

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗКОЙ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ

И.П. Энглези

*Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования
«Донецкая академия транспорта»*
Российская Федерация, 283086, Донецкая Народная Республика, Донецк, пр. Дзержинского, 7
E-mail: engirina5@mail.ru

Ключевые слова: безопасность движения, дорожная сеть, интенсивность транспортных потоков, функциональное состояние водителя.

Аннотация: Разработка научно-методического подхода к управлению перевозкой опасных грузов путем построения наиболее безопасного маршрута по критерию минимума вероятности возникновения ДТП с отдельным транспортным средством, осуществляющих перевозку таких грузов, с учетом переменных во времени и пространстве параметров и показателей транспортных потоков, элементов дорожной сети и функционального состояния водителя. Данный подход обеспечивает решение научной проблемы повышения безопасности движения в транспортных системах при перевозке опасных грузов.

1. Введение

Доля опасных грузов (ОГ) в мировом грузообороте составляет около 50%. Ежегодно в Российской Федерации объем перевозок ОГ достигает 800 млн тонн, более половины из них перевозятся автомобильным транспортом. Тысячи предприятий производят для нужд экономики ОГ, среди которых газы, легковоспламеняющиеся жидкости, радиоактивные материалы, взрывчатые и токсичные вещества и изделия. По оценкам экспертов, в ближайшее десятилетие объемы перевозок ОГ увеличатся вдвое, что связано с развитием промышленности и оборонно-промышленного комплекса.

Аварии при перевозке ОГ отличаются особой тяжестью последствий и могут быть причинами возникновения чрезвычайных ситуаций. Поэтому наиболее важной проблемой при перевозке таких грузов является повышение безопасности дорожного движения и недопущение возникновения аварий.

Таким образом, в случае перевозки ОГ, когда речь идет о безопасности общества, единственным критерием для построения маршрутов может быть только минимальная вероятность возникновения аварий с транспортным средством, выполняющим перевозку такого груза. По данным статистики дорожно-транспортных происшествий (ДТП), до 85% аварий совершается по вине водителя. Поэтому, рассматривая функции аварийности, необходимо учитывать человеческий фактор, а именно – функциональное состояние водителя, которое в случае перевозки ОГ изменяется по особым закономерностям.

2. Основная часть

Целью исследования является разработка научно-методического подхода к управлению перевозкой ОГ путем построения наиболее безопасного маршрута по критерию минимума вероятности возникновения ДТП с отдельным транспортным

средством с учётом функционального состояния водителя. Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработана математическая модель вероятности возникновения ДТП с отдельным транспортным средством на элементах дорожной сети с учетом текущего времени.

2. Исследовано влияние функционального состояния водителя на время задержки выполнения операций.

3. Исследовано влияние функционального состояния водителя на вероятность возникновения ДТП.

4. Разработана многопараметрическая математическая модель вероятности возникновения ДТП с отдельным транспортным средством на участках дорожной сети с учетом функционального состояния водителя.

5. Разработана методика построения наиболее безопасного маршрута перевозки ОГ по критерию минимума вероятности возникновения ДТП с отдельным транспортным средством на участках и перекрёстках дорожной сети.

На увеличение вероятности возникновения ДТП с отдельным транспортным средством влияют факторы, связанные с дорожными условиями и окружающей средой, интенсивностью движения попутного и встречного транспортных потоков. Получить такую вероятность можно путем построения регрессионной модели, где в качестве переменной отклика – фактическая вероятность при заданных условиях по данным с места ДТП. По экспериментальным данным, полученным путем наблюдения и математической обработки, разработана степенная регрессионная математическая модель, в которой вероятность возникновения ДТП, как функция отклика, зависит от ряда переменных (1).

$$(1) \quad P_{\text{ДТП}} = 3 \cdot 10^{-10} \cdot \overset{\leftarrow}{F}^{0,7} \cdot \vec{F}^{1,2} \cdot k_a \cdot l^{1,1} \cdot H^{-0,9}.$$

где $\vec{F}, \overset{\leftarrow}{F}$ – соответственно интенсивности движения попутного и встречного потоков транспортных средств, авт./ч.; k_a – итоговый коэффициент аварийности, рассчитанный по методу В.Ф. Бабкова; l – длина участка дороги, при $k_a = \text{const}$, км; H – ширина проезжей части, м.

Учитывая, что вероятность возникновения ДТП с отдельным транспортным средством пропорциональна интенсивности потоков, пересекающихся в конфликтной точке при проезде через перекресток, вероятность возникновения ДТП определена по следующей зависимости.

$$(2) \quad P_i = \frac{50 \cdot k_i \cdot M_i \cdot N_i}{k_r \cdot 10^{14}} \cdot \frac{N_{\tau i} + M_{\tau i}}{N_i + M_i},$$

где k_i – коэффициент относительной аварийности конфликтной точки, ДТП на 10 млн. авт.; M_i, N_i – интенсивности транспортных потоков, пересекающихся в конфликтной точке при движении через перекресток, авт./сут.; $N_{\tau i}, M_{\tau i}$ – интенсивности транспортных потоков, пересекающихся в конфликтной точке при движении отдельного транспортного средства через перекресток (за время с зафиксированными значениями интенсивности движения), авт./сут.; k_r – коэффициент годовой неравномерности интенсивности движения.

Функциональное состояние водителя рассматривается как один из наиболее важных факторов, влияющих на безопасность дорожного движения. Были проведены лабораторные исследования по выявлению закономерности влияния функционального состояния водителей на время задержки выполнения ими операций. Для этого применялись современные системы измерения биопотенциалов головного мозга (ЭЭГ) с помощью компьютерного электроэнцефалографа «Нейроком»; измерения электрических явлений, возникающих в сердечной мышце – электрокардиограммы (ЭКГ) с помощью аппаратно-программного комплекса «Кардиосенс».

Перед исследуемым ставилась задача выполнять тест «Корректирующая проба», который был для него основной функцией и главным источником информации. Параллельно исследуемый получал из другого источника дополнительное задание: правильно отвечать на поставленные вопросы, содержащие устные математические расчеты из двух действий. Во время эксперимента проводились видеорегистрация и регистрация ЭЭГ и ЭКГ. Для анализа в каждой пробе выбирались участки, соответствующие времени задержки выполнения основного задания (когда исследуемый приостанавливал выполнение теста «Корректирующая проба», отвлекаясь на поставленные вопросы). Для определения зависимости влияния ритмов ЭЭГ на время задержки выполнения операций разработана многофакторная степенная модель.

Были проведены исследования влияния уровня усталости водителей по показателю активности регуляторных систем ПАРС на время задержки выполнения операций. По экспериментальным данным разработана многофакторная степенная модель зависимости влияния ритмов ЭЭГ и уровней усталости на время задержки выполнения операций.

$$(3) \quad t_3^{\text{общ}} = 2,256 \cdot \beta^{-0,227} \cdot \gamma^{-0,444} \cdot \delta^{0,431} \cdot \theta^{0,103} \cdot \left(\frac{y_3^3}{y_H^3}\right)^{0,063},$$

Для оценки влияния времени задержки выполнения операций водителями на вероятность возникновения ДТП проведены экспериментальные исследования на ранее исследуемых участках дороги, для которых была определена вероятность возникновения ДТП. При движении транспортных средств по данным участкам дороги у водителей проводились замеры ЭЭГ (бета-, гамма-, дельта-, тета-ритмы) и ЭКГ (уровни усталости). Используя формулу (1), (3) и значения экспериментальных данных разработана многопараметрическая нелинейная математическая модель вероятности возникновения ДТП в зависимости от параметров транспортных потоков, дорожных условий с учетом человеческого фактора – времени задержки выполнения операций водителем.

Выполнив процесс моделирования с последующей проверкой на адекватность (средняя ошибка аппроксимации модели составляет 5,31%), разработана многопараметрическая математическая модель вероятности возникновения ДТП с отдельным транспортным средством на участках дорожной сети, которая позволяет учитывать параметры транспортных потоков, дорожные условия и время задержки выполнения операций водителем характеризующее его функциональное состояние.

$$(4) \quad P_{\text{ДТП}} = \frac{2,4 \cdot 10^{-9,83} \left(\frac{\leftarrow 0,71}{F} \rightarrow 0,25 \right) \cdot F^{\rightarrow 1,21} \cdot l \cdot k_a \cdot \delta^{0,022} \cdot \theta^{0,005} \cdot \left(\frac{y_3^3}{y_H^3}\right)^{0,003}}{H \cdot \beta^{0,014} \cdot \gamma^{0,022}}.$$

Для построения наиболее безопасного маршрута перевозки ОГ необходимо определить числовые значения вероятностей возникновения ДТП на участках (4) и перекрестках (2) дорожной сети, построить взвешенный ориентированный граф дорожной сети, разработать наиболее безопасный маршрут движения транспортного средства. Вероятность возникновения ДТП на элементах дорожной сети является функцией 3-х временных характеристик: по времени суток, дням недели, месяцам года. Определение значений вероятностей возникновения ДТП на участках дорожной сети в зависимости от временных характеристик происходит с помощью построения матрицы.

Исходя из теории вероятностей, для решения данной задачи предложена следующая зависимость (5):

$$(5) \quad P_{ij} = 1 - (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \cdot (1 - p_3) \cdot \dots \cdot (1 - p_n),$$

где $(1 - p)$ – вероятность успешного результата.

Определив вероятности возникновения ДТП на элементах дорожной сети, можно получить маршрут движения по критерию безопасности.

Целевая функция (6) имеет вид:

$$(6) \quad P_{ij} \rightarrow \min.$$

Используя данные исследования и выражение целевой функции получена зависимость (7):

$$(7) \quad (1 - (1 - P_{13-1}) \cdot (1 - P_{3-13-2}) \cdot (1 - P_{3-22}) \cdot \dots \cdot (1 - P_{ij-i})) \rightarrow \min.$$

Предложенный научно-методический подход может быть использован для разработки подсистемы ИТС управления транспортным процессом перевозки ОГ путем построения наиболее безопасного маршрута в реальном масштабе времени по критерию минимума вероятности возникновения ДТП с отдельным транспортным средством **на основе цифрового мониторинга переменных во времени и пространстве параметров и показателей транспортных потоков, элементов дорожной сети и функционального состояния водителя в режиме онлайн.**

Список литературы

3. Энглези И.П. Исследование влияния параметров транспортных потоков на вероятность возникновения ДТП // Автомобильная промышленность. 2017. № 9. С. 27-31.
4. Энглези И.П. Повышение безопасности дорожного движения при перевозке опасных грузов // Наука и Техника в дорожной отрасли. 2020. № 2. С. 4-6.
5. Энглези И.П. Определение многофакторной зависимости вероятности возникновения ДТП на участках транспортной сети и в транспортных узлах // Автомобильная промышленность. 2018. № 1. С. 17-20.
6. Энглези И.П. Методика проведения лабораторных исследований влияния функционального состояния водителей на время задержки выполнения операций // Автомобильная промышленность. 2017. № 11. С. 32-36.
7. Энглези И.П. Экспериментальное определение времени задержки выполнения операций водителем // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. № 3. С. 27-29.
8. Энглези И.П. Исследование влияния информационной нагрузки на время задержки выполнения операций водителем // Транспортное дело России. 2017. № 4 (131). С. 82-85.
9. Энглези И.П. Определение зависимости времени задержки выполнения операций водителем от информационной нагрузки // Мир транспорта и технологических машин. 2017. № 3 (58). С. 103-110.
10. Энглези И.П. Определение вероятности возникновения ДТП на участках сети дорог с учётом человеческого фактора // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. № 4. С. 9-11.
11. Энглези И.П. Определение многофакторной зависимости времени задержки выполнения операций водителями // Мир транспорта и технологических машин. 2017. № 4 (59). С. 99-104.
12. Корчагин В.А., Энглези И.П. Анализ методов оценки безопасности дорожного движения с учетом человеческого фактора // Мир транспорта и технологических машин. 2018. № 1 (60). С. 58-66.
13. Dolia V., Englez I. Determine the safe transport of dangerous goods route // Transport Problems. 2015. Vol. 10, Is. 1. P. 31-44.
14. Hahanov V., Gharibi W., Litvinova E., Chumachenko S., Ziarmand A., Englesi I., Gritsuk I., Volkov V., Khakhanova A. Cloud-Driven Traffic Monitoring and Control Based on Smart Virtual Infrastructure // SAE Technical Paper. 2017-01-0092. Detroit, USA. Published 03/28/2017.
15. Litvinova E.I., Englesy I.P., Miz V.A., Shcherbin D. Cloud Infrastructure for Car Service // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2013). Rostov-on-Don, Russia, September 27-30, 2013. P. 77-84.