

УДК 656.13.08

В.Д. Гогунский, д-р техн. наук, проф.,
А.Е. Колесников, инженер,
Я.Л. Курбанов, инженер,
Одес. нац. политехн. ун-т

ВЛИЯНИЕ СВЕТОФОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

В.Д. Гогунський, О.Є. Колесніков, Я.Л. Курбанов. **Вплив світлофорного управління на величину екологічного ризику.** Розроблено методику визначення екологічного ризику, що виникає на елементах вулично-дорожньої мережі під час руху автомобілів.

V.D. Gogunsky, A.E. Kolesnikov, Ya.L. Kurbanov. **Influence of traffic light regulation on the value of ecological risk.** The technique of determining the ecological risk arising at urban motorway network elements in traffic has been developed.

Усредненные в целом по г. Одессе данные о загрязнении атмосферного воздуха отражают неблагоприятную экологическую обстановку практически во всех районах города: концентрация оксида углерода равна $7,2 \text{ мг/м}^3$ или $2,4$ предельно допустимых среднесуточных концентраций (ПДК_{сс}), а оксидов азота — $0,11 \text{ мг/м}^3$ или $2,75$ ПДК_{сс}. Максимальный уровень загрязнения регистрируется в районе Пересыпских мостов (пост “Херсонский сквер”) и на ул. Черноморского казачества. На этих постах, размещенных вблизи транспортных магистралей, Госметеоцентр Черного и Азовского морей регистрирует более чем трехкратное превышение ПДК_{сс} оксида углерода. Существующий уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Одессе представляет угрозу для населения и окружающей природной среды.

Для характеристики и оценки качества окружающей среды используется нормативный подход, ориентированный на концепцию предельно допустимых концентраций [1]. Нормативный подход, создавая видимость существования экологических норм, не позволяет оценить ущерб и потери общества из-за ухудшения качества среды обитания по сравнению с допустимыми санитарно-гигиеническими нормами. Единственный вывод, который следует из сопоставления фактического состояния окружающей среды с нормативными данными, состоит в следующем: если есть превышение значений параметров среды над нормативами, то это опасно [2, 3]. Для численной оценки риска необходимо обращаться к статистическим данным о состоянии здоровья населения, которые фиксируют уже свершившийся факт, когда последствия нельзя изменить, а тем более нельзя предотвратить.

В опубликованных работах разных авторов преобладают эмпирические подходы, основанные на изучении влияния чаще всего отдельных вредных факторов либо некоторых групп факторов [4]. Как правило, при оценке качества окружающей среды выделяются факторы, оказывающие наибольшее влияние на биосферу, и с их учетом производятся оценки экологической безопасности.

Наличие в окружающей среде вредных веществ любой концентрации создает опасность для здоровья человека, при этом всегда возникает риск сокращения средней продолжительности жизни за счет заболеваний или других нарушений здоровья. Предлагаемая методика определения экологического риска, создаваемого на элементах улично-дорожной сети, позволяет применять этот показатель для оптимизации транспортных потоков в качестве целевой функции управления дорожным движением.

В общем случае при загрязнении атмосферного воздуха в соответствии с законом Вебера-Фехнера существует некоторая функциональная зависимость между уровнем загрязнения и экологическим риском

$$r = a \lg \frac{C}{C_0}, \quad (1)$$

где r — уровень риска;

C — концентрация вредного вещества в воздухе;

C_0 — наименьшая концентрация вредного вещества, при которой $r = 0$;

a — коэффициент пропорциональности.

Приемлемый уровень экологического риска или вероятность смерти для индивидуума в течение года от опасностей, связанных с техносферой, $r = 10^{-6}$ [5]. Можно принять, что приемлемому уровню риска соответствует содержание примесей в воздухе с концентрацией, равной ПДК_{сс}. Если же концентрация вредных веществ в воздухе будет равна среднесмертельной, т.е. $C = \text{ЛК}_{50}$, то уровень такого риска $r = 0,5$.

Таким образом, на основе нормативных показателей, определяемых экспериментально [5], можно установить две фиксированные точки зависимости (1)

$$\begin{cases} 1 \cdot 10^{-6} = a \lg \frac{\text{ПДК}_{\text{сс}}}{C_0}, \\ 0,5 = a \lg \frac{\text{ЛК}_{50}}{C_0}. \end{cases} \quad (2)$$

Функция потенциального экологического риска от концентрации ксенобиотиков в атмосферном воздухе

$$r = 0,5 \frac{\lg \frac{C}{\text{ПДК}_{\text{сс}}}}{\lg \frac{\text{ЛК}_{50}}{\text{ПДК}_{\text{сс}}}}. \quad (3)$$

Уравнение (3) позволяет определить сокращение средней продолжительности жизни (СПЖ) населения при известной концентрации C вредных веществ в воздухе. Использование в качестве оценки отношения двух величин эквивалентно переходу от интенсивной к экстенсивной характеристике воздействия — дозе, которая, как известно, является интегральной величиной и определяется с учетом времени воздействия.

Ожидаемый индивидуальный риск рассчитывается с учетом времени пребывания в зоне загрязнения

$$r_{\text{инд}} = \eta r,$$

где η — отношение времени пребывания индивидуума в зоне загрязнения к длительности суток.

Ожидаемое вероятное сокращение средней продолжительности жизни за год

$$\text{СПЖ}_{\text{инд}} = 365 r_{\text{инд}}, \quad \text{дн/год}.$$

Расчет суммарного экологического риска R при независимом действии нескольких веществ необходимо выполнять в следующей последовательности. Вначале рассчитывается величина экологического риска r_i от каждого вещества, а затем определяется суммарный риск

$$R = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - r_i),$$

где m — количество факторов.

Предлагаемая методика расчета величины суммарного риска и сокращения продолжительности жизни на основе нормативных данных позволяет дать количественную оценку опасности загрязнения атмосферного воздуха, что позволяет применить критерий экологического риска в качестве целевой функции управления дорожным движением. Исходными данными для расчета экологического риска, создаваемого выхлопными газами автомобильного транспорта, являются величины ПДК_{сс} и фактические концентрации ингредиентов выхлопных газов.

При расчете выбросов вредных веществ, содержащихся в выхлопных газах автотранспорта, для карбюраторных двигателей рассматриваются оксид углерода CO, углеводороды C_mH_n и оксиды азота в пересчете на диоксид азота NO₂. Для автомобилей с дизельными двигателями дополнительно определяется содержание сажи [2]. Следует отметить, что более жесткие европейские стандарты учитывают также сумму C_mH_n и NO_x [3].

Первичное перемешивание выхлопных газов происходит в некотором объеме — ячейке — над полотном дороги $V_0 = L \cdot b \cdot h$, где L — длина пути, b — ширина проезжей части, h — высота ячейки, где происходит первичное перемешивание. Величина $h = 2$ м принимается равной средней высоте автомобилей в потоке, при движении которых происходит полное перемешивание воздуха с выхлопными газами.

На дорогу поступает и удаляется с нее в зависимости от скорости и направления ветра в общем случае объем воздуха

$$Q = hu(L \sin \alpha + b \cos \alpha), \quad \text{м}^3/\text{с},$$

где u — скорость ветра, м/с;

α — угол между направлением ветра и осевой линией дороги, согласно рекомендациям ОНД-86 $\alpha = 90^\circ$ [4].

Уравнение материального баланса по одному из веществ имеет вид

$$QC_{\phi} + M_i - QC_i = V_0 \frac{dC_i}{dt}, \quad (4)$$

где C_{ϕ} — фоновая концентрация вредного вещества, мг/м³;
 C_i — концентрация вредного вещества над полотном дороги, мг/м³;
 M_i — выброс вредного веществ с выхлопными газами, мг/с;
 t — время, с;
 Q — количество воздуха, поступающего в ячейку V_0 и удаляемого из нее, м³/с.
 В стационарном состоянии в уравнении (4) $dC_i/dt = 0$, поэтому после преобразований

$$C_i = C_{\phi} + \frac{M_i}{Q}.$$

Полученная зависимость позволяет решить две задачи: найти концентрацию вредных веществ над полотном дороги и вблизи нее при заданной скорости ветра и рассчитать скорость ветра, при которой будет достигнуто значение ПДК_{сс}.

Для удобства выполнения расчетов применено понятие — “условный (приведенный) автомобиль”. Грузовой автомобиль приравнивается к двум, микроавтобус — к одному, а автобус — к трем легковым автомобилям.

Оценка уровня воздействия на атмосферный воздух выхлопных газов автомобилей выполняется на элементах улично-дорожной сети — на улицах и перекрестках. Очевидно, что наибольшее количество выхлопных газов выделяется на перекрестках. Чтобы учесть особенности выделения отработанных газов автомобилей на перекрестках вводятся дополнительные коэффициенты

$$M_i = k_u k_t k_i k_p k_s k_v M_{0i},$$

где k_u — коэффициент увеличения выбросов из-за светофорного управления;
 k_t — коэффициент увеличения выбросов из-за неудовлетворительного качества топлива;
 k_i — коэффициент, характеризующий исправность систем питания автомобилей;
 k_p — коэффициент планировки и организации перекрестков, отражающий наличие остановок общественного транспорта, пешеходных переходов, подземных переходов и др.;
 k_s — коэффициент рельефной сложности перекрестка;
 k_v — коэффициент, характеризующий средний “возраст” автомобилей в потоке;
 M_{0i} и M_i — идеальный и реальный выброс компонентов, г/с.

Величина M_{0i} для условного автомобиля находится по данным о выбросах токсичных компонентов P_i на единицу пути [2] по формуле

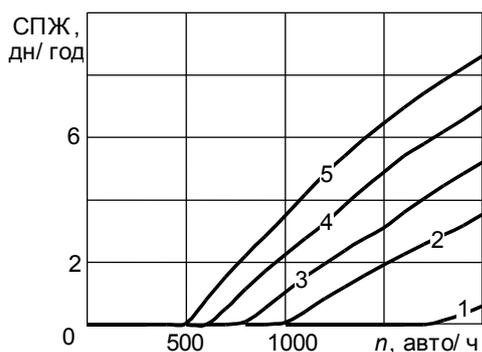
$$M_{0i} = \frac{1000 \cdot n \cdot L \cdot P_i}{3600},$$

где n — интенсивность движения автомобилей, авто/ч;
 L — отрезок пути, км;
 P_i — нормы выбросов компонентов условным автомобилем: оксида углерода — 24,3, оксидов азота — 0,3, углеводородов — 4,2 г/км.

Значительное увеличение выбросов связано с неудовлетворительным качеством топлива и неисправностью систем питания автомобилей. Около 10 % контрольных анализов применяемого топлива показывают его несоответствие стандартам, поэтому можно принять $k_t = 1,1$. Контрольные проверки автомобилей, проведенные ГАИ во время операции “Чистый воздух”, показали, что каждый третий автомобиль нуждается в регулировке системы питания, это соответствует $k_i = 1,33$. Из-за отсутствия достоверных данных о рельефной сложности и видимости на всех перекрестках города принимается в первом приближении $k_s = 1,05$. Так как более 20 % эксплуатируемых автомобилей в рассматриваемом потоке старше 10 лет, то $k_v = 1,2$.

Движению на участке улицы без остановок соответствует $k_u = 1$. При светофорном регулировании примерно половина цикла регулирования — около 30 с — затрачивается на накопление группы автомобилей и ожидание разрешающего сигнала светофора. При движении условный автомобиль выделяет 24,3 г/км или 1,215 г оксида углерода на отрезке пути 50 м, составляющем перекресток. А при остановке этот же автомобиль за 30 с в режиме холостого хода выбрасывает 2,25 г оксида углерода [2]. При времени задержки у светофора $t_3 = 10, 20, 30, 40$ с коэффициент k_u принимает значения, соответственно, 1,75; 2,2; 2,8; 3,47, а при отсутствии светофорного регулирования увеличивается до 10...12.

Получены расчетные данные о сокращении средней продолжительности жизни индивидуума в зависимости от характеристик светофорного регулирования и интенсивности транспортного потока в часы



Сокращение средней продолжительности жизни при времени задержки у светофора $t_3 = 0(1), 10(2), 20(3), 30(4), 40(5)$ с

жизни позволяет применять эти характеристики в качестве целевой функции управления дорожным движением, а также для разработки и организации рациональных схем движения автотранспортных потоков на улично-дорожных сетях крупных городов.

Литература

1. ГОСТ 17.2.3.01-86. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов.
2. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчетным методом) / Минтранс РСФСР, НИИАТ. — М., 1992. — 80 с.
3. Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф. Нормування екологічних показників ДТЗ: розвиток, стан, перспективи // Автошляховик України. — 2001. — № 4. — С. 2 — 9.
4. Саноцкий И.В., Уланова И.П. Критерии вредности в гигиене и токсикологии при оценке опасности химических соединений. — М.: Медицина, 1975. — 343 с.
5. Басиль Е.Е., Изотов С.А., Гогунский В.Д. Риск сокращения продолжительности жизни: рабочая зона // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 1997. — Вып. 2. — С. 133 — 135
6. ОНД-86 Методика расчета концентрации в атмосфере вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. — М.: Госкомгидромет, 1986. — 83 с.
7. ттт

Поступила в редакцию 21 февраля 2002 г.