

## АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13.08+656.11

В. Л. Жданов

### РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ФУНКЦИИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ МЕРЫ ОПАСНОСТИ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

В Федеральном законе «О безопасности дорожного движения» под безопасностью понимается состояние процесса дорожного движения, отражающее степень защищенности его участников от дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и их последствий [1]. При этом для РФ проблема снижения аварийности становится все более и более актуальной. Так, за последние десять лет в РФ в среднем ежегодная смертность в ДТП составляет свыше 31 тыс. чел [2]. Рост основных показателей аварийности с 2001 г. в несколько раз опережает темпы роста количества транспортных средств. ДТП наносят экономике РФ значительный ущерб, составляющий в последние годы 2,2-2,6% валового внутреннего продукта страны [2].

Однако с позиции системного подхода при рассмотрении понятия безопасности следует учитывать все возможные негативные последствия процесса функционирования городской дорожно-транспортной системы (ДТС). Следовательно, кроме отмеченной проблемы аварийности, обязательно следует учитывать и степень негативного воздействия на окружающую среду (ОС). Необходимость постоянного поиска возможностей оптимизации экологических параметров при функционировании ДТС города может быть обоснована существованием двух аспектов. Во-первых, это непрерывно увеличивающаяся в общем уровне экологической нагрузки (ЭН) города доля, приносимая от автомобильного транспорта (АТ). Во-вторых, это невозможность изоляции передвижных источников – в отличие от стационарных – от селитебных районов города. Особую опасность для ОС эти источники создают тем, что выброс вредных веществ осуществляется на очень небольшой высоте (менее 1 м) в приземном слое воздуха на уровне дыхания человека.

**Описание и постановка задачи.** Таким образом, проведенный краткий анализ показал, что в современных условиях назрела необходимость рассматривать понятие безопасности дорожного движения в более широких рамках, когда ее уровень определяется неразрывной связью экологических аспектов транспортного процесса и аспектов аварийности. Наличие такой неразрывной связи позволяет ввести понятие интегральной транспортной опасности при решении проблемы обеспечения безопасности дорожного движения.

Как следствие, наиболее эффективными среди всех внедряемых на улично-дорожной сети (УДС) мероприятий будут являться мероприятия, направленные на комплексное повышение безопасности при функционировании ДТС. Однако экономическое обоснование подобных мероприятий и прогнозирование их эффективности осуществимо только в том случае, когда имеет место возможность количественной оценки общего уровня безопасности движения. В связи с этим достаточно актуально решение задачи по разработке формализованной структуры функции количественной меры интегральной опасности транспортных потоков (ТП) на УДС города.

**Методы решения задачи.** В контексте поставленной задачи для разработки функции количественной меры интегральной транспортной опасности наиболее информативным является использование понятия техногенного риска, под которым подразумевают интегральную меру опасности, характеризующую и возможность причинения ущерба, и его ожидаемую величину [3, 4]. При этом структура разрабатываемой функции должна обеспечить количественную оценку всех признаков проявления техногенного риска, которые могут быть обозначены как рискованные обстоятельства процесса функционирования городских ДТС. Для них рискованными обстоятельствами следует считать главные аспекты интегральной опасности – аварийность и ЭН на ОС.

В РФ принят Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», который на основе национального и международного опыта формирует единую методологическую базу как по оценке, так и по менеджменту рисков различных объектов техносферы [5]. Применительно к решаемой в данных исследованиях задаче основные положения этого закона дают возможность разработать структуру функции количественной меры интегральной опасности городских ТП. Данную функцию можно назвать интегральным транспортным риском, на основе которого в дальнейшем может быть разработана практическая методика определения уровня интегральной транспортной опасности и оценки эффективности мероприятий по его снижению.

В рамках системного подхода под оценкой риска понимают ряд логических шагов, позво-

ляющих обеспечить систематическим образом рассмотрение всех факторов опасности [5, 6]. Адаптируя основные положения теории техногенного риска к транспортным задачам, можно разработать формализованную структуру искомой функции. В этом случае основой функции интегрального транспортного риска  $R_{TF}$  выступает функционал  $F$ , связывающий вероятность  $P_{TF}$  проявления рисков обстоятельств при функционировании ДТС и математическое ожидание ущерба  $U_{TF}$  от этих рисков обстоятельств

$$R_{TF} = F_R \{P_{TF}, U_{TF}\} = \sum_i [F_{R_i}(P_{TF_i}, U_{TF_i})] \quad (1)$$

где  $i$  – виды рисков обстоятельств ДТС.

Для качественного и количественного анализа интегрального транспортного риска по выражению (1) необходимо создание моделей сложных динамических нелинейных моделей процессов проявления рисков обстоятельств.

Поскольку в качестве рисков обстоятельств выступают уровень аварийности и ЭН на ОС, то в рамках локальных социальных систем города общий ущерб  $U_{TF}$  (или его составляющие  $U_{TF_i}$ ) определяется через обобщенный функционал ущербов, наносимых населению локальной социальной системы города  $N$  и окружающей среде  $S$

$$U_{TF} = F_U \{U_N, U_S\} = \sum_i [F_{U_i}(U_{N_i}, U_{S_i})] \quad (2)$$

Ущерб  $U_{TF}$  по (2) и соответственно риски  $P_{TF}$  по (1) определяются в общем случае большим числом показателей. На современном этапе данные величины от рисков обстоятельств можно оценивать по двум показателям: экономическим – в рублях (условных единицах) и человеческих потерях (летальных и нелетальных исходах).

Вероятность  $P_{TF}$  возникновения анализируемого рисков обстоятельства (или ее составляющих  $P_{TF_i}$ ) определяется как обобщенный функционал вероятностей, зависящий от источников рисков обстоятельств и объектов их воздействия – человек  $N$  и окружающая среда  $S$

$$P_{TF} = F_P \{P_N, P_S\} = \sum_i [F_{P_i}(P_{N_i}, P_{S_i})] \quad (3)$$

Выбор методов оценки интегрального транспортного риска определяется следующими основными факторами:

- исходной потенциальной опасностью городской ДТС;
- увеличением угрозы проявления рисков обстоятельств при увеличении уровня энтропии ТП;
- наличием или созданием исходных баз данных для расчетно-экспериментального определения функционалов  $F$  и параметров  $P_{TF}$ ,  $U_{TF}$  ин-

тегрального транспортного риска  $R_{TF}$  в соответствии с выражениями (1)–(3).

Для городских ДТС в качестве исходных могут быть использованы статистические и вероятностные методы [3, 4].

Для ТП в качестве основных источников опасностей при реализации рисков обстоятельств следует принять:

- опасное неконтролируемое высвобождение энергии при ДТП  $E$  в результате роста транспортной энтропии;
- опасный контролируемый выброс вредных веществ  $W$ .

Соответственно, для каждого источника опасности должна быть проанализирована степень проявления рисков обстоятельства:

- объемы выделяемой энергии  $E$ , концентрации энергии  $dE/dF$ , скорость (импульс) выделения энергии  $dE/dt$ ;
- массы  $W$ , концентрации  $dW/dF$  и дозы воздействия  $(dW/dF)dt$  вредных веществ (здесь  $F$  – площадь проявления рисков обстоятельства).

Для каждого рисков обстоятельства следует проанализировать критические ( $E_c$ ,  $W_c$ ) и предельно допустимые характеристики ( $[E]$ ,  $[W]$ ) с назначением, как правило, предельно допустимых концентраций  $[dE/dF]$ ,  $[dW/dF]$  и доз  $[(dE/dF)dt]$ ,  $[(dW/dF)dt]$ , уровней уязвимости и повреждения.

Для сочетаний рисков обстоятельств и их предельно допустимых значений осуществляется вероятностное моделирование и интегрирование (суммирование) с учетом функций распределения по площади  $F$  и времени  $t$  для определения транспортных рисков  $R_{TF}$ , повреждения ( $D$ ) или уязвимости ( $V$ ) локальных социальных систем города (населения  $N$  и ОС  $S$ ) через отношения текущих значений к критическим для опасных энергий и веществ (или их концентраций и доз)

$$\{D_{F,t}, V_{F,t}\} = F_{D,V} \{(E/E_c), (W/W_c)\} = \iint_{Ft} [(E/E_c), (W/W_c)] dF dt \quad (4)$$

По установленным величинам повреждений  $D_{F,t}$  и уязвимости  $V_{F,t}$  для заданных вероятностей  $P_{TF,t}$  оцениваются величины ущербов

$U_{TF,t}$ . Полученные значения  $P_{TF,t}$  и  $U_{TF,t}$  для локальной социальной системы города дают возможность определения для заданной точки  $F$  и времени  $t$  рисков  $R_{TF,t}$ . Если будут научно обоснованы предельно допустимые уровни транспортных рисков  $[R_{TF}]$  или  $[R_{TF,t}]$ , то условие

безопасности может быть записано в виде

$$\{R_{TF}, R_{TF,t}\} \leq \{[R_{TF}], [R_{TF,t}]\} \quad (5)$$

При решении прямой задачи обеспечения интегральной безопасности по условию (5) допус-

каемые величины  $[R_{TF}]$  и  $[R_{TF,t}]$  устанавливаются с использованием допустимых величин  $[E]$  и  $[W]$  или их концентраций и доз. При решении обратной задачи по заданным величинам транспортных рисков  $[R_{TF}]$  или  $[R_{TF,t}]$  могут быть установлены предельно допустимые величины  $[E]$  и  $[W]$  или их концентраций и доз.

Менеджмент транспортного риска с учетом условия (5) сводится к тому, чтобы в рамках управления ДТС выполнить комплекс трех основных мероприятий:

- научно с применением расчетно-экспериментальных методов оценить транспортные риски  $\{R_{TF}, R_{TF,t}\}$ ;

- с учетом международного и национального опыта обосновать предельно допустимые уровни транспортных рисков  $\{[R_{TF}], [R_{TF,t}]\}$ ;

- разработать мероприятия с необходимыми затратами  $Z$  и их эффективностью (коэффициентами эффективности  $m_Z$ ) для обеспечения заданного уровня интегральной безопасности ТП.

Тогда общая задача оценки и менеджмента транспортными рисками записывается в виде  $\{R_{TF}, R_{TF,t}\} \leq \{[R_{TF}], [R_{TF,t}]\} = F_Z \{m_Z, Z\}$  (6)

Для выявления структуры функции количественной меры интегральной транспортной опасности  $R_{TF}$  с учетом выражения (1) по ее составляющим – вероятностям  $P_{TF}$  и ущербам  $U_{TF}$  проявления рискованных обстоятельств – необходимо произвести подборку и анализ статистических данных о проявлении рискованных обстоятельств за предшествующий период  $\Delta t$  (принимаемый равным 1 предшествующему году или последовательности лет – 2, 3, 4, ...n).

**Определение ущерба проявления рискованных обстоятельств.** Для рискованных обстоятельств, связанных с аварийностью, при первичной оценке ущерба для локальной социальной системы города от одного ДТП используют выражение  $U_N = U_0 + U_{N1} \cdot N_1 + U_{N2} \cdot N_2$ , руб., (7)

где  $N_1, N_2$  – число соответственно летальных и нелетальных исходов;

$U_0, U_{N1}, U_{N2}$  – экономические потери соответственно от материального ущерба, потери человеческих жизней  $N_1$  и здоровья для числа пострадавших  $N_2$ , руб.

Величины  $U_{N2}$  и  $N_2$  дифференцируют по степени тяжести последствий ДТП: с легкими ранениями, с тяжелыми ранениями, с тяжелыми ранениями, приведшими к инвалидности.

При достоверном определении величины ущерба  $U_{N1}$  необходимо учитывать большое число факторов (возраст, состояние здоровья, уровень

квалификации и образования, сфера занятости, место проживания).

Величины  $U_0$  и  $U_{N2}$  можно связать с  $U_{N1}$  через выражения

$$U_0 = K^N \cdot U_{N1}, \quad U_{N2} = K^N \cdot U_{N1}, \quad (8)$$

где  $K^N$  – коэффициент снижения ущерба.

Для определения количественных значений  $K^N$  можно воспользоваться коэффициентами тяжести ДТП на основе потерь экономики страны от ДТП, принятыми в РФ [7]. Так как для ДТП с летальным исходом данный коэффициент равен 100, то значение  $K^N$  составит: для ДТП с материальным ущербом – 0,01; с легкими ранениями – 0,04; с тяжелыми ранениями – 0,07; с тяжелыми ранениями, приведшими к инвалидности – 0,7.

Для рискованных обстоятельств, связанных с ЭН на ОС, при оценке ущерба для локальной социальной системы города от выбросов вредных веществ ТП в атмосферу следует использовать выражение

$$U_S = \sum_j U_{Sj}, \text{ руб.}, \quad (9)$$

где  $U_{Sj}$  – экономический ущерб от j-го уровня воздействия на ОС, руб.

В качестве параметра дифференциации воздействия на ОС по уровням могут выступать массовые, погонные выбросы, концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе города.

**Определение частоты проявления рискованных обстоятельств.** Используя положения теории техногенного риска, для рискованных обстоятельств, связанных с аварийностью, частота (вероятность) их проявления (вероятность ДТП)  $P_N$  на данном объекте УДС в рассматриваемый период времени  $\Delta t$  определяется из выражения

$$P_{Nj} = \frac{N_{DTPj}}{q_y \cdot \Delta t} \cdot K_{tf}, \quad (10)$$

где  $N_{DTPj}$  – количество ДТП j-й тяжести за рассматриваемый период  $\Delta t$ ;

$q_y$  – годовая интенсивность движения на данном объекте УДС, авт/год;

$K_{tf} = \frac{t_f}{\Delta t}$  – временной коэффициент функционирования исследуемой ДТС ( $t_f$  – время нахождения исследуемой ДТС в функциональном состоянии за рассматриваемый период времени  $\Delta t$ ).

Для городских ТП справедливо равенство  $t_f = \Delta t$  и тогда  $K_{tf} = 1$ .

Особенностью рискованных обстоятельств, связанных с ЭН на ОС, является то, что их проявление имеет непрерывный временной признак и при функционировании городской ДТС выражается в виде постепенного увеличения вредных ингреди-

ентных выбросов в атмосферу. Тогда частота (вероятность) проявления названных рисков обстоятельств  $P_S$  будет определяться с использованием временных составляющих посредством следующего выражения

$$P_{Sj} = \frac{T_j}{T_y \cdot \Delta t} \cdot K_{tf}, \quad (11)$$

где  $T_j$  – период времени, в течение которого на данном объекте УДС наблюдался  $j$ -й уровень воздействия на ОС (выбросы или концентрации вредных веществ в атмосфере города) за рассматриваемый период  $\Delta t$ , ч;

$T_y$  – общее годовое количество часов функционирования городской ДТС на данном объекте УДС, ч.

**Формирование функции интегрального транспортного риска.** Составляющая интегрального транспортного риска, связанная с аварийностью, для данного объекта УДС с учетом формул (1), (7) и (10) определяется по выражению

$$R_{TFN} = \sum_{k=1}^{N_{DTP}} \sum_{j=0}^2 P_{Nkj} \cdot U_{Nkj}, \text{ руб.}, \quad (12)$$

где  $j$  – тип тяжести каждого ДТП на данном объекте УДС;

$N_{DTP}$  – общее количество ДТП на данном объекте УДС за рассматриваемый период времени  $\Delta t$ .

Составляющая интегрального транспортного риска, связанная с ЭН на ОС, для данного объекта УДС с учетом формул (1), (9) и (11) определяется по выражению

$$R_{TFS} = \sum_{j=1}^J P_{Sj} \cdot U_{Sj}, \text{ руб.}, \quad (13)$$

где  $J$  – количество уровней, на которые дифференцировано негативное воздействие ТП на атмосферный воздух города.

Отсюда интегральный транспортный риск  $R_{TF}$  как количественная мера опасности городских ТП имеет следующую структуру

$$R_{TF} = R_{TFN} + R_{TFS}, \text{ руб.} \quad (14)$$

**Практическая реализация работы.** В разработанной автором методике оценки опасности ТП на городской УДС в качестве оценочного критерия уровня интегральной транспортной опасности обосновано произведение интенсивности и плотности движения, названное «пространственно-временной емкостью ТП» [8]

$$e = q \cdot k, \text{ (м} \cdot \text{с)}^{-1}, \quad (15)$$

где  $e$  – пространственно-временная емкость ТП,  $(\text{м} \cdot \text{с})^{-1}$ ;  $q$  – интенсивность движения,  $\text{с}^{-1}$ ;  $k$  – плотность ТП,  $\text{м}^{-1}$ .

Данное обоснование проведено с использованием энергоэнтропийного метода, который увязывает природу техногенного риска с динамической неуравновешенностью функционирующей систе-

мы, а его проявление – с существенным приростом энтропии внутри системы [5]. При этом доказано, что пространственно-временная емкость ТП объективно оценивает текущий уровень энтропии ТП.

Таким образом, для практической реализации разработанной методики оценки опасности городских ТП необходимо выявить характер и тесноту взаимосвязи критерия  $e$  и функции  $R_{TF}$  и доказать, что рост энтропии ТП сопровождается увеличением интегрального транспортного риска.

Как известно, одной из главных проблем системы дорожного движения является диспропорция в опережающих темпах роста автомобильного парка над темпами развития УДС [1]. Как следствие, если на городской УДС своевременно не внедрять требуемые реконструктивные или организационные мероприятия, это приводит к постепенному усложнению режимов движения ТП, росту их энтропии. Следовательно, в таких условиях можно ожидать увеличение интегрального транспортного риска.

Для экспериментального подтверждения выдвинутых гипотез проводился мониторинг ТП на УДС г. Кемерово по основным магистралям города в 1999 и 2004 гг. В течение обозначенного периода на УДС г. Кемерово не проводились работы по совершенствованию системы дорожного движения, что позволило выявить тенденции изменения пространственно-временной емкости ТП и интегрального транспортного риска в условиях постоянного усложнения режимов движения. Необходимые статистические данные были получены в рамках научных исследований, проводимых кафедрой автомобильных перевозок КузГТУ. При этом методика проведения экспериментальных исследований подразумевает комплексный подход к сбору данных, сочетающий получение информации на стационарных постах исследуемого района УДС и с помощью подвижных средств [1]. Это позволило получить как пространственные, так и временные характеристики дорожного движения, а также данные о неравномерности движения. При этом для решения поставленной задачи полученная таким образом информация была дополнена данными полного анализа аварийности по г. Кемерово, когда принимались во внимание не только отчетные ДТП с пострадавшими, но и все зарегистрированные ДТП с материальным ущербом.

При формировании функции интегрального транспортного риска его составляющая  $R_{TFN}$ , связанная с аварийностью, определяется выражениями (7), (10) и (12). Для определения ее количественных значений необходимо первоначально обосновать значение ущерба от потерь человеческих жизней в ДТП  $U_{N1}$ , по которому определяют величины ущерба  $U_0$ ,  $U_{N2}$  и общий ущерб  $U_N$  (7) с учетом коэффициентов  $K^N$  в выражениях (8). В этой связи представляет интерес исследова-



ния профессора, д-ра. физ.-мат. наук А. А. Быкова по формированию методологии оценки стоимости среднестатистической жизни человека, которая одобрена Российским научным обществом анализа риска. В данных исследованиях на основе обширного анализа мирового опыта по социальным, компенсационным выплатам, практики страхования жизни, а также с учетом экономического потенциала государства применяются различные методы для оценки стоимости единицы риска. В результате на основе параметров экономического развития РФ обоснован интервал цены среднестатистической жизни для современных условий России при расчетах ущерба, связанного с утратой жизни при чрезвычайных ситуациях техногенного характера, который составляет 30–40 млн. руб. Следовательно, в первом приближении можно принять осредненное значение  $U_{NI}$ , равное 30 млн. руб.

Для определения величины ущерба  $U_{Sj}$  в выражении (13) следует воспользоваться методикой оценки ущерба от загрязнения ОС отходами эксплуатации АТ, разработанной МАДИ (ГТУ) в рамках научно-исследовательской работы по государственному контракту № 565–ЭКО, согласно которой оценку ущерба  $U_{Sj}$  можно представить в виде

$$U_{Sj} = y_s \cdot \sigma \cdot f \cdot M_{S_{pr}}, \quad (16)$$

где  $y_s$  – константа, переводящая условную оценку воздействия на атмосферу в денежную, руб/усл. т;

$\sigma$  – показатель опасности загрязнения атмосферного воздуха над различными территориями города;

$f$  – поправка, учитывающая характер рассеивания примесей в атмосфере (для выбросов от низких источников, включая АТ,  $f=5$ );

$M_{S_{pr}}$  – приведенная масса годового выброса загрязнений от ТП, усл. т/год.

Величину нормативной константы к рассматриваемому периоду определяем из выражения

$$y_s = y_s^{baz} \cdot k_{in}, \text{ руб/усл. т}, \quad (17)$$

где  $y_s^{baz}$  – величина нормативной константы к базовому периоду (в качестве базового периода принят 2004 г., в котором  $y_s^{baz}=48$  руб/усл. т),

$k_{in}$  – коэффициент индексации нормативной константы к рассматриваемому периоду (определяют на основании Постановления Госкомстата РФ от 25.03.2002 № 23, которым утверждены основные положения о порядке наблюдения за потребительскими ценами и тарифами).

Количественное значение приведенной массы годового выброса загрязнений от ТП определяют

по выражению

$$M_{S_{pr}} = \sum_{i=1}^n m_{Si} \cdot A_i, \text{ усл. т/год}, \quad (18)$$

где  $m_{Si}$  – масса годового выброса  $i$ -го вещества в атмосферу, т/год;

$A_i$  – показатель относительной агрессивности  $i$ -го вещества, усл. т/т;

$n$  – общее число вредных веществ, учитываемых при выбросах ТП.

При практическом определении приведенной массы годового выброса учитывают только нормируемые вредные вещества в отработавших газах, для которых показатель  $A_i$  имеет следующие значения:

- оксид углерода – 0,09 усл. т/т;
- оксид азота (в пересчете по массе на  $\text{NO}_2$ ) – 3,74 усл. т/т;
- низкомолекулярные углеводороды – 0,02 усл. т/т;
- сажа без примесей – 1,37 усл. т/т.

Для определения величины  $m_{Si}$  в (18) следует воспользоваться методикой, в основу которой положена имитационная модель движения автомобиля в составе ТП, разработанная в МАДИ-ГТУ и использующая схему кусочно-непрерывного агрегата. Ее подробное описание приведено в [9].

Использование общей теории техногенного риска применительно к транспортным задачам позволило разработать условие безопасности (5). Таким образом, при практической реализации разработанной автором методики оценки опасности городских ТП данное условие (5) может быть экстраполировано и на оценочный критерий уровня интегральной транспортной опасности, т.е. пространственно-временную емкость ТП. Для этого автором проведены теоретические исследования ее информативного признака, в ходе которых выявлено, что минимальный уровень энтропии ТП наблюдается в том случае, когда пространственно-временная емкость ТП не превышает половины от своего максимального значения [8]. Таким образом, данное значение может рассматриваться как предельно допустимая величина критерия [e] и, согласно условию (5), соответствующий такому значению интегральный транспортный риск будет отражать предельно допустимый уровень опасности ТП в городских условиях движения. Обширные транспортные обследования показали, что максимальное значение репрезентативной выборки пространственно-временной емкости ТП в условиях УДС г. Кемерово составляет  $0,0334 (\text{м}\cdot\text{с})^{-1}$ , тогда ее предельно допустимой величиной можно считать значение  $0,0167 (\text{м}\cdot\text{с})^{-1}$  [8].

Примером иллюстрации наиболее характерных тенденций изменения уровня интегрального транспортного риска и его связи с пространственно-временной емкостью ТП, выявленных на УДС г. Кемерово, могут выступать исследования слож-

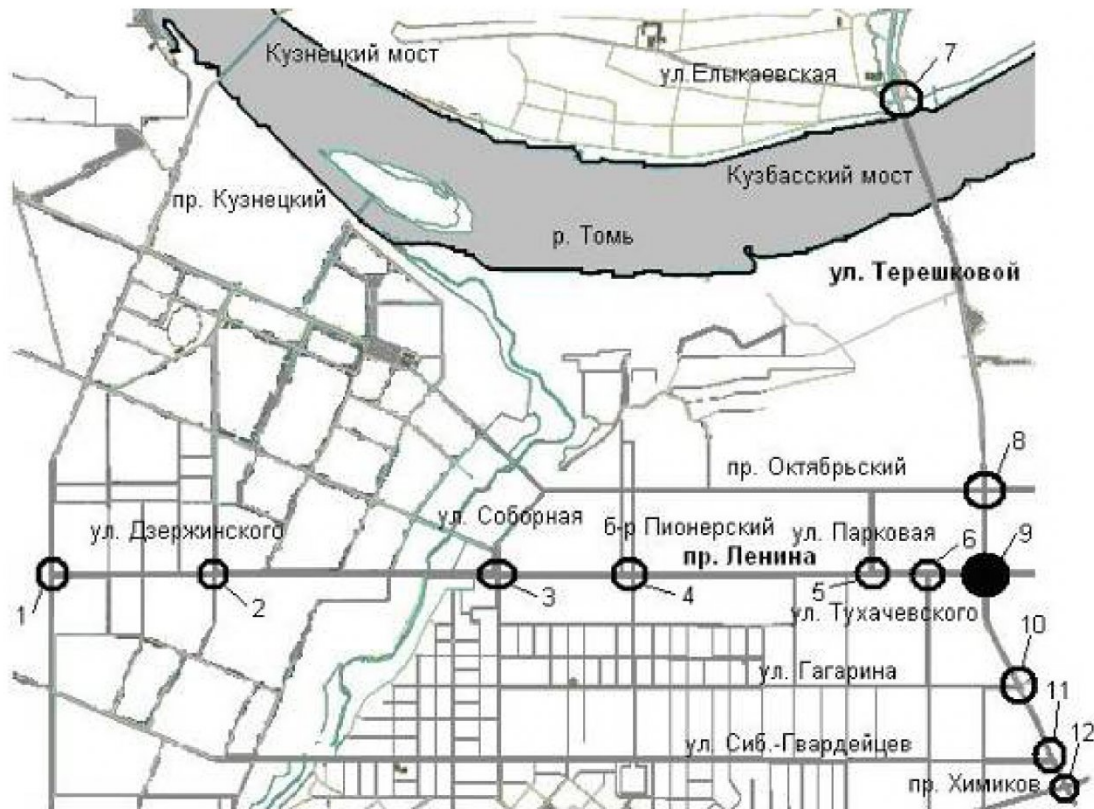


Рис. 1. Схема района УДС г. Кемерово с расположением исследуемых транспортных магистралей пр. Ленина и ул. Терешковой

ности режимов движения и уровня энтропии ТП на перегонах и перекрестках пр. Ленина и ул. Терешковой, которые являются одними из основных транспортных магистралей г. Кемерово (рис. 1). При этом на рис. 1 выделены основные загруженные перекрестки названных магистралей, где наблюдаются наиболее сложные режимы движения и повышенный уровень энтропии ТП.

Главной магистралью для местного движения ТП является пр. Ленина, связывающий административный центр города с развивающимся новым деловым центром. Здесь самый высокий в городе маршрутный коэффициент общественного транспорта и максимальный пассажиропоток. При этом для обеспечения наиболее благоприятных условий в центре г. Кемерово движение грузового транспорта по пр. Ленина запрещено.

С другой стороны, ул. Терешковой считается одной из главных магистралей для грузового транзитного движения в г. Кемерово, так как для него к настоящему времени не построена транспортная магистраль в обход города. Как видно из рис. 1, в г. Кемерово функционируют два коммунальных моста через р. Томь – Кузнецкий и Кузбасский. Но до проведенной в 2005 г. реконструкции по Кузнецкому мосту в силу его низких эксплуатационных качеств было запрещено движение грузового транспорта. Как следствие, весь транзитный грузовой транспорт федеральной трассы

М53 направлялся через Кузбасский мост, расположенный по ул. Терешковой. При этом исследуемые магистрали на УДС г. Кемерово имеют пересечение в одном уровне (перекресток 9 на рис. 1).

**Основные выводы.** Обработка результатов мониторинга ТП на УДС г. Кемерово позволяет получить достаточно наглядную и объективную картину изменения как уровня энтропии ТП, так и уровня интегрального транспортного риска.

Прежде всего, необходимо отметить, что степень разнородности ТП практически неизменна с течением времени (рис. 2), что объясняется двумя причинами.

Во-первых, в исследуемый период времени не внедрялись организационные мероприятия, связанные с ограничением движения грузового транспорта.

Во-вторых, общественный транспорт в г. Кемерово развивается достаточно интенсивно, поэтому возрастает и количество маршрутов и транспортных единиц на каждом маршруте, поэтому рост легкового парка сопровождается соответствующим ростом парка автобусов. Данные тенденции проявляются на фоне резкого роста грузовых перевозок, благодаря чему процент грузовых автомобилей в общем ТП на ул. Терешковой возрос на 5% – с 13% в 1999 г. до 18% в 2004

г. (рис. 2).

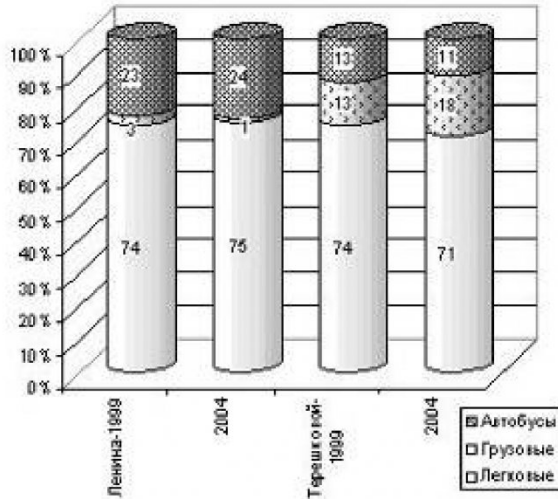


Рис. 2. Изменение состава ТП на исследуемых магистралях

Натурные наблюдения скоростей разной части ТП практически полностью совпадают с гисто-

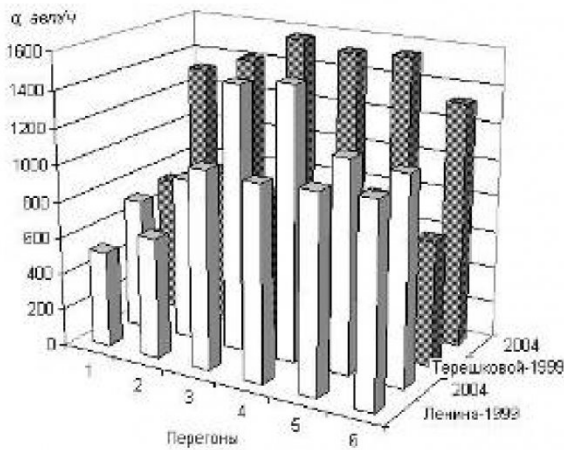


Рис. 3. Изменение интенсивности движения по перегонам на магистралях пр. Ленина и ул. Терешковой г. Кемерово (нумерация перегонов от начала магистралей)

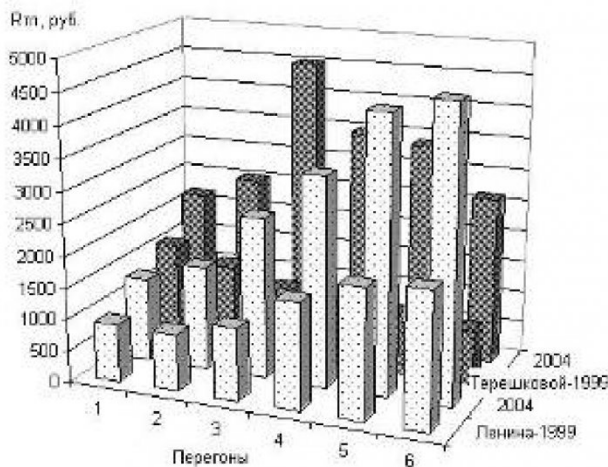


Рис. 5. Изменение интегрального транспортного риска по перегонам на магистралях пр. Ленина и ул. Терешковой г. Кемерово

граммами расчетных скоростей, полученных по имитационной модели МАДИ-ГТУ, использующей схему кусочно-непрерывного агрегата [9]. Это позволило определить средние скорости ТП на каждом перегоне исследуемых магистралей.

Таким образом, в 1999 г. на основных магистралях г. Кемерово наблюдались достаточно благоприятные режимы движения ТП, что подтверждается гистограммами на рис. 3 и 4. Анализ представленных диаграмм показал, что в обозначенный период времени ТП имели достаточно низкую интенсивность движения (рис. 3), что обеспечивало высокую среднюю скорость сообщения – от 10 до 13 м/с (рис. 4). Такое состояние ТП характерно для левой части его основной диаграммы, соответствующей свободным условиям движения. В таких условиях энтропия ТП имеет низкий уровень.

Вследствие этого, можно будет ожидать низкого уровня интегрального транспортного риска как на перегонах, так и перекрестках городских

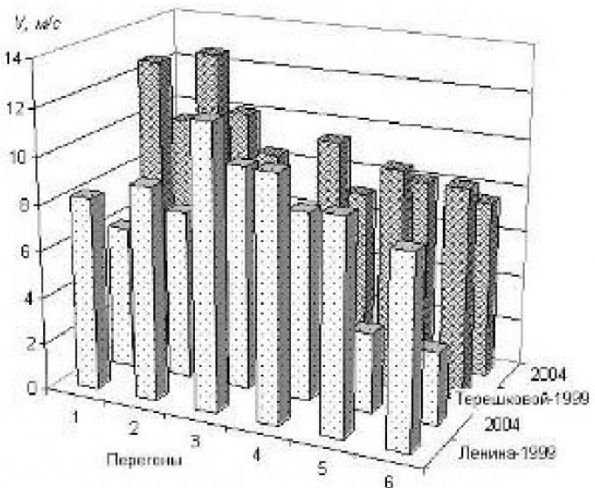


Рис. 4. Изменение средней скорости ТП по перегонам на магистралях пр. Ленина и ул. Терешковой г. Кемерово

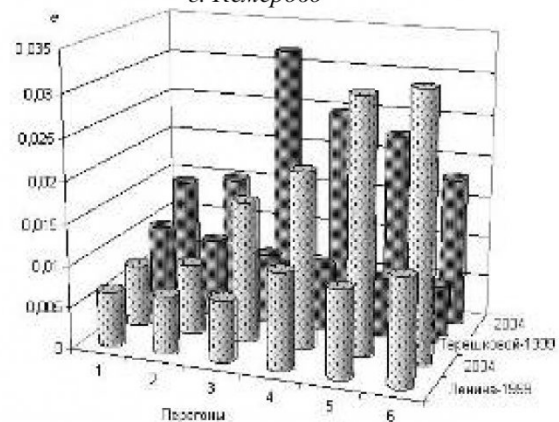


Рис. 6. Изменение пространственно-временной емкости ТП по перегонам на магистралях пр. Ленина и ул. Терешковой г. Кемерово



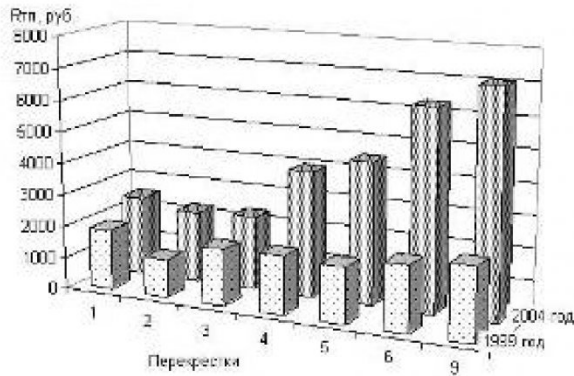


Рис. 7. Изменение интегрального транспортного риска на перекрестках пр. Ленина г. Кемерово

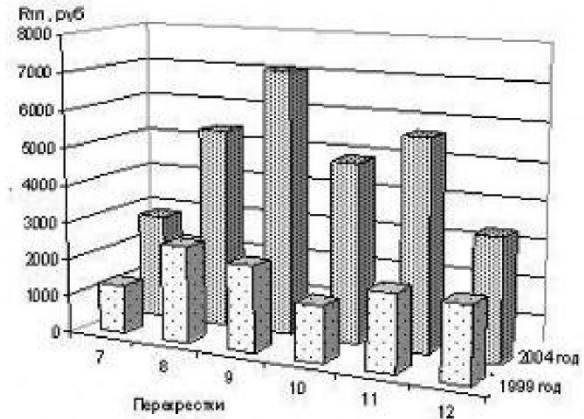


Рис. 8. Изменение интегрального транспортного риска на перекрестках ул. Терешковой г. Кемерово

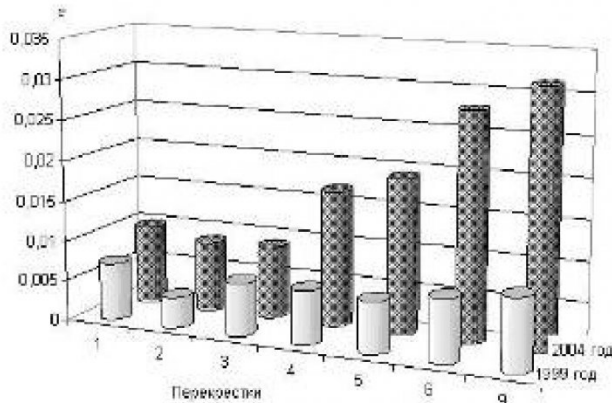


Рис. 9. Изменение пространственно-временной емкости ТП на перекрестках пр. Ленина г. Кемерово

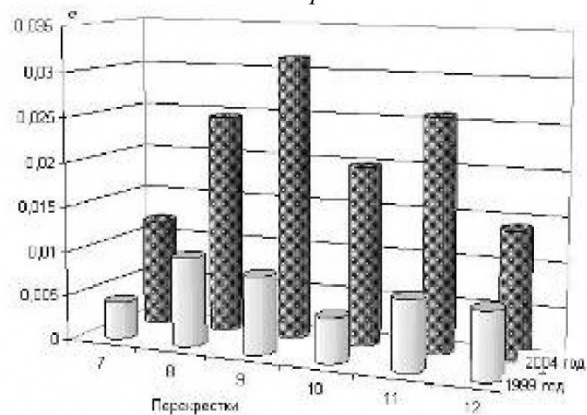


Рис. 10. Изменение пространственно-временной емкости ТП на перекрестках ул. Терешковой г. Кемерово

магистралей, что подтверждается гистограммами на рис. 5, 7 и 8. При этом полученные в таких условиях значения пространственно-временной емкости ТП, не превышают  $0,013 \text{ (м·с)}^{-1}$ , что гораздо ниже предельно допустимой величины  $0,0167 \text{ (м·с)}^{-1}$  (рис. 6, 9 и 10).

Однако в 2004 г. в условиях постоянного роста автомобильного парка и отсутствия своевременных мероприятий по совершенствованию процесса функционирования ДТС наблюдается уже обратная картина. Так, на ул. Терешковой на всех перегонах интенсивность движения возросла практически в 2 раза, а дальнейший рост интенсивности ТП на пр. Ленина привел к тому, что на наиболее загруженных перегонах 5 и 6 она превысила их пропускную способность (рис. 3). Как следствие на них наблюдается резкое падение средней скорости сообщения – с 9 до 3 м/с (рис. 4). Такие условия движения характерны уже для правой части основной диаграммы ТП и здесь можно ожидать максимального уровня энтропии и интегрального транспортного риска. Как показывает гистограмма на рис. 5, на перегоне 3 ул. Терешковой, примыкающем к пр. Ленина, а также перегонах 5 и 6 пр. Ленина наблюдается резкий рост уровня интегрального транспортного риска.

Соответственно, на них пространственно-временная емкость ТП достигает практически максимальную величину –  $0,032 \text{ (м·с)}^{-1}$ ,  $0,031 \text{ (м·с)}^{-1}$  и  $0,032 \text{ (м·с)}^{-1}$  (рис. 6). А комплексный анализ данных рис. 5 и 6 показывает, что из двенадцати исследуемых перегонов ул. Терешковой и пр. Ленина в 2004 г. восемь имеют недопустимый уровень энтропии и, следовательно, интегрального транспортного риска. Аналогичный анализ для перекрестков на основе данных рис. 7–10 свидетельствует о том, что из двенадцати исследуемых перекрестков семь не способны обеспечить требуемый уровень безопасности движения в сложившихся условиях.

Как показал анализ структуры интегрального транспортного риска, уровень аварийной его составляющей, как и интегрального риска в целом на перекрестках гораздо выше, чем на перегонах. Объясняется это тем, что на перегонах наблюдается непрерывное движение, в то время как на перекрестках происходит конфликт направлений движения ТП, что влечет за собой рост вероятности ДТП, а, следовательно, и риска в целом. Однако при неразрывном рассмотрении аварийной  $R_{TFN}$  и экологической  $R_{TFS}$  составляющих в рамках функции количественной меры транспортной



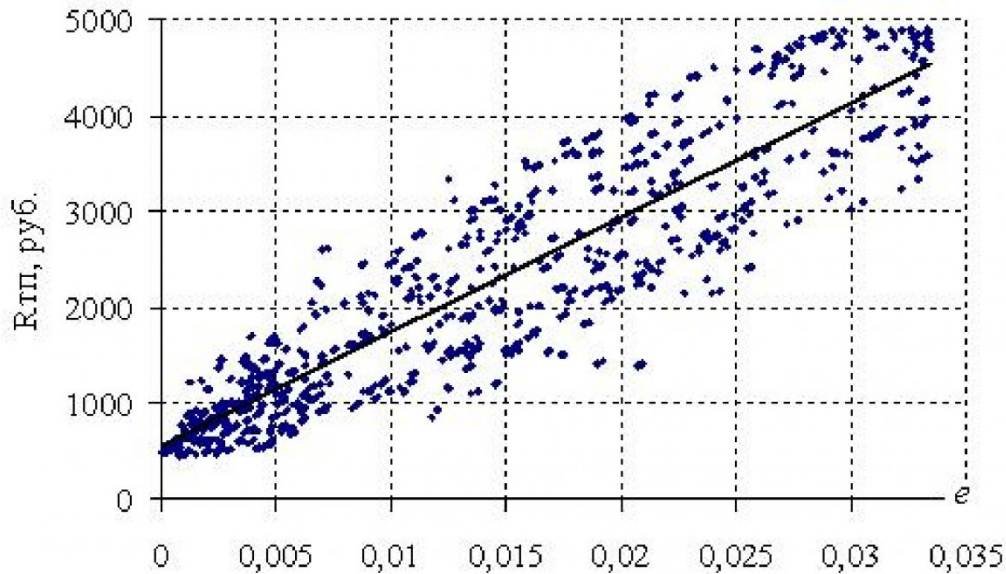
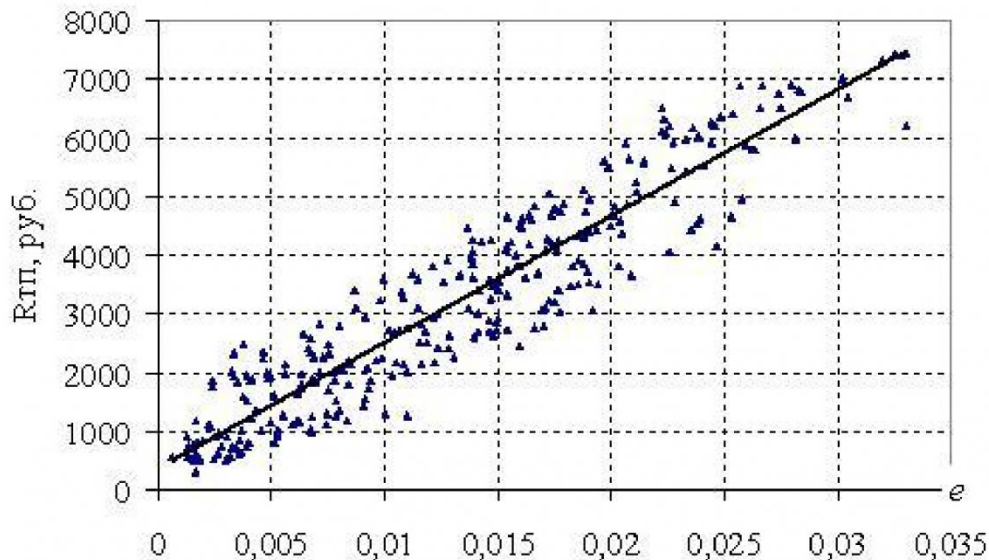


Рис.11. Зависимость емкости ТП и интегрального транспортного риска на перегонах городской УДС



опасности наблюдаются практически идентичные тенденции изменения интегрального транспортного риска и пространственно-временной емкости ТП как на перегонах (рис. 5, 6), так и на перекрестках (рис. 7–10) городской УДС. Таким образом, выявлено наличие тесной линейной взаимосвязи пространственно-временной емкости ТП и интегрального транспортного риска на перегонах и перекрестках (коэффициенты корреляции соответственно 0,915 и 0,938). Сформулированный вывод наглядно иллюстрируется данными графиков на рис. 11 и 12.

Полученные результаты являются весомыми аргументами использования пространственно-временной емкости ТП как критерия практической оценки уровня интегральной транспортной опасности объектов городской УДС.

Полученные экспериментальные данные позволили построить следующие уравнения регрессии для рассматриваемых параметров:

– для перегонов:

$$R_{TF} = 119426 \cdot e + 545,87, \text{руб.}; \quad (19)$$

– для перекрестков:

$$R_{TF} = 215713 \cdot e + 351,51, \text{руб.} \quad (20)$$

Графики зависимостей (19) и (20), аппроксимирующих экспериментальные данные, также представлены на рис. 11 и 12.

Разработанная автором структура функции интегрального транспортного риска и проведенные экспериментальные исследования ее величины были использованы администрацией г. Кемерово в качестве обоснования разработки первоочередных мероприятий по реконструкции наиболее загруженных участков УДС. В качестве примера может быть отмечено строительство пр. Московского с целью разгрузки пр. Ленина и ул. Терешковой.

Таким образом, конкретизация с помощью формул (7)–(13) общих положений концепции

транспортного риска, математически формализованных посредством выражений (1)–(6), позволила разработать структуру интегрального транспортного риска, имеющую вид (14). Поскольку эффективность городской ДТС определяется уровнем энтропии ТП (уровнем неопределенности

в системе дорожного движения), то при разработке мероприятий по повышению безопасности движения полученная количественная мера риска (14) может выступать основополагающим критерием оптимизации в транспортных задачах в условиях неопределенности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Клинковштейн, Г. И.* Организация дорожного движения: учебник для вузов / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
2. *Кондратьев, В. Д.* Повышение безопасности дорожного движения в 2006–2012 годах. Комментарии к основным положениям Федеральной целевой программы // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2006. – № 2. – С. 1–3.
3. *Малинецкий, Г. Г.* Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика. – М.: Наука, 2000. – 432 с.
4. *Хохлов, Н. В.* Управление риском. – М.: ЮНИТИ–ДАНА, 1999. – 468 с.
5. *Белов, П. Г.* Методологические основы менеджмента техногенного риска // Безопасность в техно-сфере. – 2006. – № 1. – С. 10–14.
6. *Beaver, W. H.* Risk Management: Problems and Solutions / W. H. Beaver, G. Parker. – Stanford University Press, McGraw–Hill, 1995. – 215 p.
7. *Бадалян А. М.* Оценка уровня безопасности движения на двухполосных дорогах методом имитационного моделирования: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МАДИ (ГТУ), 2005. – 321 с.
8. *Жданов, В. Л.* Интегральная оценка безопасности транспортных потоков на улично-дорожной сети // Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. – № 7. – С. 46–51.
9. *Трофименко Ю. В.* Теория экологических характеристик автомобильных энергоустановок: дис. ... доктора техн. наук. – М.: МАДИ (ГТУ), 1996. – 355 с.

□ Автор статьи

Жданов  
Вячеслав Леонидович  
– старший преп. каф. автомобильных  
перевозок КузГТУ  
Тел. 8-960-921-14-07  
E-mail: Slava.jr@rambler.ru

УДК 656.013.08.577

В. Л. Жданов

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПЕРАТИВНОСТИ ОЦЕНОК ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Объективно самые высокие темпы развития автомобильного транспорта (АТ) в мировом масштабе по сравнению с другими видами транспорта приводят к тому, что без проведения дополнительных мероприятий возрастают и негативные последствия автомобилизации. Постоянный рост как мирового парка автотранспортных средств, так и парка отдельно взятого города ужесточают требования по ограничению негативных аспектов дорожно-транспортной системы.

Как известно, среди всех негативных аспектов для городской дорожно-транспортной системы наибольшую актуальность имеет высокий уровень отрицательного воздействия транспортных потоков (ТП) на окружающую среду (ОС). Следовательно, в городских условиях большое значение имеют организационные мероприятия по сниже-

нию экологической нагрузки (ЭН) транспортных источников. При этом для обоснования эффективности таких мероприятий требуется методика объективной оценки существующего уровня ЭН городских ТП. Любая из подобных методик базируется на использовании системы оценочных критериев, по численным значениям которых можно определить предельно допустимый уровень ЭН для исследуемого города, а также степень его превышения в реальных условиях и эффективность различных методов снижения нагрузки.

Однако при построении методик оценки уровня ЭН всегда приходится решать сложную задачу обеспечения требуемой точности расчетов при минимизации их трудоемкости. Таким образом, чтобы получить оценочную методику экологического воздействия АТ на ОС, удобную в практи-