

**УДК 625.7/.8**

**Смирнова Н.В.**, д-р техн. наук

**ОБГРУНТУВАННЯ МІНІМАЛЬНО БЕЗПЕЧНОЇ ДИСТАНЦІЇ ВІД  
ШВИДКОСТІ РУХУ ТА ДОРОЖНІХ УМОВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ  
ЗАВДАНЬ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ**

**Анотація.** У статті наведено основні положення щодо аналізу дистанцій та інтервалів між автомобілями. Виконано моделювання руху транспортних потоків та дослідження його пропускної здатності. Реалізовано уточнення моделі розподілу інтервалів для оцінки можливості виконання обгонів, що необхідно для моделювання транспортних потоків на ділянках доріг з різними дорожніми умовами на двохсмугових дорогах. Приведені результати моделювання.

**Ключові слова:** Автомобільна дорога, дистанція, інтервал між автомобілями, пропускна здатність, транспортні діаграми.

**UDC 625.7/.8**

**Smirnova N.**, Dr. Tech. Sci.

**JUSTIFICATION OF MINIMALLY SAFE DISTANCE FROM THE SPEED  
OF MOTION AND ROAD CONDITIONS FOR SOLVING THE PROBLEM  
PASSAGE TASKS**

**Abstract.** The analysis of distances and intervals between cars was performed. Modeling of traffic flow and the research of its capacity was done. The number of intervals sufficient to perform a variety of overtaking maneuvers, integration into transit traffic at crossroads or at merge of the bands and so on, defines speed modes of individual vehicles and traffic in general, determines the capacity of individual road sections including ability to perform such maneuvers. The purpose of this article is to refine the model of intervals distribution to assess the possibility of the overtaking, that is necessary to simulate the traffic flow on the road sections with different road conditions on two-lane roads. Normalization of minimal visibility of the road, to substantiate the minimal radius of vertical convex curves to justify design decisions

when designing roads was performed. In practice these driving distances are considered as an optimal ones, following the criteria of efficiency and safety: large distance reduces the capacity of roads and causing drivers behind you, the desire to go to overtake, making it difficult to move, and less distance leads to the danger of collision with vehicles in their sudden stop. To solve these problems, one usually uses the laws of probability distribution of intervals between cars in the flow. Intervals distribution model refinement implemented to assess the possibility of the overtaking, which is necessary for the simulation of traffic flow on the road sections with different road conditions on two-lane roads. The results of simulation were represented.

**Keywords:** road, distance, interval, capacity, traffic diagrams.

**УДК 625.7/.8**

**Смирнова Н.В.**, д-р техн. наук

### **ОБОСНОВАНИЕ МИНИМАЛЬНО БЕЗОПАСНОЙ ДИСТАНЦИИ ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ И ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ**

**Аннотация.** В статье приведены основные положения анализа дистанций и интервалов между автомобилями. Выполнено моделирование движения транспортных потоков и исследования пропускной способности. Реализовано уточнение модели распределения интервалов для оценки возможности выполнения обгонов, что необходимо для моделирования транспортных потоков на участках дорог с разными дорожными условиями на двухполосных дорогах. Приведены результаты моделирования.

**Ключевые слова:** Автомобильная дорога, дистанция, интервал между автомобилями, пропускная способность, транспортные диаграммы.

**Актуальность** исследований моделирования транспортных потоков на двухполосных дорогах общего пользования, подтверждена анализом их протяженности: в дорожной сети Украины протяженность двухполосных дорог составляет чуть менее 90 % от общего количества, а многополосных всего 1,6 %; однополосных дорог V категории около 9 %. Моделирование движения транспортных потоков и исследования его пропускной способности невозможно

без анализа дистанций и интервалов между автомобилями. Интервалы между автомобилями в потоке неравномерные во времени и в пространстве. Количество интервалов, достаточных для выполнения разных маневров обгона, встраивания в транзитный поток на перекрестках или при слиянии полос и тому подобное, определяет скоростные режимы отдельных автомобилей и транспортных потоков в целом, определяет величину пропускной способности отдельных участков дорог с учетом возможностей выполнения отмеченных маневров. В решении этих задач используются закономерности распределения вероятностей интервалов между автомобилями в потоке.

В любой точке дороги и в любой момент времени интервалы между автомобилями распределены стохастически. Проще было бы моделировать движение потока при постоянных интервалах. Именно такой традиционный подход известен при расчетах пропускной способности при проектировании дорог. При этом считают, что все автомобили потока двигаются с постоянной скоростью и с постоянными дистанциями и интервалами [4, 7].

Такая «колонная» модель потока абсолютно не соответствует структуре потока при интенсивностях меньше пропускной способности. Реальный поток при таких интенсивностях неоднородный по скоростным характеристикам и неравномерный во времени и в пространстве. Кроме того, при постоянных интервалах лишь в отдельные редкие дни организованного движения улучшается регулярность потока, однако полной синхронности движения автомобилей не отмечается.

Для анализа дистанций необходимо в плане дороги мгновенно зафиксировать поток автомобилей (например, на аэроснимке); для анализа интервалов достаточно фиксировать секундомером моменты пересечения автомобилями контрольного створа, перпендикулярного осе дороги на избранном участке. При интенсивности потока  $Q$  авт/ч средний интервал между автомобилями  $t_{cp}=3600/Q$  с. При известном количестве автомобилей на участке 1 км - плотности потока  $R$  (авт/км) средняя дистанция  $l_{cp} = 1000/R$  м.

Минимально безопасные дистанции и интервалы формируются при плотном прохождении автомобилей друг за другом.

Минимально безопасную дистанцию  $l_0$  называют динамическим габаритом - виртуальная длина автомобиля при движении, которая включает статичный габарит и зазор безопасности  $l_{бд}$ .

С минимально безопасной дистанцией (БД)  $l_{бд}$  связано понятие динамического габарита автомобиля  $l_0$ . Водитель должен соблюдать БД для обеспечения безопасного движения за впереди идущим автомобилем, и может её уменьшать лишь при маневрах смены полосы для выполнения обгона. Величина БД, главным образом, зависит от скорости движения, времени реакции водителя и сцепных свойств проезжей части. Если по мере приближения к впереди идущему автомобилю фактическая дистанция до него становится меньше величины БД, выбранной ранее водителем, то он вынужден снижать скорость и тем самым корректировать БД для обеспечения безопасного движения. Таким образом, БД в совокупности со статическим габаритом  $l_a$  – это как бы виртуальная длина автомобиля при движении, его динамический габарит  $l_0$ . С уменьшением скорости величина БД сокращается и достигает минимальной дистанции запаса  $l_{зап}$  в заторах. Поэтому максимальную плотность потока можно определить величиной  $R_{max} = 1000/(l_a + l_{зап})$  авт/км. Согласно рекомендациям [10] и практике безопасного вождения расстояние  $l_{зап}$  до переднего автомобиля должно быть не менее 1-1.5 м, а между автобусом или троллейбусом и грузовым автомобилем) большой грузоподъемности — не менее 3-4 м.

Режим движения потока с дистанциями, равными динамическому габариту  $l_0$  – это режим пропускной способности с интенсивностью  $Q_{max}$ . Очевидно, что пропускной способности соответствует плотность потока  $R_m = 1000/l_0$ . Так как величина  $l_0$  зависит от скорости, то и пропускная способность  $Q_{max}$  и соответствующая ей плотность потока  $R_m$  также зависят от скорости потока.

В общем случае дистанция между автомобилями – это сумма динамического габарита  $l_0$  и свободной дистанций  $l_{св}$ . При известных средних значениях  $l_0$  и  $l_{св}$  плотность потока

$$R = 1000 / (l_0 + l_{св}) \text{ авт/км} \quad (1)$$

или

$$r = 1 / (l_0 + l_{св}) \text{ авт/м.} \quad (2)$$

Каждой дистанции в пространстве соответствует интервал во времени по известной зависимости (принимая постоянной скорость  $v$  прохождения дистанции)  $t = l/v$ , с теми же индексами: минимально безопасный интервал  $t_{бд}$ , динамический габарит  $t_0$ , свободный интервал  $t_{св}$  и т.д. В дальнейшем будем полагать, что для любого автомобиля в любой точке дороги и в любой момент

времени лишь свободный интервал  $t_{св}$  является случайной величиной; все остальные присущие автомобилю интервалы (и соответствующие дистанции) функционально зависят от скорости движения и показателей дорожных условий.

Динамический габарит  $l_0$  чаще всего [1] оценивают по расстоянию  $S_0$ , которое проходит автомобиль до полной остановки перед препятствием и такие же оценки используют для нормирования минимального расстояния видимости дороги, для обоснования минимальных радиусов вертикальных выпуклых кривых, для обоснования конструктивных решений при проектировании дорог и тому подобное. По существу, такой же подход положен в основу экспертных расчетов при расследовании ДТП [1, 6]:

$$S_0 = S_p + S_2 + S_3 + S_4, \quad (3)$$

где  $S_2$  – путь, пройденный за время запаздывания срабатывания тормозной системы,

$S_3$  – путь, пройденный за время нарастания замедления  $j$  до максимального,

$S_4$  – путь движения юзом с максимальным замедлением  $j$ .

При проектировании дорог тормозной путь рассчитывают из того условия, что кинетическая энергия  $mv^2$  в начале торможения полностью расходуется на работу  $S_T(P_{mk}+P_i+P_f+P_w)$  сил сопротивления движению на пути торможения, что дает  $S_T=v^2/(2g(\varphi+i+f))$ . При экспертизе ДТП путь движения юзом, как неуправляемого движения с заблокированными колесами, рассчитывают из условия равнозамедленного движения до остановки с замедлением  $j$  что дает  $S_{ю}=v^2/(2j)$ . Величину расчетного максимального замедления  $j_{max}$  при ДТП оценивают из равенства силы инерции  $mj$  силе сцепления колес с проезжей частью  $\varphi G$  ( $m$  и  $G$  – масса и вес автомобиля), что дает  $j_{max} = \varphi g$ .

Практикуемые оценки динамического габарита  $l_0$  по остановочному пути  $S_0$  не соответствуют ситуациям движения автомобилей в потоке:

- во-первых, зависимости типа (2) определения расстояния  $S_0$ , которое проходит автомобиль к полной остановки перед препятствием основаны на полном использовании сцепных свойств проезжей части и максимальном замедлении автомобиля (случай экстренного торможения), а при движении в потоке при взаимодействии с другими автомобилями водитель практически всегда использует служебное торможение с частичным использованием сцепных свойств и замедлением  $j$  в 2-5 раз меньше максимально возможного  $j_{max}$ ;

• во-вторых, зависимости типа (3) предусматривают полную остановку автомобиля, а при движении в потоке полная остановка предусмотрена только за пределами транзитной полосы движения или в экстренных случаях ДТП или при плотности потока, близкой к насыщению (затору);

• в-третьих, в зависимостях типа (3) препятствие неподвижное, но при движении в потоке водитель реагирует на движущийся впереди автомобиль и на режим его движения, и если передний автомобиль тормозит, то и следующий за ним – тоже, то есть автомобили тормозят совместно.

С учетом изложенного, для оценки величины динамического габарита  $l_0$  исследован массовый случай, когда автомобиль догнал впереди идущего и для безопасного движения водитель принял дистанцию  $l_{бд}$  от бампера своего автомобиля до заднего бампера впереди идущего автомобиля. Таким образом, при скорости  $v$  (м/с) динамический габарит

$$l_0 = l_a + l_{бд} = l_a + vt_{бд}. \quad (4)$$

Величину безопасной дистанцией  $l_{бд}$  (равной  $vt_{бд}$ ) водитель принимает такой, чтобы не «прозевать» момент торможения впереди идущего автомобиля, то есть, водитель реагирует на «стоп-сигналы» так, чтобы не запоздать с необходимым торможением. Согласно такой общепринятой практике вождения время движения по отрезку динамического габарита – это минимально безопасный интервал  $t_0$  во времени между автомобилями в потоке, то есть,

$$t_0 = l_a / v + t_{бд}. \quad (5)$$

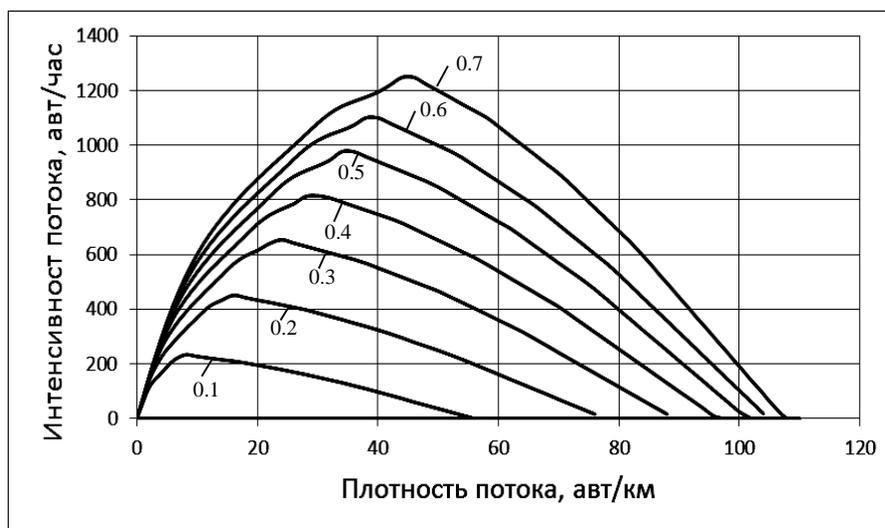
Величину безопасного интервала  $t_{бд}$  и безопасной дистанции  $l_{бд}$  оценим также согласно известным рекомендациям по практике безопасного вождения и одновременного (с учетом реакции на «стоп-сигналы») торможения с передним автомобилем. При сухом покрытии рекомендуется держать дистанцию в метрах, равную половине скорости в километрах, то есть принимать  $l_{бд} = v \cdot 3.6/2$  и тогда  $t_{бд} = l_{бд} / v \approx 2$  с; при загрязненном и мокром покрытии рекомендуется держать дистанцию в метрах, равную скорости в километрах, то есть  $t_{бд} \approx 4$  с; при скользком покрытии, гололеде держать дистанцию, равную удвоенной скорости в километрах, то есть  $t_{бд} \approx 8$  с. В практике вождения отмеченные дистанции считаются оптимальными по критериям эффективности и безопасности движения [7].

Изложенные особенности формирования дистанций и интервалов в потоке приняты как исходные для построения транспортных диаграмм и расчетов

пропускной способности двухполосных дорог при разных сцепных свойствах проезжей части [3].

Исходными данными примера моделирования стационарного режима служат характеристики скорости свободного движения [7].

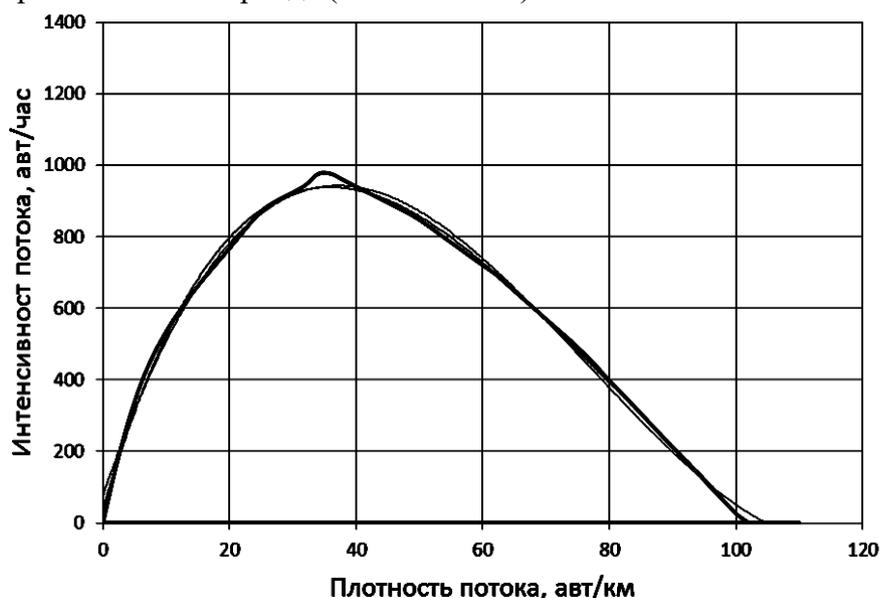
Все транспортные диаграммы при коэффициенте сцепления от 0,1 до 0,7, приведенные на рис. 1, показывают существенное снижение пропускной способности с ухудшением сцепных свойств проезжей части дороги [7].



**Рисунок 1** – Транспортные диаграммы при стационарном режиме потока. Цифры – коэффициенты сцепления

Построение линии тренда, например, в данном примере для  $\phi=0.5$  на рис. 2, и её описание полиномом 6-ой степени  $y = -4E-09x^6 + 1E-06x^5 - 0,0002x^4 + 0,0167x^3 - 1,4494x^2 + 61,602x + 35,123$  не добавляют существенной информации к закономерностям транспортных потоков, полученным по результатам моделирования.

Рисунок 2 – Диаграмма и линия тренда (тонкая линия)



Таким образом на основании результатов моделирование движения транспортных потоков и исследования пропускной способности реализовано уточнение модели распределения интервалов, что необходимо для моделирования транспортных потоков на участках дорог с различными дорожными условиями на двухполосных дорогах.

### Литература

1. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1982. – 288 с.
2. Безбородова Г.Б. Моделирование движения автомобиля. / Безбородова Г.Б., Галушко В.Г. – Киев: Высшая школа, 1978. - 168 с.
3. Бельский А.Е. Расчеты скоростей движения на автомобильных дорогах / Бельский А.Е. – М.: Транспорт, 1966. – 122 с.
4. Гук В.І. Транспортні потоки: теорія та її застосування в урбаністиці / Гук В.І., Шкодовський Ю.М. – Харків, Золоті сторінки, 2009, – 202 с.
5. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Дрю Д. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
6. Илларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий / Илларионов В.А. – Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
7. Филиппов В.В. Моделирование транспортных потоков на дорогах II – IV категорий: монография / Филиппов В.В., Смирнова Н.В. – М.: ХНАДУ, 2014. – 200 с.
8. Циганков Е.С. Золоті правила безпечного водіння / Циганков Е.С. – Вид-во «Ексмо».

#### Рецензенти:

Павлюк Д.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.  
Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП "ДерждорНДІ".

#### Reviewers:

Pavliuk D.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.  
Nahaichuk V.M. Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: 28.06.2017 р.