УДК 656.13

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Жданов В.Л. – к.т.н., доцент,
Ткаченко А.Я. – студент группы МАм-231,
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
Россия, г. Кемерово

В условиях современного урбанистического развития и интенсивного роста парка транспортных средств наблюдается усложнение транспортных режимов, что приводит к увеличению задержек на перекрестках, росту уровня токсичности выбросов и повышению шумового загрязнения. Ограниченные возможности инженерных и технических решений для оптимизации транспортных потоков подчеркивают важность мероприятий по совершенствованию организации дорожного движения (ОДД) [1, 2].

Транспортные потоки, как доминирующий источник негативного воздействия на окружающую среду (ОС) в селитебных зонах городов, требуют особого внимания с точки зрения экологической безопасности. В связи с этим актуальной задачей становится разработка критериев оценки уровня ОДД, учитывающих допустимую экологическую нагрузку от транспортных потоков [2, 3, 4, 5].

Основные требования к таким критериям включают достоверность определения уровня экологической нагрузки и адекватность реагирования на его изменения. Это предполагает необходимость комплексного подхода, включающего анализ транспортных потоков, оценку их воздействия на ОС и разработку адаптивных мер для минимизации негативных последствий.

Таким образом, формирование критериев оценки уровня ОДД с учетом экологической нагрузки от транспортных потоков представляет собой стратегически важное направление, требующее междисциплинарного подхода и взаимодействия специалистов различных областей.

Анализ существующих методологических подходов к оценке экологической нагрузки, обусловленной транспортной инфраструктурой (ТИ), свидетельствует о наличии значительного количества критериев и методик их применения [5]. Общей чертой большинства из них является использование параметров интенсивности и скорости движения для моделирования и количественной оценки воздействия транспортной системы на ОС. Однако многочисленные исследования указывают на ограниченную применимость полученных результатов за пределами условий, в которых проводились первоначальные измерения. Экстраполяция данных на иные условия часто приводит к значительным отклонениям, что ставит под сомнение достоверность и репрезентативность полученных оценок.

На основании вышеизложенного можно выдвинуть гипотезу о неполной адекватности текущих параметров транспортной системы для всестороннего описания процесса воздействия на ОС. Это требует дальнейшего поиска объективных критериев оценки экологической нагрузки, способных обеспечить более точное и универсальное моделирование.

В качестве вспомогательного инструмента для определения перспективных направлений исследований предлагается использовать теорию размерности, которая является фундаментальным методологическим подходом в области математического моделирования. Основной постулат данной теории заключается в необходимости соответствия размерностей всех входящих в модель параметров, что является необходимым, но не достаточным условием для корректного теоретического описания любого процесса.

В контексте оценки экологической нагрузки от транспортной системы, ключевым параметром является концентрация вредного вещества в атмосферном воздухе (С), выраженная в размерности г/м³. Данный параметр прямо пропорционален пробеговому выбросу вредных веществ (w, г/м) и обратно пропорционален скорости ветра (f, м/с). Таким образом, для создания адекватной модели оценки экологической нагрузки необходимо определить параметр X, который, учитывая значения w и q, позволит корректно рассчитать концентрацию вредного вещества С.

Реализация данного подхода требует комплексного анализа и систематизации существующих данных, а также проведения дополнительных экспериментальных исследований для верификации полученных теоретических моделей. Только таким образом можно достичь создания более точных и универсальных методов оценки экологической нагрузки, обусловленной транспортной деятельностью, что будет способствовать разработке эффективных стратегий по снижению негативного воздействия на ОС. Теория размерности дает следующие результаты

$$\left[\frac{\text{г}}{\text{м}}\right] \cdot \left[\frac{\text{с}}{\text{м}}\right] \cdot [\text{X}] = \left[\frac{\text{г}}{\text{м}^3}\right], \text{ откуда} \quad (1)$$

$$[\text{X}] = \left[\frac{\text{г}}{\text{м}^3}\right] \cdot \left[\frac{\text{м}^2}{\text{г}\cdot\text{с}}\right] = \left[\frac{1}{\text{м}\cdot\text{с}}\right]. \quad (2)$$

Проведенная аналитическая работа позволяет получить принципиальное выражение по расчету уровня негативного воздействия на атмосферу городских транспортных потоков в виде

$$C = \frac{w_{\text{ср}} \cdot q \cdot k}{f}, \text{ г/м}^3, \quad (3)$$

где $w_{\text{ср}}$ - средний пробеговый выброс вредного вещества, г/м; q - интенсивность движения, авт/с; k - плотность потока, авт/м.

Полученное выражение (3) свидетельствует о том, что уровень негативного воздействия на атмосферу от транспортных потоков (ТП) прямо пропорционален произведению интенсивности и плотности движения, а не просто интенсивности, как предполагалось ранее. Данное произведение можно

рассматривать как самостоятельный параметр дорожного движения и назвать пространственно-временной емкостью ТП (далее – емкость ТП):

$$e = q \cdot k, \text{ (м·с)}^{-1}. \quad (4)$$

Полученная структура емкости ТП позволяет прогнозировать степень негативного воздействия ТП на окружающую среду и оперативно оценивать её изменение. Размерность емкости ТП полностью согласуется с выводами, сделанными на базе теории размерности.

В результате детального анализа структуры емкости ТП с целью обоснования её применения в качестве объективного критерия для достоверной оценки негативного воздействия на ОС, были сделаны следующие выводы. Экологическая нагрузка от транспортного средства в общем случае прямо пропорциональна количеству автомобилей на единицу пути, продолжительности прохождения единицы пути и степени неравномерности (ТП). Согласно энергетическому подходу к анализу ТП, неравномерность движения характеризуется непроизводительными энергетическими потерями, которые представляют собой внутреннюю энергию ТП.

Описанная выше гипотеза позволяет сформировать показатель экологической нагрузки ($Р_{ЭН}$) посредством следующего выражения:

$$Р_{ЭН} = k \cdot \frac{1}{v} \cdot \sigma_a = k \cdot G_v, \text{ (м·с)}^{-1}, \quad (5)$$

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

Показатель экологической нагрузки ($Р_{ЭН}$) имеет идентичную размерность с емкостью ТП и соотношение между ними приводит к следующим результатам:

$$\frac{e}{P_{ЭН}} = \frac{q \cdot k}{k \cdot G_v} = \frac{q \cdot v}{\sigma_a}, \quad (6)$$

Энергетическая теория ТП свидетельствует о том, что в числителе соотношения (6) стоит кинетическая энергия ТП $E_k = q \cdot v$, а в знаменателе – его внутренняя энергия.

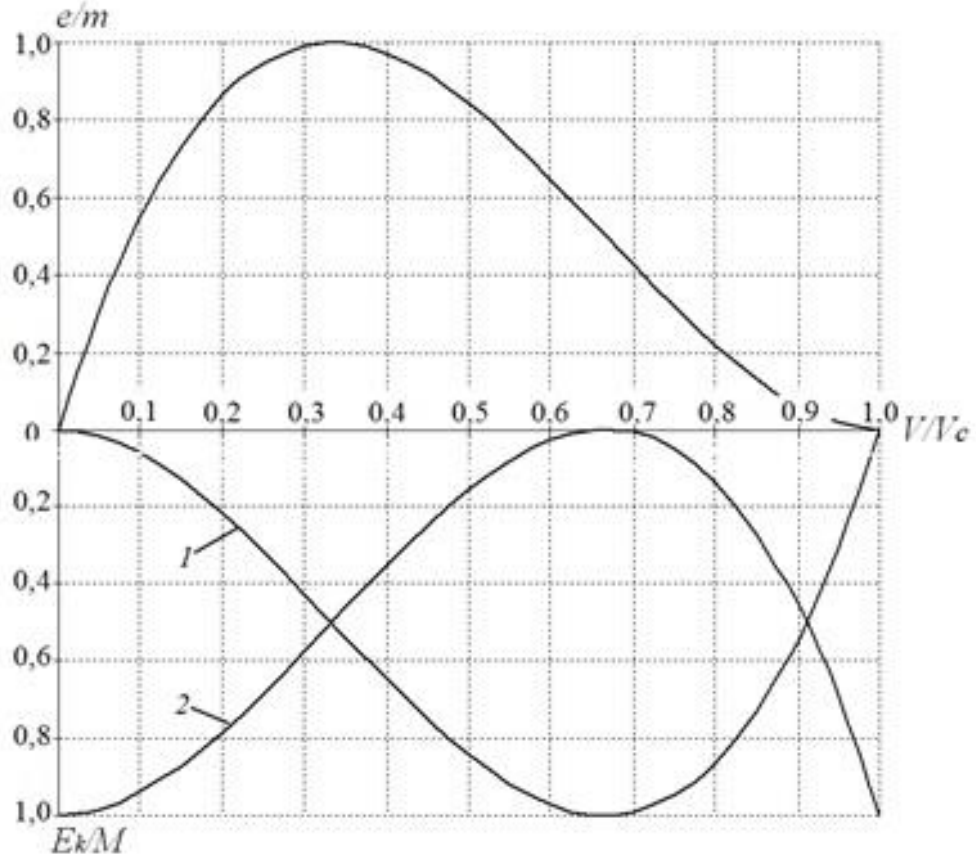
Соотношение между емкостью ТП, его кинетической и внутренней энергиями представлено на рис. 1. В свою очередь, взаимосвязь между емкостью ТП и показателем его экологической нагрузки представляет собой соотношение полезной энергии к нежелательной, то есть кинетической энергии ТП к его внутренней энергии. Следовательно, емкость ТП с учетом выражения (6) может быть представлено в виде:

$$e = \frac{E_k}{\sigma_a} \cdot P_{ЭН}, \text{ (м·с)}^{-1}. \quad (7)$$

Согласно закону сохранения энергии применительно к ТП чем меньше внутренняя энергия ТП, тем больше его кинетическая энергия. В данном контексте рост кинетической энергии ТП будет свидетельствовать о снижении потерь движения вследствие внутреннего трения в ТП. Тогда отношение $\frac{E_k}{\sigma_a}$

может рассматриваться в качестве коэффициента полезного действия транспортной системы, при помощи которого можно судить о совершенстве ОДД, поскольку чем лучше организовано движение, тем меньше энергетических потерь в ТП, тем, соответственно, больше его кинетическая энергия.

Таким образом, емкость ТП представляет собой ключевой показатель, который позволяет достоверно оценить уровень экологического воздействия на окружающую среду. Данный критерий демонстрирует высокую чувствительность к изменениям в экологической нагрузке, что делает его незаменимым инструментом для мониторинга и оценки эффективности мероприятий по оптимизации транспортной инфраструктуры и повышению качества ОДД. В условиях растущих требований к экологической устойчивости и устойчивого развития, применение данного показателя становится особенно актуальным для разработки и реализации стратегий, направленных на минимизацию негативного воздействия транспорта на экосистемы и улучшение экологической обстановки в городах [3].



1 - график нормированной кинетической энергии;
2 - график нормированной внутренней энергии

Рисунок 1 – Взаимосвязь между энергией и емкостью ТП

Направлением дальнейших исследований в этой области выступает анализ зависимости величины емкости ТП с другими аспектами воздействия транспорта на окружающую среду (шум, вибрация и т.д.).

В заключение можно отметить, что предложенный параметр оценки воздействия ТП на ОС дает принципиальную основу для обоснования допустимых по уровню негативного воздействия городских транспортных систем на ОС при проектировании мероприятий по оптимизации режимов движения транспортных потоков.

Список литературы:

1. Ильичева, Л.Н. Современные подходы к снижению негативного влияния автотранспорта на экосистемы / Л.Н. Ильичева, Р.А. Борисова. – Воронеж: ВГУИТ, 2022. – 256 с. – Текст: непосредственный.

2. Горелов, Д.С. Воздействие транспортных потоков на качество атмосферного воздуха городских территорий. – Текст: непосредственный // Экологический вестник России. – 2023. – № 3. – С. 45-58.

3. Герасименко, В.П. Транспорт и город. Вопросы устойчивого развития / В.П. Герасименко. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2021. – 180 с.

4. Дворецкая, Я.Э. Социально-экологические последствия роста автопарка в мегаполисах. – Текст: непосредственный // Социальная экология. – 2023. – № 1. – С. 23-34.

5. Чернякова, О.А. Моделирование экологической нагрузки автомобильных дорог в условиях городской застройки / О.А. Чернякова, В.Е. Барсуков. – Текст: непосредственный // Сборник научных трудов конференции «Транспорт и окружающая среда», г. Уфа. – Уфа, 2023. – С. 147-156.