

К вопросу оценки безопасности движения на автомобильных дорогах при возникновении чрезвычайных ситуаций

*П.О. Середа¹, И.В. Лебедева², В.Н. Наконечный²,
Д.А. Рудиков², Т.А. Финоченко²*

¹Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону

²Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону

Аннотация: Рассматривается подход к оценке безопасности движения на автомобильных дорогах в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций, разработанный на основе интегрального показателя безопасности движения, использование которого позволяет учитывать различные факторы, влияющие на безопасность, а также сравнивать безопасность различных маршрутов

Ключевые слова: показатели безопасности движения, чрезвычайная ситуация, оценка безопасности движения, автомобильная дорога, интегральные показатели

В настоящее время возникает необходимость организации безопасного движения в условиях чрезвычайных ситуаций различного характера. Это может быть доставка необходимого оборудования, материальных и людских ресурсов в район техногенной или природной катастрофы, колонн гуманитарных грузов в районы бедствия и т.п. Кроме того, опасность неблагоприятного воздействия на транспортные сооружения и средства может быть выражена не только природными и техногенными факторами, но и действиями различных экстремистских и террористических формирований. О чем свидетельствуют события последних десятилетий не только в нашей стране, но и за рубежом.

Обоснование решений по обеспечению безопасности автомобильного движения в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций требует выбора соответствующих показателей и критериев. К настоящему времени в теории транспортных потоков применяются прямые и косвенные показатели оценки безопасности движения автомобильного транспорта [1–5].

В качестве показателей и критериев безопасности используют следующие величины: геометрические, технические, эксплуатационные

характеристики дороги; характеристики и режимы потока; коэффициенты безопасности и аварийности; вероятность безотказной работы; обобщенные и частные критерии эффективности и безопасности; риск, как мера опасности ситуаций; надежность, как обратная величина риска; живучесть и др.

Анализ сущности и содержания вышеуказанных показателей и критериев показывает, что выбор в качестве критерия безопасности геометрических, технико-эксплуатационных характеристик дороги и характеристик потока целесообразен на этапах проектирования дороги, когда, задавая эти критерии, «закладывается» безопасность в элементы дороги. На этапе эксплуатации автомобильных дорог в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций использование указанных характеристик в качестве критериев нецелесообразно в связи с тем, что движение организуется по существующим автомобильным дорогам.

В настоящее время используются и такие абсолютные и относительные показатели безопасности как количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП), число погибших и пострадавших в ДТП, количество ДТП на 100 тыс. человек населения, число погибших и пострадавших на 100 тыс. человек населения и т.п.

Использование этих показателей и критериев связано с накопленной статистикой аварийности, смертности и ранений в результате уже случившихся ДТП. Их использование для исследования и прогнозирования безопасности транспортного потока в условиях чрезвычайных ситуаций возможно лишь частично, в связи с резко меняющимися условиями обстановки в результате того или иного воздействия.

Анализ критериев и показателей, предложенных в различных источниках [1–5, 7] показывает, что их использование позволяет решать частные задачи обеспечения безопасности движения с учетом квалификации водителей одиночных транспортных средств, или за счет учета влияния

метеоусловий на безопасность, а также принятием мер по применению технических средств управления движением на автомобильных дорогах. Ни один из этих критериев не может быть применен в «чистом», неизменном виде для оценки безопасности движения транспортных средств в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций, отличительной особенностью которого является учет возможного воздействия техногенных, природных факторов, различных экстремистских и террористических формирований и колонного построения транспортных средств.

Поскольку обеспечение безопасности движения может быть достигнуто путем решения ряда частных задач, то искомый показатель должен быть интегральным и отражать совокупность целей обеспечения безопасности движения.

В отличие от показателей и критериев, рассмотренных в вышеуказанных источниках, безопасность движения в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций складывается в результате взаимодействия целой совокупности событий, как увеличивающих, так и уменьшающих безопасность. Для оценки влияния этих событий на безопасность движения необходимо применить некоторые частные показатели безопасности.

Набор частных показателей не является исчерпывающим и при необходимости его можно дополнить, если возникают другие условия, которые можно учесть в конкретной ситуации.

При этом количественная характеристика интегрального показателя безопасности движения должна давать представление о влиянии факторов безопасности на объем движения и своевременность доставки материальных и людских ресурсов.

Целевая функция интегрального показателя безопасности движения $KB_{инт}$ в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций выглядит следующим образом:

$$KB_{инт} = f(K_{чф}; K_{удв}; K_{ду}; K_{му}; K_{уб}; K_{вп}) \rightarrow \max \quad (1)$$

где $K_{чф}$ – частный показатель безопасности «человеческого фактора»; $K_{удв}$ – частный показатель безопасности условий движения; $K_{ду}$ – частный показатель безопасности дорожных условий; $K_{му}$ – частный показатель безопасности метеорологических условий; $K_{уб}$ – частный показатель безопасности условий видимости; $K_{вп}$ – частный показатель безопасности воздействия экстремистских и террористических формирований.

Исходя из этого, расчет интегрального показателя безопасности движения $KB_{инт}$ целесообразно проводить по следующей формуле:

$$KB_{инт} = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_i \quad (2)$$

где K_i – i -й частный показатель безопасности движения; α_i – вес i -го частного показателя безопасности движения, $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$; n – общее количество частных показателей безопасности движения.

При определении частных показателей безопасности движения могут быть: коэффициенты аварийности, коэффициенты безопасности, метеорологическая дальность видимости, коэффициент аварийности по сезонным условиям, средняя скорость потока, интенсивность и плотность движения, вероятность вывода из строя колонн и объектов на автомобильных дорогах, вероятность выполнения задачи должностными лицами (водителем, начальником колонны, регулировщиками и т.д.).

Определение частных показателей безопасности движения в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций позволяет перейти к

непосредственной разработке методов ее оценки.

В данной статье предлагается подход, суть которого состоит в оценке влияния каждой из групп факторов опасности движения по автомобильным дорогам в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций и сводится, в конечном итоге, к вычислению интегрального показателя безопасности движения.

Исходные данные, необходимые для оценки безопасности движения в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций можно объединить в следующие группы: дорожные условия, условия видимости, климатические условия, условия движения (потока), условия возможного воздействия экстремистских и террористических формирований, «человеческий фактор». Влияние каждой группы показателей и показателей внутри групп на безопасность движения не зависит по приращению друг от друга, что позволяет предположить об их независимости.

Исходя из этого, обобщенный показатель безопасности движения можно рассматривать посредством мультиаддитивной свертки частных показателей, отражающих достижение отдельных целей обеспечения безопасности движения.

Определение интегрального показателя безопасности движения заключается в выполнении следующих этапов:

1 Формирование совокупности частных показателей безопасности движения

Из многообразия всех опасных факторов выбираются те из них, которые в наибольшей степени будут влиять на безопасность. Выбранные опасные факторы подразделяются на группы факторов.

В каждой группе опасных факторов определяется показатель, по которому возможно оценить влияние данной группы на безопасность движения.

Таковыми частными показателями могут быть: безопасность дорожных условий, безопасность условий видимости, безопасность погодных условий, безопасность условий движения, безопасность условий воздействия экстремистских и террористических формирований, безопасность «человеческого фактора».

2 Расчет значений частных показателей безопасности движения

2.1 *Определение частного показателя безопасности дорожных условий* проводится на основе расчета коэффициентов аварийности действительных $K_{авар}^{\partial}$ и эталонных $K_{авар}^{\varepsilon}$ дорожных условий по формулам [10]:

$$K_{авар}^{\partial} = \prod_{i=1}^{20} K_i^{\partial}, \quad K_{авар}^{\varepsilon} = \prod_{i=1}^{20} K_i^{\varepsilon} \quad (3)$$

где K_i^{∂} , K_i^{ε} – частные коэффициенты аварийности действительных и эталонных дорожных условий.

Частный показатель безопасности дорожных условий $K_{ДУ}$ определяется отношением коэффициентов аварийности для действительных и эталонных дорожных условий [10]:

$$K_{ДУ} = 1 - \frac{K_{авар}^{\partial} - K_{авар}^{\varepsilon}}{\Delta K_{дон}}, \quad (4)$$

где $\Delta K_{дон}$ – допустимое отклонение коэффициента аварийности в действительных условиях от коэффициента аварийности в эталонных условиях.

2.2 *Определение частного показателя безопасности условий видимости* проводится вычисление метеорологической дальности видимости в тумане (задымлении, запыленности), во время выпадения осадков (дождя, снегопада, метели) в зависимости от вероятности их появления. Вычисление проводится по следующим формулам [2]:

$$S_{MB1}^{\partial} = \frac{14}{W}, \quad S_{MB2}^{\partial} = 14I^{-0,74}, \quad S_{MB3}^{\partial} = 0,94I^{-0,91} \quad (5)$$

где S_{MB1}^{∂} , S_{MB2}^{∂} , S_{MB3}^{∂} - действительное метеорологическое расстояние видимости соответственно в тумане, дожде или снегопаде, км; W - водность тумана, г/м³; I - интенсивность дождя или снегопада, мм/ч.

Формулы для расчета водности тумана и интенсивности дождя и снегопада приведены в [2]. Возможно применение существующих формул для расчета других факторов, снижающих видимость, таких как запыленность и задымление.

При совместном воздействии факторов, снижающих видимость, воспользуемся их мультипликативной сверткой. Частный показатель безопасности условий видимости K_{yB} будет определяться по формуле:

$$K_{yB} = \frac{\prod_{i=1}^3 S_{MBi}^{\partial}}{S_{MB}^{\partial}}, \quad (6)$$

где S_{MBi}^{∂} - действительное метеорологическое расстояние видимости при условиях, снижающих видимость, км; S_{MB}^{∂} - эталонное метеорологическое расстояние видимости для данной местности, км.

2.3 Определение частного показателя безопасности метеорологических условий заключается в вычислении частных коэффициентов аварийности при воздействии различных погодных условий [1, 10]. В качестве факторов воздействия целесообразно принять температуру воздуха, влажность и атмосферное давление воздуха.

Коэффициент воздействия температуры воздуха K_t :

$$K_t = 1 - 0,1 \frac{|t_{\partial} - t_{\partial}|}{\Delta t_{\partial}}, \quad (7)$$

где t_{∂} - эталонная температура воздуха, °С (в качестве эталонной

принимается температура 20...25°C); t_{∂} - действительная температура воздуха, °C; $\Delta t_{\partial\partial n}$ - допустимое отклонение температуры воздуха в действительных условиях от температуры воздуха в эталонных условиях.

Коэффициент воздействия влажности воздуха K_{ψ} :

$$K_{\psi} = \frac{100 - \psi}{100}, \quad (8)$$

где ψ – действительная влажность воздуха, %.

Коэффициент атмосферного давления K_P находится по формуле:

$$K_P = 1 - 10 \frac{|P_{атм}^э - P_{атм}^{\partial}|}{\Delta P_{атм}}, \quad (9)$$

где $P_{атм}^э = 760$ мм. рт. ст. – нормальное атмосферное давление; $P_{атм}^{\partial}$ - действительное атмосферное давление, мм. рт. ст.; $\Delta P_{атм}$ - допустимое отклонение атмосферного давления в действительных условиях от атмосферного давления в эталонных условиях.

Частный показатель безопасности метеорологических условий $K_{ПУ}$:

$$K_{ПУ} = K_t K_{\psi} K_P. \quad (10)$$

2.4 Определение частного показателя безопасности условий движения. Показатель безопасности условий движения $K_{УДВ}$ вычисляется по формуле [10]:

$$K_{УДВ} = 1 - \frac{|v_p - v_{\partial}|}{\Delta v_{\partial\partial n}}, \quad (11)$$

где v_p - рекомендуемая скорость движения, максимально обеспечивающая безопасные условия движения, км/ч; v_{∂} - действительная скорость движения, км/ч; $\Delta v_{\partial\partial n}$ - допустимое отклонение действительной скорости движения от рекомендуемой, км/ч.

2.5 Определение частного показателя безопасности условий

воздействия экстремистских и террористических формирований является наиболее сложным этапом, так как действия террористов характеризуются своей непредсказуемостью, внезапностью и кратковременностью воздействия. Оценке возможности воздействия террористов на тот или иной объект в конкретных условиях обстановки посвящен ряд работ [4, 6, 9].

Одним из подходов, позволяющим оценить возможность воздействия экстремистских и террористических формирований на тот или иной участок автомобильной дороги является метод, основанный на использовании системы следующих частных показателей [6]:

P_1 – степень заинтересованности террористов в совершении террористического акта на конкретном объекте (участок автодороги);

P_2 – степень влияния защищенности объекта на возможность совершения на нем террористического акта;

P_3 – степень влияния внешних факторов на возможность совершения террористического акта на объекте (участок автодороги).

Определение данных показателей осуществляется с использованием множества факторов сложившихся условий обстановки на основе метода расстановки приоритетов.

Значение показателя безопасности условий воздействия экстремистских и террористических формирований каждого рассматриваемого участка автомобильной дороги v_i рассчитывается с помощью соотношения:

$$v_i = P_1 r_1 + P_2 r_2 + P_3 r_3, \quad (12)$$

где r_1, r_2, r_3 – коэффициенты значимости каждого рассматриваемого частного показателя P_1, P_2, P_3 .

2.6 *Определение частного показателя безопасности «человеческого фактора»* может определяться вероятностью выполнения задачи должностными лицами колонн и органов управления движением на

автомобильной дороге.

Вероятность выполнения задачи должностными лицами i -й колонны $P_{\bar{e}zi}$ определяется по формуле [7, 10]:

$$P_{\bar{e}zi} = P_{\bar{b}i} \cdot P_{ci}, \quad (13)$$

где $P_{\bar{b}i}$ - вероятность безошибочного выполнения задачи должностными лицами i -й колонны; P_{ci} - вероятность своевременного выполнения задачи должностными лицами i -й колонны.

Вероятность выполнения задачи должностными лицами органов управления движением на участке дороги определяется аналогично (13) и вычисляется по следующей формуле:

$$P_{\bar{e}z}^{OY} = P_{\bar{b}}^{OY} \cdot P_c^{OY}, \quad (14)$$

где $P_{\bar{e}z}^{OY}$ - вероятность выполнения задачи должностными лицами органов управления движением на участке дороги; $P_{\bar{b}}^{OY}$ - вероятность безошибочного выполнения задачи должностными лицами органов управления движением на участке дороги; P_c^{OY} - вероятность своевременного выполнения задачи должностными лицами органов управления движением на участке дороги.

Частный показатель безопасности «человеческого фактора» $K_{чф}$ находится как вероятность выполнения задачи должностными лицами колонн и органов управления движением, рассчитывается по формуле:

$$K_{чф} = P_{\bar{e}zi} \cdot P_{\bar{e}z}^{OY}. \quad (15)$$

3 Определение веса каждого частного показателя безопасности движения

Проводится с использованием метода относительных предпочтений (весовых коэффициентов α и приоритетов β) [8], сущность которого сводится к следующему.

Все частные показатели ранжируются в порядке предпочтений относительно друг друга на шкале отношений. Для удобства выполнения расчетов строится матрица $A = \|\beta_{ij}\|$ сравнения частных показателей, которые перечисляются по ее строкам и столбцам.

Элементами матрицы A являются значения результатов парного сравнения показателей друг с другом: $\beta_{ij} = 1,5$ – если, показатель i важнее j ; $\beta_{ij} = 1$ – если, показатель i равен j (одинаков по предпочтению); $\beta_{ij} = 0,5$ – если, показатель j важнее i ;

Весовые коэффициенты α_i , исходя из условия $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$, вычисляются

по соотношению:

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^n \beta_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij}}, \quad (16)$$

4 Определение интегрального показателя безопасности движения

Расчет проводится по формуле (2).

Таким образом, изложенный в данной статье подход дает возможность оценивать и сравнивать безопасность различных маршрутов, планируемых для доставки людских и материальных ресурсов в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций различного характера. Кроме того, с помощью предлагаемого показателя представляется возможным рассмотреть безопасность движения на автомобильных дорогах с позиций системного подхода, учитывая множество влияющих на нее факторов.

Литература

1. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. – Изд. офиц. – Отрасл. дор. метод. док. / Росавтодор Минтранса России. – М., 2002. – 220 с.

2. Кочерга В.Г., Зырянов В.В., А.В. Хачатурян. Планирование и организация грузовых автомобильных перевозок на улично-дорожной сети мегаполисов / Инженерный вестник Дона. 2012, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/869
3. Bovy P., Liaudat C. Large Event Logistical and Support Traffic Management. Abstract and Summary Report. Swiss Federal Institute of Technology at Lausanne. Lausanne, 2003. 23 p.
4. G.H.A. Alnovani, A.I. Diveev, K.A Pupkov, and E.A. Sofronova, “Control Synthesis for Traffic Simulation in the Urban Road Network”. Proc. of the 18th IFAC World Congress, Milano, Italy August 28 – Sept. 2, 2011, pp.2196–2201.
5. Цветкова О.Л., Айдинян А.Р., Долженкова Ю.Ю.. Постановка задачи планирования маршрутов доставки грузов с учетом безопасности транспортировки // Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4663.
6. Ковалев В.В., Эскрива А.М., Ашуркин Б.Г. Организация пассажирских перевозок и обслуживание пассажиров на автомобильном транспорте: учебник. – СПб.: ВАМТО, 2016. – 560 с.
7. Середа П.О. Применение методов экспертной оценки, математического аппарата теории графов и теоретико-игровых концепций для организации своевременного реагирования на возможные чрезвычайные ситуации // Научная мысль Кавказа, 2006. № 8. С. 169 – 172.
8. Стариченков А.Л., Степанов К.В., Хабарова С.Б. Методика оценки безопасности транспортных комплексов: материалы науч.- практ. конф. по безопасности дорожного движения. СПб.: СПбГАСУ, 2006. С. 28 –29.
9. Ширшиков А.С., Павлова Ю.А., Чульмяков И.Ф. Применение систем глобального позиционирования при управлении дорожным



движением // Инженерный вестник Дона, 2016, №4 . URL:
ivdon.ru/ru/magazine /archive/n4y2016/3857

10. Рекомендации по обеспечению безопасности на автомобильных дорогах, М.: ФГУП «РосдорНИИ», 2010. – 269 с.

References

1. Rekomendacii po obespecheniju bezopasnosti dvizhenija na avtomobil'nyh dorogah [Recommendations for ensuring road safety on roads]. Izd. ofic. Otrasl. dor. metod. dok. Rosavtodor Mintransa Rossii. M., 2002. 220 p.

2. Kocherga V.G., Zyrjanov V.V., Hachaturjan A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/869.

3. Bovy P., Liaudat C. Large Event Logistical and Support Traffic Management. Abstract and Summary Report. Swiss Federal Institute of Technology at Lausanne. Lausanne, 2003. 23 p.

4. G.H.A. Alnovani, A.I. Diveev, K.A. Pupkov, and E.A. Sofronova, “Control Synthesis for Traffic Simulation in the Urban Road Network”. Proc. of the 18th IFAC World Congress, Milano, Italy August 28 - September 2, 2011, pp.2196 – 2201.

5. Cvetkova O.L., Ajdinjan A.R., Dolzhenkova Ju.Ju. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4663.

6. Kovalev V.V., Jeskriva A.M., Ashurkin B.G. Organizacija passazhirskih perevozok i obsluzhivanie passazhirov na avtomobil'nom transporte: uchebnik [Organization of passenger transportation and passenger service in road transport: a textbook]. SPb.: VAMTO, 2016. 560 p.

7. Sereda P.O. Nauchnaja mysl' Kavkaza, 2006. № 8. pp. 169 – 172.

8. Starichenkov A.L., Stepanov K.V., Habarova S.B. Metodika ocenki bezopasnosti transportnyh kompleksov: materialy nauch.-prakt. konf. po bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija. SPb.: SPbGASU, 2006. pp. 28 – 29.



9. Shirshikov A.S., Pavlova Ju.A., Chul'mjakov I.F. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3857.

10. Rekomendacii po obespecheniju bezopasnosti na avtomobil'nyh dorogah [Recommendations for ensuring road safety]. M.: FGUP «RosdorNII», 2010. 269 p.