

Боровской А. Е., канд. техн. наук, доц.,  
Шевцова А. Г., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## МАКСИМАЛЬНАЯ ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЛОСЫ ПРИ ПОВОРОТНОМ МАНЕВРЕ

shevcova-anastasiya@mail.ru

С каждым годом количество транспортных средств на дорогах увеличивается очень высокими темпами, причем организация дорожного движения в основном остается на неизменном уровне. С ростом интенсивности в городах, так же наблюдается изменение состава основного потока автомобилей, которые отличаются, как и мощностными характеристиками, так и габаритными параметрами. Данные факторы будут оказывать влияние на организацию дорожного движения, а точнее методы расчеты, используемые при выборе той или иной схемы движения. В работе детально рассмотрено как будет изменяться максимальная пропускная способность полосы при поворотном маневре с использованием габаритных параметров всех известных классов легковых автомобилей.

**Ключевые слова:** пропускная способность, поток насыщения, габаритная длина, класс легкового автомобиля, радиус поворота.

При расчете режима работы светофорного объекта на вновь проектируемом или существующем пересечении, особое внимание уделяется понятию «пропускная способность». В зарубежных источниках дается следующее определение рассматриваемой величины, так в руководстве HCM 2000 под пропускной способностью ( $P$ ) понимается максимально устойчивая интенсивность движения, при которой транспортный или пешеходный поток пересекает определенное сечение дороги при конкретном режиме регулирования, геометрических особенностях пересечения и других специфических условиях движения [6]. Профессор McShane института в Нью-Джерси (штат США), определяет пропускную способность подхода к перекрестку как максимальную интенсивность движения транспортного потока на рассматриваемом подходе при преобладающих условиях регулирования, а также геометрических условиях и сложившейся транспортной ситуации [7]. В российских изданиях, например под редакцией Булавиной Л.В. [3], пропускной способностью полосы улиц и дорог регулируемого движения называется зависящее от условий и организации движения максимальное количество транспортных средств, проходящих по полосе в течение одного часа в одном направлении при соблюдении условий безопасности движения.

В любом случае, как бы мы не давали определение, пропускная способность зависит от большого числа факторов:

1. дорожных условий (ширины проезжей части, продольного уклона, радиуса кривых в плане, расстояния видимости и др.),
2. состава потока автомобилей,
3. наличия средств регулирования,
4. погодных-климатических условий,
5. возможности маневрирования автомобилей по ширине проезжей части,
6. психофизиологических особенностей водителей и конструкции автомобилей.

Изменение из этих факторов приводит к существенным колебаниям пропускной способности в течение суток, месяца, сезона и года. При частом расположении помех на дороге происходят значительные колебания скорости, приводящие к появлению большого числа автомобилей, движущихся в группах, а также снижению средней скорости всего потока.

Основополагающей характеристикой в процессе анализа и проектирования регулируемого пересечения, является *поток насыщения* ( $M_n$ ). Физический смысл данной величины, понимается как максимальная пропускная способность полосы в одном направлении, из можно сделать вывод, что данная величина будет зависеть также от большого числа факторов, аналогичных тем, от которых зависит и сама пропускная способность.

$$M_n = P_{max} \quad (1)$$

Попытаемся детально рассмотреть влияние дорожных условий, в частности радиуса поворота и состава потока автомобилей на величину потока насыщения.

Определение длительности цикла и основных тактов регулирования основано на сопоставлении фактической интенсивности движения на подходах к перекрестку и пропускной способности (потокам насыщения) этих подходов.

Для случая движения в прямом направлении по дороге без продольных уклонов поток насыщения рассчитывают по эмпирической формуле [5], которая связывает этот показатель с шириной проезжей части, используемой для движения транспортных средств в данном направлении рассматриваемой фазы регулирования:

$$M_{n, \text{прямое}} = 525 \cdot B_{\text{пч}} \quad (2)$$

где  $M_{n, \text{прямое}}$  – поток насыщения, ед/ч;  $B_{\text{пч}}$  – ширина проезжей части дороги в данном направлении движения м.

В данной формуле, подразумевается, что величина максимальной пропускной способность будет изменяться только лишь от ширины проезжей части, и не принимается в учет скорость движения потока, а самое главное различность классов легковых автомобилей. В ранее написанных статьях [2,7], был произведен детальный анализ изменения потока насыщения в зависимости от класса легкового автомобиля для движения прямо.

Если в определенном направлении движения через перекресток имеется возможность организации выделенного поворотного маневра, то поток насыщения в этом случае зависит от радиуса поворота  $r$  и может быть определен с помощью следующего выражения [6]:

$$M_n = \frac{1800}{1 + \frac{1,525}{r}} \quad (3)$$

Используя данное выражение, под радиусом поворота ( $r$ ) зачастую принимают радиус закругления проезжей части ( $R_{пн}$ ), не учитывая тем самым специфику поворота автомобиля и самое главное траекторию совершения маневра. Так же в данной формуле не отводится должного внимания тому, автомобиль какого класса совершает поворот и с какой скоростью. В связи с этим выведем основные дополнения по данной формуле:

1. Четкое геометрическое определение радиуса поворота, при совершении право- и левоповоротного маневра.

2. Ограничение скорости выполнения маневра. Данный критерий является одним из наиболее важных, т.к. выполняя поворот, водитель снижает скорость движения и выбирает наиболее безопасную траекторию движения, с целью уменьшения возможности выезда на встречную полосу движения.

3. Определение дистанции безопасности до впереди идущего автомобиля при выполнении маневра, с учетом его габаритной длины.

После определения дополнений по формуле 3, выведем формулу для определения поворотного потока насыщения, с использованием недостающих величин.

Вывод полученных формул был основан на аналитической геометрии на плоскости (см. рис. 1) [4].

Предполагается, что автомобиль совершает поворот при определенном радиусе  $R_{нов}$ . Согласно рис. 1  $R_{нов} = OC = OE$ , следовательно, при повороте автомобилю так же необходимо будет соблюдать дистанцию безопасности, которая будет зависеть от угла поворота. Тогда динамический габарит автомобиля, будет сводиться к определению длины дуги. Зная значение хорды  $AC$ , в нашем случае это динамический габарит, и угол поворота, можно точно определить дина-

мический габарит автомобиля при совершении поворотного маневра, соответствующего радиуса.

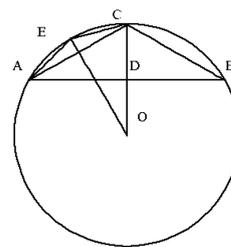


Рис. 1. Окружность с центром  $O$ , с соответствующего радиуса  $OC$

В зависимости от радиуса поворота, определенный поворотный участок могут пересечь в течение часа строго определенное количество легковых автомобилей различных классов. Поток насыщения при поворотном маневре, в зависимости от класса легкового автомобиля и радиуса поворота, будет определен по следующим формулам:

1. Определение динамического габарита при повороте автомобиля:

$$L_{днов} = R_{нов} * \angle нов \quad (4)$$

где  $R_{нов}$  - радиус поворота транспортных средств, м.  $\angle нов$  - угол поворота, рад.

2. Определение угла поворота:

$$\angle нов = \arcsin\left(\frac{L_д}{R_{нов}}\right) \quad (5)$$

где  $L_д$  - динамический габарит, м.

3. Определение динамического габарита, м.:

$$L_д = L_a + D \quad (6)$$

где  $L_a$  - габаритная длина легкового автомобиля, определенного класса, м.;  $D$  - дистанция безопасности до впереди идущего автомобиля, м. [1].

4. Определение дистанции безопасности до впереди идущего автомобиля, м.:

$$D = T * g + (g^2 / 2 * j_3) \quad (7)$$

где  $T$  - время торможения, сек.;  $g$  - скорость движения автомобиля, м./сек.;  $j_3$  - величина установившегося замедления, м./сек<sup>2</sup> [1].

5. Определение времени торможения:

$$T = T_1 + T_2 + 0,5 \cdot T_3 \quad (8)$$

где  $T_1$  - время реакции водителя, сек. ( $T_1 = 0.75$  сек.);  $T_2$  - время срабатывания тормозного привода, сек. ( $T_2 = 0.35$  сек.);  $T_3$  - время нарастания замедления, сек. ( $T_3 = 0.15$  сек.) [1].

6. Определение времени прохождения сечения дороги, сек.:

$$t_{nc} = L_{днов} / g \quad (9)$$

7. Определение потока насыщения при поворотном маневре, ед./час:

$$M_{н.пов} = 3600 / t_{nc} \quad (10)$$

Произведем расчет максимальной пропускной способности правоповоротной полосы с использованием классической формулы (3), и полученных формул (4-10). Предположим, что радиус поворота автомобиля ( $R_{пов}$ ) равен 15 м.

1. Расчет по классической формуле (3):

$$M_n = \frac{1800}{1 + \frac{1,525}{15}} = 1636 \text{ ед./час}$$

2. Расчет по полученным формулам (4-10):

- 2.1. Для автомобиля класса «А»:  $L_a = 3,49$  м.,  $M_n = 1434$  ед./час;
- 2.2. Для автомобиля класса «В»:  $L_a = 3,75$  м.,  $M_n = 1390$  ед./час;
- 2.3. Для автомобиля класса «С»:  $L_a = 4,34$  м.,  $M_n = 1295$  ед./час;
- 2.4. Для автомобиля класса «D»:  $L_a = 4,67$  м.,  $M_n = 1245$  ед./час;

2.5. Для автомобиля класса «Е»:  $L_a = 4,81$  м.,  $M_n = 1224$  ед./час;

2.6. Для автомобиля класса «F»:  $L_a = 5,13$  м.,  $M_n = 1178$  ед./час.

Определение максимальной пропускной способности полосы с известным радиусом поворота, с использованием формул 4-10, было сведено к определению искомой величины для каждого из известных классов легковых автомобилей, для минивэнов и внедорожников, расчет не производился, т.к. у автомобилей данного класса габаритная длина в основном совпадает с длиной автомобиля класса «F». Используя в расчетах габаритную длину автомобиля каждого класса, можно также выявить скорость движения поворотного потока, при которой будет обеспечена максимальная пропускная способность. Зависимость значения поворотного потока насыщения при известном радиусе поворота и скорости движения потока, наглядно отражена на рисунке 2.

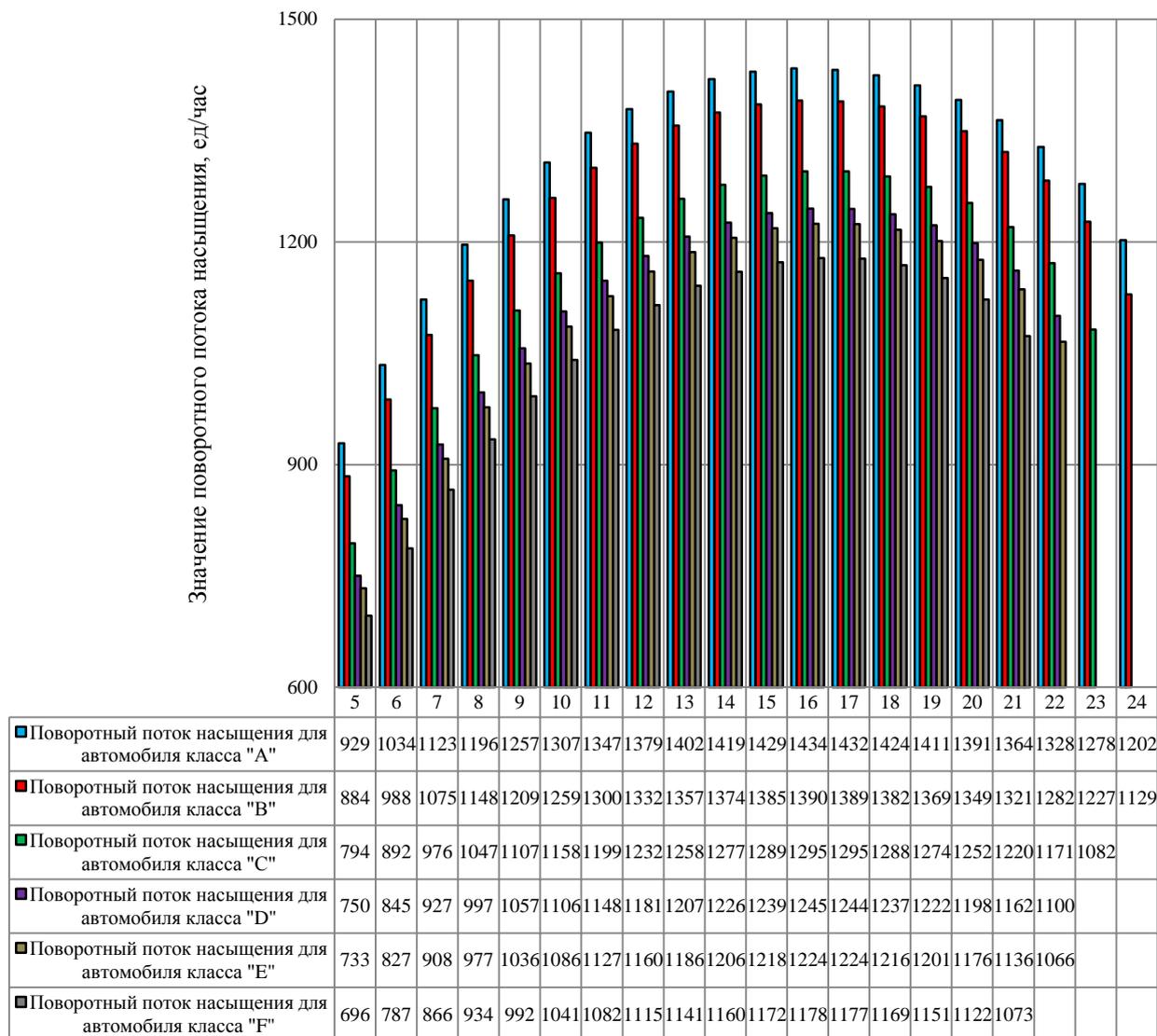


Рис. 2. Гистограмма зависимости поворотного потока насыщения от скорости движения транспортного потока при средней скорости 16 км/ч., так среднее значение потока насыщения будет составлять 1294 ед./час, это с условием того что процентное со-

отношение каждого класса автомобиля не известно. При использовании коэффициентов распределения по классам легковых автомобилей, полученное значение будет изменяться в большую или меньшую сторону. Так, например, предполагая, что основную часть поворотного потока составляют легковые автомобили класса «А», произведя расчеты по полученным формулам, мы говорим, что максимальная пропускная способность (поток насыщения) будет равняться 1434 ед./час. Если же преобладающим автомобилем будет автомобиль класса «С», данное значение будет снижаться до 1295 ед./час. В любом случае, для какого бы автомобиля не было получено значение, оно позволяет нам произвести расчет с использованием ранее отмеченных замечаний по классической формуле, а именно принять в учет:

1. Специфику поворотной полосы;
2. Дистанцию безопасности при выполнении маневра;
3. Технологическую характеристику автомобиля, совершающего поворот.

Полученное значение поворотного потока насыщения, отличается от значения классического на 342 автомобиля или на 21%. Разница в полученных значениях довольно существенна и свидетельствует о несостоятельности классического определения поворотного потока насыщения, т.к. в расчете не отражаются все недостающие величины, отмеченные ранее в замечаниях.

В начале статьи подробно были рассмотрены определения величины пропускной способности, а так же факторы от которых она зависит. Выведенные формулы (4-10) позволяют определить величину максимальной пропускной способности (потока насыщения) с учетом перечисленных факторов, а именно:

1. Геометрической характеристики поворотного участка (радиуса закругления проезжей части (ПЧ), радиуса поворота ТС -  $R_{пов}$ ).

2. Составы потока автомобилей, точнее выявление наиболее часто встречающегося автомобиля в потоке и расчет поворотного потока насыщения, согласно его технологическим параметрам и характеристикам.

При реализации мероприятий по обеспечению безопасности дорожного движения на фоне существующих проблем обусловленных увеличением количества автотранспортных средств в стране, а, следовательно, и увеличением интенсивности дорожного движения, особая роль принадлежит техническим средствам организации движения. Из них светофорное регулирование является одним из основных средств обеспечения безопасности движения на перекрестках [9]. Количество перекрестков оборудуемых светофорным регулированием в городах с большим уровнем автомобилизации постоянно увеличивается. Поэтому, при использовании таких

средств регулирования дорожного движения, как светофор, особое внимание уделяется режиму его работы, а именно длительности разрешающего и запрещающего сигнала [8]. В дальнейших работах рассмотрим влияние полученные значения при использовании столь детально анализа движения, на расчетные данные при определении режима работы светофорного объекта. Позволит ли новый подход обеспечить более длительный пропуск транспортных средств на разрешающий сигнал, тем самым увеличить пропускную способность полосы, а так же сократить время простоя и величину задержек автомобилей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афанасьев, Л.Л., Конструктивная безопасность автомобиля: Учебное пособие / Л.Л. Афанасьев, А.Б., В.А. Иларионов. – М.: Машиностроение, 1983. – 212с.
2. Боровской, А.Е. Реальный поток насыщения в зависимости от класса легкового автомобиля / А.Е. Боровской, А.Г. Шевцова // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: сб. материалы VII международной науч.-тех. конф., Пенза, 16-18 мая 2012 г. / Пензенский гос. ун-т архитектуры и строительства – Пенза: изд-во АДИ ПГУАС, 2012. С. 244-250. – ISBN 978-5-9282-0782-3
3. Боровской, А.Е. Транспортная проблема и различные сферы деятельности / А.Е. Боровской, А.С. Остапко, А.Г. Шевцова // Перспективы инноваций в науке, образовании и транспорте 2012: сб. научных трудов Sword по материалам междунар. науч.-практ. конф., Одесса, 19-30 июня 2012 г. / Выпуск 2. Том 1.- Одесса: изд-во Куприенко СВ, 2012. – ЦИТ: 212-367 С. 72-79.
4. Булавина, Л.В. Расчет пропускной способности магистралей и узлов: Учебное пособие / Л.В. Булавина. – Уральский гос. техн. ун-т. – Екатеринбург: изд-во УГТУ, 2009. – 267 с.
5. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. - М.: Астрель: АСТ, 2002. - 992 с.: ил. - ISBN 5-17-012238-1; 5-271-03651-0.
6. Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, – МИКЦ «Академкнига», 2005 – 279 с.
7. Новиков, И.А. Влияние изменения задержек транспортных средств на количество режимов работы светофорного объекта / И.А. Новиков, А.Г. Шевцова // журнал «Мир транспорта и технологических машин» / Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс – Орел: изд-во ОГТУ. - 2011. - №4 - С. 62-68.
8. Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 2000.–С 122.
9. McSchane, W. and Roess R. Traffic engineering // Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.–С 312.