. Говорун, А. И. Ковалев. – К. : УМК ВО при Минвузе УССР, 1989.
2. *Гончарук О. В.* Экономическая эффективность транспортно–технологических систем / О. В. Гончарук. – М. : Наука, 1991.
3. *Гутаревич Ю. Ф.* Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях / Ю. Ф. Гутаревич. – К. : Вища шк., 1991.
4. *Жук С. В.* Математические модели менеджмента и маркетинга / С. В. Жук. – Ростов-на-Дону : ЛаПО, 1997.
5. *Иванов В. Н.* Экономия топлива на автомобильном транспорте / В. Н. Иванов, В. И. Ерохов. – М. : Транспорт, 1999.

Отримано 14.09.2009 р.

М.К. Шапочка, О.В. Лямцев, В.І. Вороненко

Методичні підходи до моделювання викидів автотранспорту

У статті розглянуті методи математичного моделювання, що дозволяють враховувати вплив безлічі чинників на екологічні показники функціонування системи «автомобіль – довкілля». На особливу увагу заслуговує модель розрахунку шкідливих викидів залежно від витрати палива.

Ключові слова: математична модель, шкідливі викиди, витрата палива, режим руху, обсяг викидів, транспортний потік.