

УДК 656.13.504

ВОЗМОЖНОСТЬ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ЧЕРЕЗ КРИТЕРИИ СЛОЖНОСТИ ИХ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ

Жданов В.Л., к.т.н., доцент, доцент кафедры автомобильных перевозок
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

В актуальных условиях бурного развития процесса урбанизации передвижные источники воздействия на окружающую среду (ОС), к которым, прежде всего, относятся городские транспортные потоки, представляют наибольший интерес как объект исследования при решении вопроса снижения уровня экологической нагрузки (ЭН). Невозможность их изоляции от жилых территорий городов диктует необходимость такого ужесточения экологических характеристик городских ТП, когда с увеличением общего количества автотранспортных средств (АТС) на улично-дорожной сети (УДС) города будет обеспечиваться предельно допустимый с точки зрения качества среды обитания населения уровень ЭН.

В то же время прямые экспериментальные исследования экологических характеристик ТП связаны с большими сложностями ввиду необходимости использования широкой номенклатуры дорогостоящего оборудования и одновременного охвата для исследования больших территорий жилых районов городов. В этой связи альтернативой подобным прямым исследованиям могут выступать исследования взаимосвязи критериев качества условий движений городских ТП с их экологическими характеристиками. Доказательство наличия указанной взаимосвязи позволит существенно увеличить оперативность определения уровня ЭН от городских ТП на ОС.

Таким образом, исследования в области оценки уровня экологической нагрузки городских ТП на ОС через критерии сложности их условий движения представляются достаточно актуальными с точки зрения обеспечения качества среды обитания урбанизированных территорий [1].

К настоящему времени разработано большое количество критериев оценки сложности условий движения. Среди них наибольшей оперативностью и объективностью подобной оценки обладает градиент скорости [2, 3]. Градиент скорости способен адекватно оценивать не только общий уровень сложности, но и отдельные стороны качества движения, к которым традиционно относятся степень неравномерности, величина задержек, топливная экономичность городских ТП с известными составом и параметрами движения. В таком случае возможность адекватной оценки градиентом скорости должна экстраполироваться и на экологические характеристики, поскольку уровень

экологической безопасности является неотъемлемой частью эффективности дорожного движения как системы. Как следствие, для подтверждения выдвинутой гипотезы следует выявить характер связи градиента скорости с некоторыми экологическими характеристиками движения.

Объектом настоящих исследований являются городские транспортные потоки. При построении различных экологических характеристик указанных передвижных источников в качестве основного параметра оптимизации негативного воздействия на ОС в жилых территориях городов наиболее обоснованно рассматривать загрязнение воздуха, которое количественно оценивается концентрацией вредных веществ в атмосфере. Из всей номенклатуры вредных веществ, находящихся в отработавших газах АТС, наибольший вес имеет оксид углерода (СО). Логично предположить, что для получения сопоставимых результатов связь градиента скорости с экологическими характеристиками городских ТП предпочтительнее исследовать именно через призму концентрации СО в атмосфере. Большой массив рассчитанных значений градиента скорости для городского ТП, имеющего в своём составе АТС со стандартной токсичностью по СО, позволил получить характерную зависимость, представленную на рис. 1.

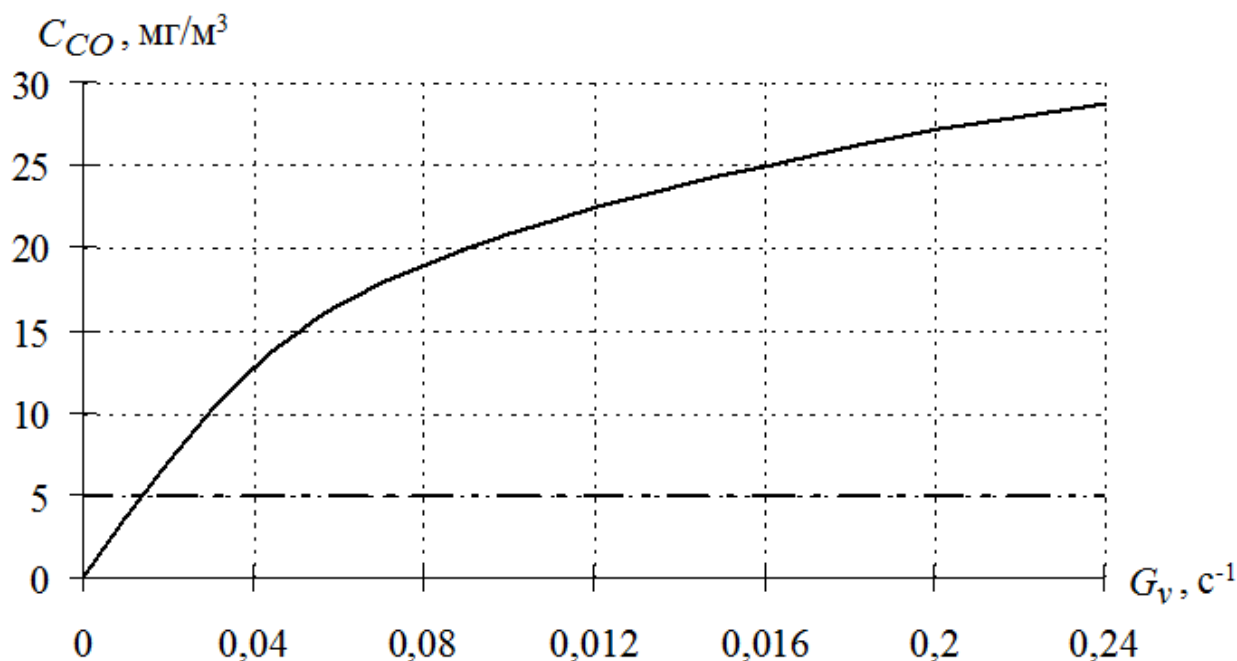


Рис. 1. Изменение концентрации оксида углерода (C_{CO}) от градиента скорости G_v

Штрихпунктирной линией на рис. 1 обозначено значение максимально разовой предельно допустимой концентрации (ПДК) для СО, которое составляет 5,0 мг/м³. Полученный на основе расчётов характер зависимости подтверждает гипотезу о существовании связи между градиентом скорости и экологическими характеристиками городских ТП. При этом требуемое качество атмосферы обеспечивается при достаточно низких значениях G_v , которое возможно только при стабильных режимах городских ТП.

Номенклатура параметров движения городских ТП делится две большие группы: пространственные и временные. Соответственно, пространственные оценивают изменение параметров движения на различных участках УДС в заданный период времени, а временные – изменение параметров движения в заданном сечении УДС в различные периоды времени. Возможность одновременного учёта этих двух подходов при формировании оценки экологической нагрузки ТП на ОС существенно повысить объективность получаемых результатов [2].

Среди всех пространственных параметров движения основным считается плотность ТП, а среди временных – интенсивность движения. Произведение указанных параметров позволило получить самостоятельный параметр оценки сложности условий движения, который получил название пространственно-временной емкости ТП [3]. Поэтому для решения поставленной задачи требуется рассмотреть связь пространственно-временной емкости ТП с его экологическими характеристиками.

Предварительно необходимо определить структуру комплексного показателя ЭН городского ТП. Используя фундаментальные законы движения транспортных потоков высокой плотности, к которым относятся городские ТП, структура комплексного показателя ЭН может быть сформирована следующим образом.

Экологическая нагрузка городского ТП, формируемая в виде выбросов вредных веществ в атмосферу (в частности, оксида углерода СО), увеличивается про росте количества АТС на участке УДС и росте времени их нахождения на этом участке УДС. Кроме того, уровень указанной экологической нагрузки определяется качеством условий движения, которое выражается через устойчивость режимов движения транспортных потоков в на исследуемой УДС города. Количество АТС на заданном участке УДС определяется основным пространственным параметром движения – плотностью транспортного потока (k), время нахождения АТС на заданном участке УДС определяется темпом движения (t_{∂}) [2, 3]. Если касаться устойчивости режимов движения, то она количественно определяется величиной и частотой ускорений (замедлений), то есть степенью неравномерности движения на исследуемой УДС города [3]. Основные постулаты энергетического подхода к транспортному потоку говорят о том, что степень неравномерности движения выступает индикатором непроизводительных потерь энергии в транспортном потоке как системе. Указанные непроизводительные потери определяются переходом полезной кинетической энергии ТП в его внутреннюю энергию.

Исходя из вышесказанного, общий комплексный показатель ЭН городского ТП будет иметь следующую структуру

$$P_{ЭН} = k \cdot t_{\partial} \cdot I, \text{ (м} \cdot \text{с)}^{-1}, \quad (1)$$

где $P_{ЭН}$ – комплексный показатель ЭН транспортного потока, $(\text{м} \cdot \text{с)}^{-1}$; I – общие потери кинетической энергии исследуемого городского ТП, $\text{м}/\text{с}^2$.

Очевидно, что комплексный показатель ЭН имеет общий признак с пространственно-временной емкостью ТП, а именно определяется как пространственной (плотность потока), так и временной (темп движения) характеристиками. Однако комплексный показатель ЭН, выраженный в виде формулы (1), несет в себе достаточно слабую информативную нагрузку, из-за этого выявить его физический смысл и характерные свойства весьма проблематично. Поэтому для поиска взаимосвязи пространственно-временной емкости ТП с его экологическими характеристиками и повышения наглядности структуры комплексного показателя ЭН требуется определенное преобразование выражения (1).

Прежде всего, что темп движения редко применяется для оценки быстроты реализации транспортного процесса, он обычно выступает как варьируемый параметр и представляет собой величину, обратную скорости сообщения, т.е. $t_{\partial} = \frac{1}{V}$. Внутренняя энергия транспортного потока, согласно энергетическому подходу, выражается через потери движения вследствие воздействия широкого спектра факторов. Это и неудовлетворительные геометрические характеристики путей сообщения, и наличие средств организации дорожного движения, и неблагоприятные взаимодействия между автомобилями и множество других каналов потерь кинетической энергии. Количественно внутренняя энергия ТП может оцениваться величинами и частотой положительных и отрицательных ускорений. За параметр, отождествляемый с внутренней энергией ТП, принимают среднеквадратическое отклонение ускорения, в теории ТП называемый шумом ускорения.

Однако не стоит забывать, что в данных исследованиях рассматриваются городские ТП, при формировании общей структуры ездового цикла которых достаточно большую долю составляют задержки движения. Исследованные к настоящему времени свойства шума ускорения свидетельствуют о том, что он неадекватно реагирует на изменение величины задержек движения (с увеличением задержек шум ускорения уменьшается). Таким образом, в городских условиях шум ускорения недостоверно оценивает уровень качества движения.

Однако не стоит забывать, что в данных исследованиях рассматриваются городские ТП, при формировании общей структуры ездового цикла которых достаточно большую долю составляют задержки движения. Исследованные к настоящему времени свойства шума ускорения свидетельствуют о том, что он неадекватно реагирует на изменение величины задержек движения (с увеличением задержек шум ускорения уменьшается). Таким образом, в городских условиях шум ускорения недостоверно оценивает уровень качества движения.

В противоположность шуму ускорения, другой энергетический параметр, градиент скорости, адекватно оценивает и степень неравномерности, и величину задержек движения, что делает его более предпочтительным при использовании в роли критерия оценки качества городских условий движения [2]. Поэтому для использования комплексного показателя ЭН в городских условиях движения желательно, чтобы в его структуру входил градиент скорости.

Применяя выдвинутые постулаты к выражению (1), можно получить структуру комплексного показателя ЭН городского ТП в модифицированном виде, что позволяет существенно повысить его информативную нагрузку

$$P_{ЭН} = k \cdot \frac{1}{V} \cdot \sigma_a = k \cdot G_v, \text{ (м}\cdot\text{с)}^{-1}, \quad (2)$$

где σ_a – шум ускорения (внутренняя энергия потока), м/с^2 ; $G_v = \frac{\sigma_a}{V}$ – градиент скорости, с^{-1} .

Полученное выражение (2) говорит о том, что в структуру комплексного показателя ЭН входит градиент скорости, следовательно, гипотеза, выдвинутая выше, подтверждается.

Полученная структура комплексного показателя ЭН в виде выражения (2) позволяет однозначно идентифицировать характер его взаимосвязи с пространственно-временной емкостью ТП.

Процесс движения городских ТП моделируется с использованием различных макромоделей. В данных исследованиях реальные условия движения наиболее точно описываются при помощи экспоненциальной модели с коэффициентом $n=-1$. Для макромоделей с коэффициентом $n=-1$ взаимосвязь между пространственно-временной емкостью ТП и комплексным показателем ЭН имеет характерный вид, представленный на рис. 2.

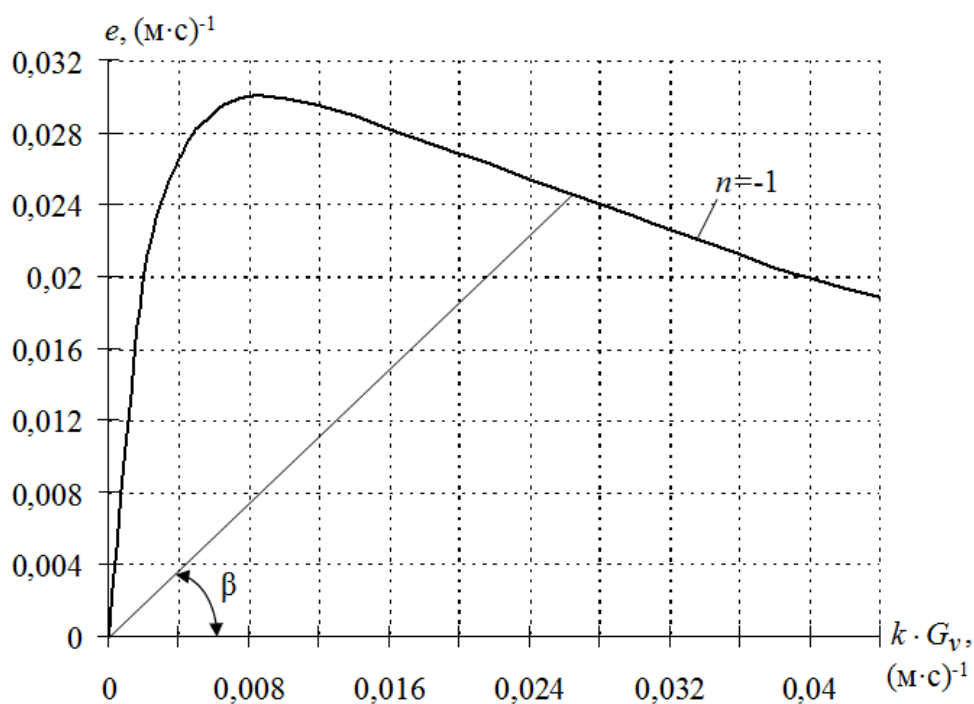


Рис. 2. Взаимосвязь пространственно-временной емкости ТП и показателя экологической нагрузки

Анализ представленной на рис. 2 зависимости свидетельствует о том, что до максимальной интенсивности движения исследуемая взаимосвязь практически линейная. Также линейный характер взаимосвязи наблюдается и после максимальной пространственно-временной емкости ТП. Тангенс угла наклона β радиус-вектора выбранной точки на графике определяет соотношение пространственно-временной емкости ТП и комплексного показателя ЭН. Используя данное соотношение, можно получить следующие результаты

$$\text{tg } \beta = \frac{e}{P_{ЭН}} = \frac{q \cdot k}{k \cdot G_v} = \frac{q}{G_v}, \quad (3)$$

где q – интенсивность движения, c^{-1} .

Учитывая, что $G_v = \frac{\sigma_a}{V}$, можно провести следующее преобразование в соотношении (3)

$$\frac{e}{P_{эн}} = \frac{q \cdot V}{\sigma_a}. \quad (4)$$

Если применить энергетический подход к описанию ТП совместно с основным уравнением транспортного потока $q = k \cdot V$, можно отметить, что в числителе отношения (4) стоит кинетическая энергия транспортного потока $E_k = q \cdot V$, а в знаменателе – ее потери в виде внутренней энергии $I = \sigma_a$. В этом случае тангенс β на графике рис. 2 можно определяется следующим фундаментальным соотношением

$$tg \beta = \frac{e}{P_{эн}} = \frac{q \cdot V}{\sigma_a} = \frac{E_k}{\sigma_a}. \quad (5)$$

В этом случае напрашивается вывод, тангенс угла β характеризует соотношение полезной (кинетической) энергии транспортного потока к его нежелательной (внутренней) энергии. Это формирует требование к состоянию дорожного движения с экологической точки зрения: чем больше $tg \beta$, тем ниже уровень экологической нагрузки ТП. И наоборот, чем выше значение $tg \beta$, тем более стабильные режимы движения ТП наблюдаются на УДС города и тем меньше потерь полезной кинетической энергии.

В большинстве случаев при практических исследованиях поведения городских ТП более наглядную и информативную картину обеспечивает зависимость не абсолютных значений рассматриваемых параметров, а соотношение их нормированных величин. Как следствие, для случая пространственно-временной емкости ТП и комплексного показателя ЭН необходимо перейти от абсолютных к их нормированным величинам.

Нормирование пространственно-временной емкости ТП и комплексного показателя ЭН возможно при известных максимальных значениях указанных параметров. Для их поиска были проведены обширные экспериментальные исследования на УДС города Кемерово, при которых регистрировались параметры движения ТП с широким диапазоном изменения состава, интенсивности и скорости движения. Также исследования проводились на участках УДС с различными геометрическими характеристиками и уровнем загрузки. В результате обработки полученного массива данных появилась возможность выявить взаимосвязь нормированных пространственно-временной емкости ТП и показателя экологической нагрузки, которая имеет вид, представленный на рис. 3

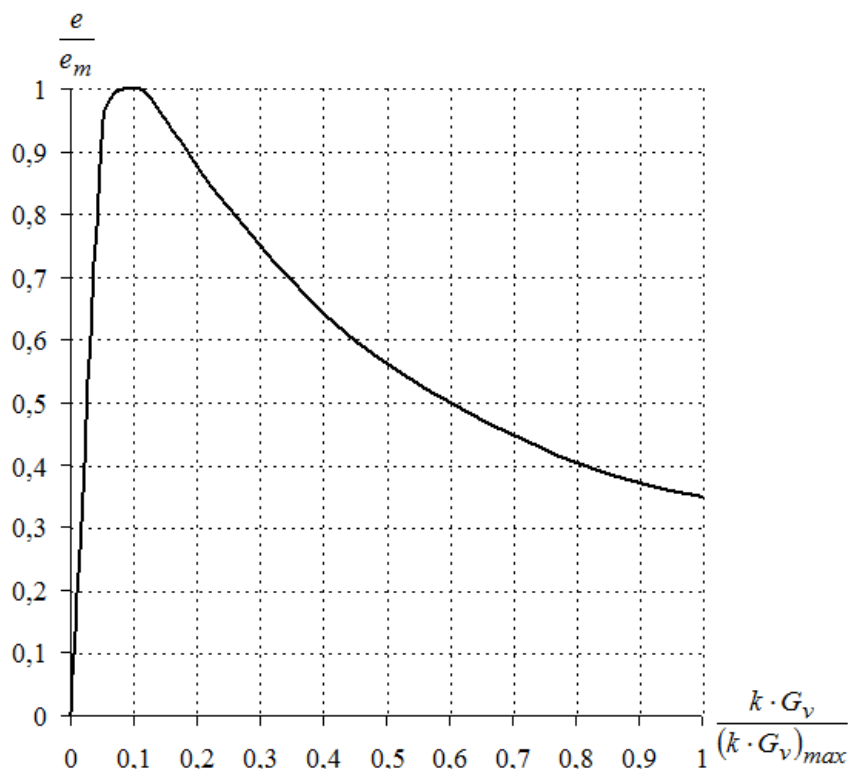


Рис. 3. Соотношение между нормированными величинами пространственно-временной емкости ТП и комплексным показателем ЭН

Таким образом, проведенные исследования доказали наличие тесной взаимосвязи между критериями сложности условий движения и различными показателями экологической нагрузки городских ТП. Это позволяет существенно повысить оперативность исследований экологических характеристик передвижных источников воздействия на ОС в городах, а также аргументировать предельно допустимые значения критериев сложности условий движения с экологической точки зрения.

Список литературы

1. Трофименко, Ю. В. Метод оценки экологической безопасности участников дорожного движения [Текст] / Ю. В. Трофименко, В.С. Ворожнин // Транспорт Урала. – 2015. – № 1. – С. 73-78.
2. Косолапов А.В. О необходимости учёта пространственно-временных параметров транспортных потоков [Текст] / А.В. Косолапов, С.А. Асанов // Приоритетные направления развития науки, техники и технологий : Сб. трудов международной научно-практической конференции, Кемерово, 29 февраля 2016 г. – Кемерово: Издательство ООО «Западно-Сибирский научный центр», 2016. – С. 307-315.
3. Трофименко, Ю. В. Интегральная оценка безопасности транспортных потоков на улично-дорожной сети [Текст] / Ю.В. Трофименко, В.Л. Жданов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. – № 7. – С. 46–51.