

УДК 656. 13. 08

В. Л. Жданов

## АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОГО ПРИЗНАКА ЕМКОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА КАК КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЕГО ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ

Ведущая роль автомобильного транспорта (АТ) в развитии экономики государства сопровождается высокими темпами усложнения инфраструктуры дорожно-транспортной системы, прежде всего, в городских условиях. Сюда можно отнести интенсивный рост автомобильного парка городов на достаточно ограниченной территории, который ведет к увеличению диспропорции с развитием улично-дорожной сети (УДС). Обозначенная диспропорция объясняется множеством объективных причин, среди которых центральное место занимает конфигурация придорожной застройки, резко ограничивающая возможность развития городских путей сообщения.

В этих условиях актуальна проблема комплексного повышения эффективности функционирования городской дорожно-транспортной системы. При этом особое значение приобретает тот факт, что различные стороны эффективности должны быть рассмотрены в неразрывной взаимосвязи друг с другом (как воздействие на одну сторону эффективности может оказаться на изменении другой). К названным сторонам можно отнести высокую производительность и низкую себестоимость транспортного процесса, высокую скорость сообщения отдельных транспортных корреспонденций. Кроме того, в рамках системного подхода понятие эффективности транспортного процесса неразрывно связано с обеспечением требуемого уровня безопасности. В современных условиях очевиден рост проблемы повышения числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и погибших в них людей, а также уровня экологической нагрузки на окружающую среду. Как следствие, назрела необходимость рассматривать понятие интегральной (техногенной) опасности транспортных потоков (ТП) на городской УДС, заключающееся в неразрывной связи экологических аспектов транспортного процесса с аспектами дорожной аварийности. Таким образом, для комплексного повышения эффективности дорожно-транспортной системы требуется обеспечить низкий уровень интегральной опасности городских ТП.

Основой для разработки мероприятий по повышению эффективности является объективная оценка существующего состояния дорожно-транспортной системы в исследуемом городе. Следовательно, актуальна проблема обоснованного использования критериев, обеспечивающих высокий уровень достоверности подобной оценки.

Как известно, недостатка в критериях оценки

отдельных аспектов интегральной опасности городских ТП в настоящее время нет [1, 2]. Однако количественная оценка интегральной опасности ТП на городской УДС, предусматривающая одновременный учет обозначенных аспектов транспортного процесса, до настоящего времени не проводилась. Поэтому в рассматриваемом контексте первостепенной задачей является обоснование критерия достоверной оценки уровня интегральной опасности городских ТП, отвечающего всем предъявляемым требованиям.

Проведенные автором в работе [3] исследования в области интегральной опасности городских транспортных источников показали, что ее уровень прямо пропорционален произведению интенсивности и плотности ТП. Это позволяет рассматривать произведение интенсивности и плотности как самостоятельный параметр состояния ТП. Поскольку в структуру этого произведения входят как пространственная (плотность), так и временная (интенсивность) характеристики, соответственно, данный параметр определен как «пространственно-временная емкость ТП»:

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

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

$q$  – интенсивность движения,  $\text{с}^{-1}$ ;

$k$  – плотность ТП,  $\text{м}^{-1}$ .

Наличие тесной взаимосвязи между уровнем интегральной опасности ТП и его емкостью является основанием для использования емкости в качестве оценочного критерия степени негативного воздействия ТП на социальную и окружающую природную среду города. В связи с этим следует проанализировать наглядность информативного признака емкости ТП как критерия оценки уровня его интегральной опасности, что является одним из важнейших требований к подобным критериям.

Обобщая положения разработанной концепции транспортного риска [3], можно прийти к следующим выводам. Уровень интегральной опасности городского транспортного макроисточника в общем случае прямо пропорционален количеству микроисточников на единицу пути и времени прохождения микроисточниками единицы пути. Кроме того, уровень интегральной опасности определяется качеством условий движения, которое выражается через стабильность ездовых циклов ТП в исследуемой дорожно-транспортной системе. Количество микроисточников на единицу пути характеризуется плотностью ТП ( $k$ ), время прохождения микроисточником единицы пути оценивает-

ся темпом движения ( $t_d$ ) [4]. Что касается стабильности режимов движения, то она определяется величиной и частотой ускорений (замедлений), то есть степенью неравномерности движения в данной дорожно-транспортной системе [4, 5]. Опираясь на энергетический подход к ТП, полагают, что степень неравномерности движения обусловливается непроизводительными потерями энергии ТП (другими словами, внутренней энергией ТП) [4-6]. В этом случае общий показатель интегральной опасности транспортного источника можно определить следующим образом

$$P_{op} = k \cdot t_d \cdot I, \text{ (м·с)}^{-1}, \quad (2)$$

где  $P_{op}$  – показатель интегральной опасности ТП на городской УДС,  $(\text{м}\cdot\text{с})^{-1}$ ;

$I$  – внутренняя энергия ТП,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Можно заметить, что показатель интегральной опасности, как и емкость ТП, определяется как пространственной (плотность потока), так и временной (темпер движения) характеристиками дорожно-транспортной системы. В то же время показатель интегральной опасности, выраженный в виде формулы (2), несет в себе слабую информативную нагрузку, вследствие чего выявить его физическую природу и оцениваемые им признаки весьма затруднительно. Поэтому для повышения наглядности структуры показателя интегральной опасности требуется преобразование формулы (2).

Прежде всего, темп движения не является основным параметром состояния ТП, не совсем удобен при практическом использовании, в результате чего он обычно выступает как зависимая величина и выражается через скорость  $V$  посредством простого соотношения  $t_d = 1/V$  [4]. Внутренняя энергия ТП, согласно энергетическому подходу, выражается через так называемые потери движения вследствие воздействия факторов различной природы (неудовлетворительные геометрические характеристики путей сообщения, наличие

средств организации дорожного движения, неблагоприятные взаимодействия между автомобилями и т. п.) и количественно может оцениваться величинами и частотой ускорений (положительными и отрицательными). За параметр оценки внутренней энергии принимают среднеквадратическое отклонение ускорения, которое носит название шума ускорения [4-6]. Однако не стоит забывать, что в данных исследованиях рассматриваются городские ТП. В таких условиях в общей структуре ездового цикла достаточно большую долю составляют задержки движения. А поскольку шум ускорения неадекватно реагирует на изменение величины задержек движения (с увеличением задержек шум ускорения уменьшается), то в городских условиях шум ускорения недостоверно оценивает уровень качества движения [4, 5]. Такие свойства шума ускорения иллюстрируют данные графика, представленного на рис. 1 [6].

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, 4-6]. Поэтому для использования показателя интегральной опасности в городских условиях движения желательно, чтобы в его структуру входил градиент скорости.

Обобщая выдвинутые предположения, формулу (2) для определения показателя интегральной опасности можно представить в несколько ином виде, а именно

$$P_{op} = k \cdot \frac{1}{V} \cdot \sigma_a = k \cdot G_v, \text{ (м·с)}^{-1}, \quad (3)$$

где  $\sigma_a$  – шум ускорения (внутренняя энергия потока),  $\text{м}/\text{с}^2$ ;

$G_v = \sigma_a / V$  – градиент скорости,  $\text{с}^{-1}$ .

Видно, что в структуру показателя интеграль-

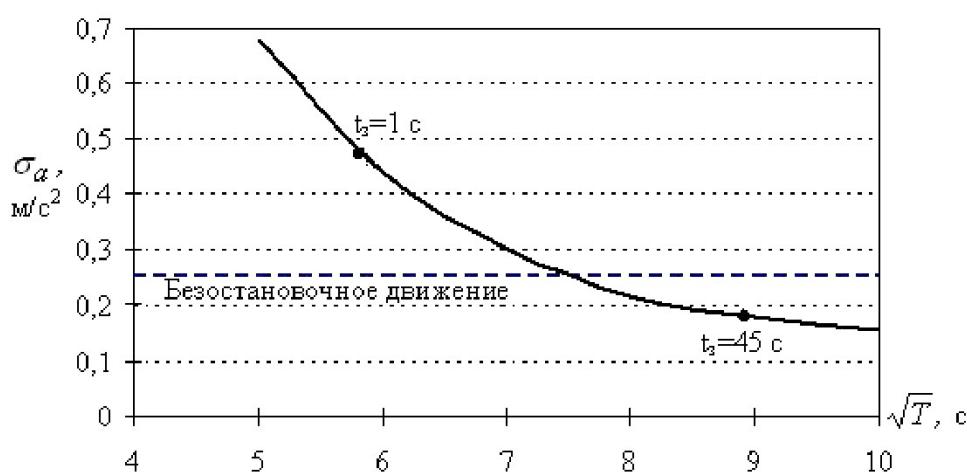


Рис. Изменение шума ускорения с увеличением времени проезда участка дороги за счетостоя на перекрестке (время задержки изменяется от 1 до 45 с, длина перегона 360 м)

ной опасности входит градиент скорости, следовательно, выводы, сделанные выше, подтверждаются.

Исходя из подхода к определению структуры показателя  $P_{op}$ , напрашивается гипотеза о том, что он оценивает тот же признак, что и емкость ТП, а именно – степень негативного воздействия транспортных источников на социальную и окружающую природную среду города. Дополнительным подтверждением этого выступает тот факт, что размерность показателя интегральной опасности совпадает с размерностью емкости ТП, определяемой по формуле (1). Используя соотношение между емкостью ТП и показателем интегральной опасности, получают следующие результаты

$$\frac{e}{P_{op}} = \frac{q \cdot k}{k \cdot G_v} = \frac{q}{G_v}. \quad (4)$$

Учитывая структуру градиента скорости, можно провести следующее уточнение в соотношении (4)

$$\frac{e}{P_{op}} = \frac{q \cdot V}{\sigma_a}. \quad (5)$$

Применяя энергетический подход [1, 3, 6] совместно с основным уравнением ТП  $q=k \cdot V$  [3, 4], можно заметить, что в числителе отношения (5) стоит кинетическая энергия ТП  $E_k=q \cdot V$ , а в знаменателе – внутренняя энергия  $I=\sigma_a$  (размерности обеих  $\text{м} \cdot \text{с}^2$ ). Иными словами, соотношение между емкостью ТП и показателем интегральной опасности представляет собой отношение полезной (кинетической) энергии ТП к его нежелательной (внутренней) энергии. В таком случае, для емкости ТП можно записать

$$e = \frac{E_k}{\sigma_a} \cdot P_{op} = \frac{E_k}{\sigma_a} \cdot k \cdot G_v, (\text{м} \cdot \text{с})^{-1}. \quad (6)$$

Полученная структура емкости ТП (6) наглядно характеризует ее информативный признак при использовании данного параметра в качестве критерия оценки уровня интегральной транспортной опасности, так как позволяет сделать следующие выводы.

Очевидно, что для городских транспортных источников отношение  $E_k / \sigma_a$  характеризует совершенство организации дорожного движения (ОДД), так как чем лучше организовано движение, тем меньше потерь в количестве движения и тем меньшую величину имеют силы трения в ТП, которые превращают желательные формы энергии (движение транспорта) в менее полезные (взаимодействие между автомобилями). Как следствие, чем выше уровень ОДД, тем меньше внутренняя и больше кинетическая энергия ТП, что найдет свое отражение в соответствующем изменении величины отношения  $E_k / \sigma_a$ . Также емкость ТП учитывает влияние числа макроисточников на участке городской магистрали на общий уровень инте-

гральной опасности исследуемого транспортного макроисточника (через плотность потока  $k$ ).

Из предыдущих исследований известно, что любой режим движения можно оценить при помощи совокупности пяти параметров, а именно [7]:

- уровень установившейся скорости;
- величина среднего ускорения;
- величина среднего замедления;
- отношение времени холостого хода к времени движения;
- отношение времени движения с установившейся скоростью к общему времени движения.

Тогда, в данном аспекте можно проанализировать структуру формулы градиента скорости, используемую в практических целях, которая имеет вид [7]

$$G_v = \frac{C_t}{V_{\partial\delta}} \cdot (1 + \alpha_{xx}) \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{\ln \alpha_n}}, \text{ с}^{-1}, \quad (7)$$

где

$$C_t = \frac{\sum_{j=1}^J n_j \cdot |\Delta V|}{T_{\partial\delta}}$$

– абсолютное изменение скорости в единицу времени на рассматриваемом участке УДС,  $\text{м} / \text{с}^2$ ;

$\Delta V$  – эталонная величина изменения скорости при анализе графика режима движения на рассматриваемом участке УДС,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$n_j$  – количество изменений скорости на величину  $\Delta V$  в  $j$ -м интервале времени  $\Delta t$ ;

$T_{\partial\delta}$  – общее время движения на участке УДС, с;

$V_{\partial\delta}$  – средняя скорость движения на участке,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$A_{xx} = T_{xx} / T_{\partial\delta}$  – коэффициент холостого хода;

$T_{xx}$  – общее время холостого хода на участке, с;

$\alpha_n = T_n / T_{\partial\delta}$  – коэффициент движения с установленной скоростью;

$T_n$  – общее время движения с установленной скоростью, с.

Как видно, структура градиента скорости содержит в себе все названные параметры режима движения (или их аналоги). Их совокупность практически полностью определяет влияние стабильности режима движения (то есть степени неравномерности движения и величины задержек) на уровень интегральной опасности. Поскольку градиент скорости входит в структуру емкости ТП (6), то и на последнюю также распространяются выявленные здесь зависимости. Вследствие этого емкость ТП способна оценивать уровень интегральной опасности городского транспортного макроисточника и с учетом качества его режима движения (через стабильность), и с учетом време-

ни нахождения составляющих его микроисточников на исследуемом участке дороги. Это время складывается из времени движения и времени холостого хода, которые, в свою очередь, входят в параметры оценки любого ездового цикла ТП на УДС города.

Таким образом, среди всех возможных параметров емкость ТП является наиболее информативным критерием, так как достоверно оценивает уровень интегральной опасности городских ТП с учетом всех важнейших характеристик (кинетической и внутренней энергий макроисточника в целом, количества и стабильности режимов движения отдельных микроисточников). Как следствие, емкость ТП должна адекватно реагировать на флуктуации уровня интегральной опасности в результате изменения состояния транспортного источника под действием различных факторов (благоприятных и неблагоприятных).

Это дает возможность использовать емкость ТП в качестве критерия оценки уровня ОДД с точки зрения допустимости отрицательного влияния на социальную и окружающую природную среду города. И, что особенно важно, в этом случае емкость ТП может оценить эффективность практических мероприятий по улучшению условий движения путем совершенствования ОДД городских транспортных источников с целью минимизации их негативного воздействия на социальную и окружающую природную среду города. Следовательно, можно констатировать, что выявленные особенности выступают доказательством правомерности использования емкости ТП в качестве комплексного критерия достоверной оценки уровня интегральной опасности городских транспортных макроисточников.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадалян А. М. Оценка уровня безопасности движения на двухполосных дорогах методом имитационного моделирования: Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. – М.: МАДИ (ГТУ), 2005. 321 с.
2. Сарбаев В. И. Теоретические основы обеспечения экологической безопасности автомобильного транспорта. – М.: Изд-во МГИУ, 2003. – 144 с.
3. Жданов В. Л. Основные тезисы энергоэнтропийного подхода при формировании концепции транспортного риска // Современные пути развития машиностроения и автотранспорта Кузбасса: труды I Всероссийской научно-технической конференции. – Кемерово: Кузбасский гос. техн. ун-т. 2007. С. 385–395.
4. Коноплянко В. И., Гуджоян О. П., Зырянов В. В., Косолапов А. В. Организация и безопасность дорожного движения. – Кемерово: Кузбассвязиздат, 1998. – 236 с.
5. Дьяков А. Б. Экологическая безопасность транспортных потоков. – М.: Транспорт, 1989. – 128 с.
6. Зырянов В. В. Критерии оценки условий движения и модели транспортных потоков. – Кемерово: Кузбасский политехнический институт, 1993. – 164 с.
7. Жданов Л. С. Снижение влияния транспортных потоков на загрязнение атмосферы в городах: Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук.– М: МАДИ, 1984. 158 с.

□ Автор статьи:

Жданов

Вячеслав Леонидович

- ст. преп. каф. автомобильных  
перевозок КузГТУ,  
email: slava.jr@rambler.ru