

УДК 656.13.08+656.11

Жданов Вячеслав Леонидович, доцент, к.т.н.
(КузГТУ, г. Кемерово)
Vyacheslav L. Zhdanov, PhD in Engineering, Associate Professor
(KuzSTU, Kemerovo)

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ РИСКОВЫХ СИТУАЦИЙ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

RISK EMERGENCE AND DEVELOPMENT IN URBAN TRAFFIC FLOWS

В настоящее время безопасность транспортного процесса определяется, прежде всего, уровнем аварийности на рассматриваемой улично-дорожной сети (УДС). Для РФ проблема снижения аварийности становится всё более и более актуальной. Однако если рассматривать дорожно-транспортную систему (ДТС) с позиций системного подхода, то её эффективность определяется всеми аспектами транспортного процесса, включая и негативные составляющие. Следовательно, кроме отмеченной проблемы аварийности, следует учитывать и степень негативного воздействия транспортных потоков (ТП) на окружающую среду (ОС), т.к. в общей экологической нагрузке (ЭН) города постоянно увеличивается её доля от ТП и при этом невозможна их изоляция от селитебных районов.

В связи с этим назрела необходимость рассматривать понятие опасности ТП в более широких рамках, заключающихся в неразрывной связи всех негативных аспектов транспортного процесса. Для её обозначения можно использовать термин «техногенная опасность ТП» на УДС города.

В обозначенном контексте первостепенное значение приобретает задача формирования функции количественной меры техногенной опасности городских ТП и их негативного воздействия на природную и социальную среду города. Транспортные потоки на УДС города можно рассматривать в качестве неотъемлемой части его техносферы. Как следствие, представляет значительный научный интерес сформированная к настоящему времени общая теория техногенного риска при обеспечении безопасности в техносфере.

При формировании общей теории техногенного риска под риском подразумевают интегральную меру опасности, характеризующую и возможность причинения ущерба, и его ожидаемую величину [3]. В связи с такой постановкой выделяют достаточно большое количество классификационных признаков, по которым дифференцируют техногенные риски в зависимости от характера их проявления. Для городских ДТС при формировании функции количественной меры их опасности особое значение

приобретают временной признак проявления рискованных ситуаций, приводящих к негативным последствиям, и причины их возникновения [3].

Исходя из вышесказанного, первым постулатом разрабатываемой концепции техногенного риска ТП должно стать их формализация в качестве транспортных человеко-машинных систем управления (ЧМСУ). В этой связи представляет значительный научный интерес задача описания транспортного потока в качестве двухуровневой ЧМСУ. Микроуровень подобной системы формируется при функционировании единичной системы «Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда» (ВАДС), где ключевым элементом выступает водитель, определяющий режим движения своего автомобиля с учётом влияния всех внешних и внутренних факторов. Как следствие, именно водитель выступает как ключевой оператор управления на микроуровне. Характер взаимодействия единичных систем ВАДС в рамках городской ДТС формирует определённые параметры функционирования ТП, в том числе и уровень проявления его потенциальных рискованных ситуаций. В результате происходит переход на макроуровень рассмотрения ТП в качестве ЧМСУ. В этом случае все ограничения, накладываемые комплексом мер по организации дорожного движения, выступают в качестве управляющих воздействий, определяющих текущее состояние ТП на городской УДС.

Для эффективности любой ЧМСУ высокое значение имеет обеспечение требуемого уровня надёжности, осуществляемое в рамках менеджмента. Под менеджментом риска подразумевают прогнозирование его величины в различных условиях, а также реализация управляющих воздействий в целях поддержания заданной безопасности функционирования транспортных ЧМСУ. В результате применения системного подхода к проблеме менеджмента риска ЧМСУ к настоящему времени сформировалось несколько самостоятельных направлений, среди которых можно выделить [1, 3]:

- стратегию нормальных аварий;
- стратегию реагирования на изменения свойств системы;
- стратегию гарантированной надёжности ЧМСУ;
- стратегию с идеальным мониторингом.

Для ТП как для сложной динамической ЧМСУ наиболее перспективным и информативным является использование энергоэнтропийного метода, который увязывает природу рискованных ситуаций с динамической неуравновешенностью функционирующей ЧМСУ, а их проявление – с существенным приростом энтропии внутри ЧМСУ [1]. Таким образом, использование энергоэнтропийного метода при управлении рисками является вторым постулатом разрабатываемой концепции техногенного риска ТП.

Содержание представленных постулатов формируется принципами, опирающимися на наиболее фундаментальные закономерности функционирования исследуемой ЧМСУ, в данном случае – городских ТП.

Для реализации первого постулата необходимо соблюдение принципа структурной и функциональной последовательности, по которому исследуемую ЧМСУ структурируют на условно самостоятельные элементы, параметры которых определяют состояние процесса функционирования ЧМСУ в любой момент времени [3]. В качестве лиц, принимающих решения, следует рассматривать совокупность водителей транспортных средств, в качестве машинного аспекта – параметры режимов их движения внутри ТП.

Следующим принципом первого постулата должен выступать принцип идентификации признаков наиболее вероятного проявления техногенного риска [1, 3]. Названное проявление осуществляется через рискованные ситуации, под которыми следует понимать события, возникающие по причине нарушения нормального функционирования ТП, являющиеся внешним проявлением различных видов отказов и приводящие к возникновению тех или иных ущербов. Таким образом, именно через рискованные ситуации происходит негативное воздействие ТП на природную и социальную среду города.

Что касается энергоэнтропийного постулата разрабатываемой концепции техногенного риска ТП, то его главными принципами следует считать идентификацию меры возможного эффекта, который можно получить при функционировании городских ТП в идеальных условиях движения (то есть при минимальной энтропии), а также идентификацию характера проявления рискованных ситуаций, возникающих с приростом энтропии в исследуемой ЧМСУ. Поскольку для городских ТП определены наиболее вероятные рискованные ситуации, то с увеличением энтропии проявление техногенного риска ТП может быть:

- скачкообразным, проявляется в форме возникновения большого количества конфликтных и аварийных ситуаций на УДС, что сопровождается ростом ДТП;
- постепенным, проявляется в виде непрерывного увеличения экологической нагрузки на ОС от ТП (выбросы вредных веществ, транспортный шум и т.д.).

Для формирования количественной меры техногенной опасности ТП и критериев оценки её уровня центральное место занимает первый принцип энергоэнтропийного постулата. Для его формализации можно воспользоваться энергетическим подходом к ТП, который получил наибольшее распространение при оценке его надёжности и эффективности [2]. В качестве критерия оптимизации ТП используют количество полезной энергии, получаемой в рамках существующей УДС. Такой энергией выступает энергия движения, а точнее – кинетическая энергия ТП. Таким образом, в рамках энергоэнтропийного постулата кинетическую энергию ТП можно идентифицировать как меру возможного эффекта при функционировании ТП в условиях минимальной энтропии. Рост энтропии внутри ТП будет

сопровождаться адекватным уменьшением его кинетической энергии и падением производительности транспортного процесса.

Кинетическая энергия ТП является энергией движения, её уменьшение обуславливается уменьшением количества движения в результате роста внутреннего трения в ТП. В настоящее время разработана количественная оценка энтропии ТП, применяя принципы газодинамики к процессам, происходящим при движении ТП, с использованием уравнения непрерывности [5]

$$H = -D[\log_2 f((q \cdot k)_{t,x})], \quad (1)$$

где $(q \cdot k)_{t,x}$ – произведение интенсивности q и плотности движения k в произвольный момент времени в какой-либо части ТП; $f((q \cdot k)_{t,x})$ – плотность распределения вероятностей величины $(q \cdot k)_{t,x}$; $D[\log_2 f((q \cdot k)_{t,x})]$ – дисперсия величины $\log_2 f((q \cdot k)_{t,x})$.

Таким образом, произведение интенсивности и плотности может рассматриваться как самостоятельный параметр состояния ТП, объективно оценивающий текущий уровень энтропии ТП. Такая особенность данного произведения в рамках энергоэнтропийного метода является аргументом в пользу его применения как объективного критерия оценки уровня техногенной опасности городских ТП. Поскольку в это произведение входят как пространственная (плотность), так и временная (интенсивность) характеристики, данный параметр может быть определён как «пространственно-временная ёмкость ТП»

$$e = q \cdot k, (\text{м} \cdot \text{с})^{-1}, \quad (2)$$

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

В рамках системного подхода под оценкой риска понимают ряд логических шагов, позволяющих обеспечить систематическим образом рассмотрение всех факторов опасности. В этом случае количественной мерой техногенной опасности ТП на городской УДС может выступать функция **интегрального техногенного риска ТП**, под которым подразумевается интегральная мера опасности, характеризующая вероятность возникновения рисков ситуации, связанной с движением ТП и тяжесть последствий её осуществления (ущерба).

Адаптируя основные положения теории техногенного риска к транспортным задачам, основой интегрального техногенного риска ТП $R_{ТП}$ (выражение (3)) выступают соответствующие функционалы ущербов $U_{ТП}$

и вероятности проявления $P_{ТП}$ выделенных рискованных ситуаций – аварийности и ЭН на ОС (соответственно выражения (4) и (5)).

$$R_{ТП} = F_R \{P_{ТП}, U_{ТП}\} = \sum_i [F_{R_i} (P_{ТП_i}, U_{ТП_i})], \text{ руб.}, \quad (3)$$

где F_R – функционал, связывающий вероятность проявления рискованных ситуаций ТП и математическое ожидание ущерба от них; i – виды рискованных ситуаций при функционировании городских ТП.

$$U_{ТП} = F_U \{U_N, U_S\} = \sum_i [F_{U_i} (U_{N_i}, U_{S_i})], \text{ руб.}, \quad (4)$$

где F_U – функционал ущербов социальным системам города от аварийности U_N и окружающей среде U_S .

$$P_{ТП} = F_P \{P_N, P_S\} = \sum_i [F_{P_i} (P_{N_i}, P_{S_i})], \quad (5)$$

где F_P – функционал связи вероятности возникновения ДТП P_N и недопустимого уровня экологической нагрузки на УДС города P_S .

Поэтапная разработка выражений для параметров P_N , P_S должна базироваться на использовании методов теории вероятностей, а величины ущербов U_N , U_S следует определять на основе современных методик экономической оценки ущербов от дорожной аварийности и ростом уровня ЭН от автомобильного транспорта с учётом множества факторов различной природы (организационные, градостроительные, юридические, социальные, и т.д.) [4].

Последующее выявление характера взаимосвязи интегрального техногенного риска ТП $R_{ТП}$ как количественной меры техногенной транспортной опасности с пространственно-временной ёмкостью ТП e как критерием оценки её уровня дало возможность разработать методику практической оценки опасности ТП на УДС города, которая позволяет обоснованно выявлять объекты УДС с недопустимым уровнем безопасности движения [4]. Кроме того, при проектировании мероприятий по снижению уровня техногенной опасности на объектах УДС разработанная методика даёт основу для использования программно-целевого подхода при определении очередности их внедрения на улично-дорожной сети города.

Последующие проведённые исследования свойств пространственно-временной ёмкости ТП доказали её высокую оперативность, тесную связь с шумом ускорения и градиентом скорости, а также с кинетической энергией ТП [4]. Всё это в совокупности обеспечивает прочную научную основу для объективного мониторинга текущей величины техногенной опасно-

сти ТП на различных объектах городской УДС с их типизацией по допустимой и недопустимой величине транспортного риска.

Таким образом, реализация изложенной концепции транспортного риска может быть полезной при оценке эффективности ДТС города. Как следствие, предложенная количественная мера опасности ТП – уровень интегрального техногенного риска ТП позволяет с единых методических позиций одновременно учитывать влияние дорожной и экологической опасности ТП на эффективность транспортной деятельности и может использоваться в качестве интегрального критерия оптимизации городских транспортных систем.

Список литературы

1. Белов, П. Г. Прогнозирование и регулирование техногенного риска с использованием качественных показателей / П. Г. Белов // Безопасность в техносфере. – 2007. – № 1. – С. 10–17.

2. Кочерга, В. Г. Анализ развития моделей кинетической теории транспортных потоков / В. Г. Кочерга. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный строительный университет, 2000. – 22 с. : ил. – Деп. в ВИНТИ 14.07.2000, № 1940-В2000.

3. Махутов, Н. А. Оценка рисков объектов технического регулирования / Н. А. Махутов // Вопросы разработки технических регламентов: семинар 1, стенографический отчет. – Москва : Минпромэнерго России, 2007. – С. 36–63.

4. Трофименко, Ю. В. Интегральная оценка безопасности транспортных потоков на улично-дорожной сети / Ю.В. Трофименко, В.Л. Жданов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. – № 7. – С. 46–51.

5. Hoffman, R.L. The rate control index for traffic flow / R.L. Hoffman, M.O. Ball // IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. – 2001. – № 2. – P. 55–62.