

Н. Н. Дудникова, канд. техн. наук, В. И. Кондрашева

Автомобильно-дорожный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет»
в г. Горловка

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАСЧЕТА ПРОПУСКНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ПОЛОС ПЕРЕГОНА ГОРОДСКОЙ УЛИЦЫ

Разработаны методики расчета пропускных способностей первой и второй полос перегона городской улицы. В методиках учтены: скорости свободного движения транспортных средств по полосам; максимальные плотности движения транспортных средств по полосам; средние и максимальные интенсивности движения пешеходных потоков в условиях наличия наземных пешеходных переходов; средние плотности движения транспортных потоков по полосам; характеристики маневрирования транспортных средств в условиях смены полосы движения; характеристики маневрирования транспортных средств в условиях объезда транспортного средства, стоящего у края проезжей части первой полосы; характеристики кинематики движения транспортных средств при выполнении правого поворота для первой полосы и при выполнении левого поворота для второй полосы.

Ключевые слова: методика расчета, пропускная способность дороги, полоса движения дороги, маневр автомобиля, перегон дороги

Постановка проблемы

Рост интенсивности движения на улицах современных городов приводит к необходимости принятия существенных мер к увеличению пропускной способности соответствующих перегонов. Основным мероприятием по увеличению пропускной способности перегонов городских улиц является строительство дополнительных полос движения. Зачастую указанное строительство связано с организацией второй полосы движения в одном направлении для двухполосной городской улицы и ее превращения в улицу с четырьмя полосами движения.

Интенсивное маневрирование транспортных средств при выполнении поворотов направо, налево и остановки у края проезжей части приводят к созданию индивидуальных условий движения по первой и второй полосам перегона улицы. Очереди транспортных средств, как подвижные, так и неподвижные, приводят к снижению пропускной способности полос и улицы, к формированию ударных волн в транспортном потоке и образованию заторов. Указанное раскрывает актуальность и необходимость совершенствования существующей методики назначения пропускной способности соответствующих полос движения городских улиц до уровня расчетной методики, учитывающей индивидуальные особенности маневрирования транспортных средств в пределах конкретного перегона улицы.

Анализ последних исследований и публикаций

Анализ исследований [1–10] показал, что эффективность улично-дорожной сети города при пропуске транспортных средств определяется двумя основными факторами: пропускной способностью перегонов и перекрестков улиц. Пропускная способность перегонов городских улиц является основой в построении улично-дорожной сети города.

Пропускная способность многополосного движения на городских улицах формируется неравномерно. Уменьшение пропускной способности каждой последующей полосы осуществляется от крайней правой. Основным фактором снижения пропускной способности указанных полос являются маневры транспортных средств по смене полосы движения.

Целью исследования является разработка методик расчета пропускных способностей первой и второй полос перегона городской улицы.

Изложение основного материала исследования

Понятие пропускной способности перегона городской улицы принимаем как максимальное часовое количество людей или транспортных средств, которые, как ожидается, способны пересечь точку или однородную секцию полосы или проезжей части в течение заданного периода времени при доминирующих дорожно-транспортных условиях и условиях управления. При этом подразумевается, что влияние последующих участков отсутствует [1–10].

При определении пропускной способности необходимо учитывать основные положения гидродинамической теории транспортного потока и положения закона сохранения «количества транспортных средств». Исходя из указанных положений при определении пропускной способности учитываем следующие аспекты: транспортный поток, как совокупность транспортных средств, движущихся по дороге, необходимо разделять по полосам движения; между полосами движения присутствует возможность перестроения транспортных средств; по каждой полосе существует ограничение максимальной скорости движения транспортных средств; по каждой полосе существует ограничение движения отдельных типов транспортных средств; по крайней правой полосе может быть разрешено перестроение в рамках придорожных сооружений; по каждой полосе движения присутствует возможность взаимодействия с пешеходным потоком.

Положения гидродинамической теории транспортного потока и закона сохранения «количества транспортных средств» позволяют также описывать формирование пропускной способности перегона улицы в виде суммирования и вычитания значений при учете каких-либо маневров вне полос движения.

В зависимости, представленной в [4], произведение скорости движения одиночных транспортных средств по конкретной полосе на рассматриваемом участке дороги и соответствующей максимальной плотности транспортного потока дает предельное, гипотетическое, значение пропускной способности полосы движения, которое необходимо уменьшить:

- на составляющую, связанную с восприятием водителями движения пешеходов;
- на составляющую, связанную с возможностью перестроения транспортных средств на соседнюю полосу;
- на составляющую, связанную с подвижными и неподвижными очередями на полосах при поворотах налево;
- на составляющую, связанную с подвижными и неподвижными очередями на полосах при поворотах направо;
- на составляющую, связанную с подвижными и неподвижными очередями на полосах при поворотах на стоянке;
- на составляющую, связанную с наличием пешеходных переходов на протяженности перегонов.

Соответственно для первой и второй полосы получим формулы:

$$P_1 = V_{с\epsilon 1} \cdot q_{\max 1} - \Delta P_{\epsilon 1} + \Delta P_{сн 1} - \Delta P_{мн} - \Delta P_{сн} ; \quad (1)$$

$$P_2 = V_{с\epsilon 2} \cdot q_{\max 2} - \Delta P_{\epsilon 2} + \Delta P_{сн 2} - \Delta P_{лн} , \quad (2)$$

где P_1 , P_2 – максимальные теоретические пропускные способности первой (правой) и второй (левой) полос движения на перегоне городских улиц;

$\Delta P_{\epsilon 1}$, $\Delta P_{\epsilon 2}$ – уменьшения пропускной способности полос, связанные с восприятием водителями движения пешеходов;

$\Delta P_{сн 1}$, $\Delta P_{сн 2}$ – увеличения пропускной способности полос, связанные с возможностью перестроения транспортных средств на соседнюю полосу;

$\Delta P_{мн}$ – уменьшение пропускной способности первой полосы движения, связанное с маневрами транспортных средств при повороте направо;

ΔP_{cm} – уменьшение пропускной способности первой полосы движения, связанное с маневрами объезда стоящих транспортных средств у края проезжей части;

ΔP_{nm} – уменьшение пропускной способности второй полосы движения, связанное с маневрами транспортных средств при повороте налево;

$q_{\max 1}, q_{\max 2}$ – максимальные значения плотности движения транспортных средств на первой и второй полосах перегона городской улицы;

$V_{c\epsilon 1}, V_{c\epsilon 2}$ – скорость движения одиночных транспортных средств по конкретной полосе на рассматриваемом участке дороги, км/ч.

Исследования авторов показывают, что расчет пропускной способности перегона городских улиц требует определенной последовательности:

$$P_1 = V_{c\epsilon 1} \cdot q_{\max 1} + \Delta P_{cn1}, \quad (3)$$

$$P_2 = V_{c\epsilon 2} \cdot q_{\max 2} + \Delta P_{cn2}, \quad (4)$$

$$P'_1 = V_{c\epsilon 1} \cdot q_{\max 1} - \Delta P_{\epsilon 1} + \Delta P_{cn1}, \quad (5)$$

$$P'_2 = V_{c\epsilon 2} \cdot q_{\max 2} - \Delta P_{\epsilon 2} + \Delta P_{cn2}, \quad (6)$$

$$P''_1 = V_{c\epsilon 1} \cdot q_{\max 1} - \Delta P_{\epsilon 1} + \Delta P_{cn1} - \Delta P_{nm} - \Delta P_{cm}, \quad (7)$$

$$P''_2 = V_{c\epsilon 2} \cdot q_{\max 2} - \Delta P_{\epsilon 2} + \Delta P_{cn2} - \Delta P_{nm}. \quad (8)$$

Таким образом, рассматриваем пропускную способность как максимально возможное часовое количество транспортных средств, пересекающих определенное сечение перегона улицы с учетом в методике расчета пропускной способности перегона улицы ряда указанных выше аспектов, определяющих рамки движения по полосам и при их смене.

Проведенные исследования составляющих формул (1)–(2) позволили записать их в следующем виде.

Уменьшения пропускной способности полос, связанные с восприятием водителями движения пешеходов $\Delta P_{\epsilon 1}, \Delta P_{\epsilon 2}$:

$$\begin{cases} \Delta P_{\epsilon 1} = \Delta V_{\epsilon 1} \cdot \bar{q}_1, \\ \Delta P_{\epsilon 2} = \Delta V_{\epsilon 2} \cdot \bar{q}_2, \end{cases} \quad (9)$$

где $\Delta V_{\epsilon 1}, \Delta V_{\epsilon 2}$ – уменьшение скоростей движения транспортных средств на первой и второй полосах перегона городской улицы, связанное с восприятием водителями движения пешеходов;

\bar{q}_1, \bar{q}_2 – значения плотности движения транспортных средств на первой и второй полосах перегона городской улицы, при которых наблюдается максимальная интенсивность движения.

Установлено, что скорость пешеходного потока уменьшается с возрастанием интенсивности движения [5], так как для сохранности комфорта личного пространства пешеходу необходимо уменьшать скорость движения в наиболее плотном потоке.

Поэтому необходимо учесть связь между средней скоростью пешехода в потоке и интенсивностью, плотность пешеходного движения, загрузку пешеходного перехода, удельную интенсивность движения пешеходного потока, коэффициент суточной неравномерности движения, коэффициент часовой неравномерности движения и то, что траектория перехода пешеходами проездной части может быть под углом к продольной оси линии дороги и даже криволинейной, возможность взаимного просачивания транспортного и пешеходного потока во время их взаимодействия на нерегулируемом или регулируемом пешеходном переходе.

Значение (9) корректируем с учетом коэффициента снижения скорости движения транспортного потока за счет уплотнения пешеходного движения. Получаем уменьшения

пропускной способности полос, связанные с восприятием водителями движения пешеходов – $\Delta P_{\epsilon 1}, \Delta P_{\epsilon 2}$:

$$\begin{cases} \Delta P_{\epsilon 1} = \frac{Q \cdot V_{\epsilon 1}}{Q_{\max}} \cdot \bar{q}_1, \\ \Delta P_{\epsilon 2} = \frac{Q \cdot V_{\epsilon 2}}{Q_{\max}} \cdot \bar{q}_2, \end{cases} \quad (10)$$

где $V_{\epsilon 1}, V_{\epsilon 2}$ – скорости движения транспортных средств на первой и второй полосах перегона городской улицы, связанные с восприятием водителями движения пешеходов;

Q, Q_{\max} – количество людей и максимальное их количество, которые приходятся на единицу площади пешеходного пути.

Значения (10) запишем через интенсивность движения N пешеходного потока:

$$\begin{cases} \Delta P_{\epsilon 1} = \frac{N \cdot V_{\epsilon 1}}{N_{\max}} \cdot \bar{q}_1, \\ \Delta P_{\epsilon 2} = \frac{N \cdot V_{\epsilon 2}}{N_{\max}} \cdot \bar{q}_2. \end{cases} \quad (11)$$

Увеличения пропускной способности полос, связанные с возможностью перестроения транспортных средств на соседнюю полосу $\Delta P_{cn1}, \Delta P_{cn2}$, запишем как:

$$\begin{cases} \Delta P_{cn1} = (\omega - 1) \cdot V_{\epsilon 1} \cdot q_{\max 1}, \\ \Delta P_{cn2} = (\omega - 1) \cdot V_{\epsilon 2} \cdot q_{\max 2}, \end{cases} \quad (12)$$

где ω – коэффициент, учитывающий нагрузку движением встречной полосы или соседней полосы.

Продольное смещение транспортного средства при смене полосы движения за определенный отрезок времени выразим с учетом зависимостей, приведенных в [6, 7]:

$$S_y = \frac{g \cdot \varphi_y \cdot (S_x)^2}{8 \cdot V^2}, \quad (13)$$

где S_y – минимально необходимое расстояние в продольном направлении для обеспечения выполнения маневра смены полосы движения, м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

φ_y – коэффициент поперечного сцепления колеса с поверхностью дороги;

S_x – необходимое боковое смещение транспортного средства для выполнения маневра смены полосы движения, м;

V – продольная скорость движения транспортного средства, м/с.

Для выполнения маневра смены полосы движения необходимо выполнение двух условий безопасности по боковому скольжению и боковому опрокидыванию, приведенных в [8].

Для применения указанных зависимостей в расчетах ограничений скоростей для транспортных потоков,двигающихся на соответствующих кривых траекторий смены полосы движения, необходимо определенным образом усреднить значение отдельных характеристик в формулах для совокупности транспортных средств, которые определяют группу при смене полосы движения, т. е. при условии обеспечения соответствующей безопасности движения необходимо принять минимальные значения указанных скоростей:

$$V_{s_{\min}} = \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot (\varphi_{y_{\min}} \mp \operatorname{tg} \beta_{\min})}{1 \pm \varphi_{y_{\min}} \cdot \operatorname{tg} \beta_{\min}}}, \quad (14)$$

$$V_{p_{\min}} = \eta_{k_{\min}} \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot B_{\min}}{2 \cdot h_{g_{\max}}}}, \quad (15)$$

где R – радиус кривизны отдельных участков траекторий смены полосы движения, м;
 $V_{s_{\min}}$ – минимальная из максимальных скоростей транспортных средств в транспортном потоке при условии возникновения бокового скольжения на кривой траектории смены полосы движения, м/с;

$\varphi_{y_{\min}}$ – минимальный коэффициент бокового сцепления колес совокупности транспортных средств определенной группы транспортных средств при смене полосы движения;

β_{\min} – минимальный угол бокового уклона поверхности покрытия полос движения перегона улицы, град.;

$V_{p_{\min}}$ – минимальная из максимальных скоростей транспортных средств в транспортном потоке из условий возникновения бокового опрокидывания на кривой траектории смены полосы движения, м/с;

$\eta_{k_{\min}}$ – коэффициент, который учитывает поперечный крен подрессоренных масс транспортного средства за счет наличия центробежной силы, равен 0,8 по данным [9];

B_{\min} – минимальная колея колес переднего и заднего мостов (тележки) транспортного средства в группе транспортных средств при смене полосы движения, м;

$h_{g_{\max}}$ – максимальная высота центра тяжести транспортного средства в группе транспортных средств при смене полосы движения, м. Принимается по данным [9].

Значение S_x в формуле (16) принимаем, исходя из ширины первой и второй полос, обычно ширина полос одинакова, откуда:

$$S_x = \frac{B_1}{2} + \frac{B_2}{2} = B, \quad (16)$$

где B_1, B_2 – ширина первой и второй полос движения;

B – усредненная ширина полос движения на перегоне городских улиц.

С учетом (16) значение минимального расстояния для выполнения маневра смены полосы движения (13) будет иметь вид:

$$S_y = \frac{g \cdot \varphi_y \cdot (B)^2}{8 \cdot V_{св}^2}. \quad (17)$$

Интервал между транспортными средствами полосы, на которую транспортное средство соседней полосы перестраивается, должен быть не менее значения (17), который с учетом интервала безопасности обычно принимают равным 5 метрам. Также должна быть учтена габаритная длина транспортного средства, осуществляющего перестроение.

Учитываем, что маневр смены полосы движения обеспечивается в условиях работы рулевого привода и рулевого механизма, имеющих определенное время срабатывания. Два маневра рулевым колесом предполагает необходимость учета значения пройденного пути транспортным средством за промежутки времени срабатывания рулевого механизма и привода.

Необходимо также учесть, что выполнение маневра смены полосы движения осуществляется только после принятия водителем соответствующего решения, т. е. необходимо ввести значение времени реакции водителя по [10].

Указанные особенности учтем в формуле

$$S_y = t_p \cdot V_{ce} + 2 \cdot t_{py} \cdot V_{ce} + \frac{g \cdot \varphi_y \cdot (B)^2}{8 \cdot V_{ce}^2} + L_a + \Delta_{\delta}, \quad (18)$$

где t_p – время реакции водителя, с;

t_{py} – время срабатывания рулевого управления (рулевого привода и рулевого механизма), с [10];

L_a – габаритная длина транспортного средства, осуществляющего перестроение, м;

Δ_{δ} – интервал безопасности между транспортными средствами после выполнения маневра смены полосы движения, м; принимаем равным 5 м.

Наличие приемлемых интервалов в транспортных потоках на соответствующих полосах движения перегона улицы определяется плотностью движения по полосам. Если плотность движения формирует интервал в пространстве между последовательными транспортными средствами в виде (18), то в пределах перегона улицы есть возможность осуществления перестроений. Запишем указанное условие:

$$\bar{q} \leq q = \left[t_p \cdot V_{ce} + 2 \cdot t_{py} \cdot V_{ce} + \frac{g \cdot \varphi_y \cdot (B)^2}{8 \cdot V_{ce}^2} + L_a + \Delta_{\delta} \right]^{-1}, \quad (19)$$

где \bar{q} – средняя плотность движения на полосе перегона улицы, авт/м;

q – плотность движения на полосе перегона улицы, при которой средний интервал движения между транспортными средствами в пространстве равен расстоянию маневра смены полосы движения, авт/м.

Используя условие (19), значение увеличения пропускной способности полос, связанное с возможностью перестроения транспортных средств на соседнюю полосу ΔP_{cn1} , ΔP_{cn2} (12), возможно более детально скорректировать введением коэффициента влияния в виде соотношения плотностей движения на полосах:

$$\frac{q}{\bar{q}} = \left[\bar{q} \cdot \left(t_p \cdot V_{ce} + 2 \cdot t_{py} \cdot V_{ce} + \frac{g \cdot \varphi_y \cdot (B)^2}{8 \cdot V_{ce}^2} + L_a + \Delta_{\delta} \right) \right]^{-1}, \quad (20)$$

где $\frac{q}{\bar{q}}$ – коэффициент снижения количества смен полосы движения с увеличением

плотности движения по полосе, ед., (чем выше средняя плотность движения по полосе, тем меньше перестроений).

Значение коэффициента снижения количества смен полосы движения с увеличением плотности движения по полосе (20) внесем в формулы расчета значений увеличения пропускной способности полос, связанные с возможностью перестроения транспортных средств на соседнюю полосу (12):

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{cn1} = \frac{(\omega - 1) \cdot V_{ce1} \cdot q_{\max 1}}{\bar{q}_1 \cdot \left(t_{p2} \cdot V_{ce2} + 2 \cdot t_{py2} \cdot V_{ce2} + \frac{g \cdot \varphi_y \cdot (B)^2}{8 \cdot V_{ce2}^2} + L_a + \Delta_{\delta} \right)}, \\ \Delta P_{cn2} = \frac{(\omega - 1) \cdot V_{ce2} \cdot q_{\max 2}}{\bar{q}_2 \cdot \left(t_{p1} \cdot V_{ce1} + 2 \cdot t_{py1} \cdot V_{ce1} + \frac{g \cdot \varphi_y \cdot (B)^2}{8 \cdot V_{ce1}^2} + L_a + \Delta_{\delta} \right)}. \end{array} \right. \quad (21)$$

Уменьшение пропускной способности первой полосы движения, связанное с маневрами объезда стоящих транспортных средств у края проезжей части:

$$\Delta P_{cm} = \Delta V_{cm1} \cdot \bar{q}_1, \quad (22)$$

где ΔV_{cm1} – уменьшение скорости движения транспортных средств на первой полосе при объезде остановившихся у края проезжей части транспортных средств;

\bar{q}_1 – значения плотности движения транспортных средств на первой полосе перегона городской улицы, при которых наблюдается максимальная интенсивность движения.

Учитывая все особенности выполнения указанного маневра, получим:

$$S_y = t_{p1} \cdot V_{cs1} + 4 \cdot t_{py1} \cdot V_{cs1} + 2 \cdot \frac{g \cdot \varphi_y \cdot \left(\frac{B_{a1}}{2} - \frac{B_1}{2} + \Delta'_\delta \right)^2}{8 \cdot V_{cs1}^2} + 2 \cdot L_{a1} + \Delta_\delta, \quad (23)$$

где t_{p1} – время реакции водителя транспортного средства первой полосы, с;

B_{a1} – габаритная ширина транспортного средства, движущегося по первой полосе и припаркованного у края первой полосы, для упрощения принимаются равными одному значению, м;

B_1 – ширина первой полосы движения, м;

t_{py1} – время срабатывания рулевого управления (рулевого привода и рулевого механизма) транспортного средства первой полосы движения, м;

L_{a1} – габаритная длина транспортного средства, осуществляющего перестроение, и габаритная длина транспортного средства, которое объезжают, м;

Δ'_δ – величина бокового интервала безопасности для выполнения маневра, принимаем равным 1 м;

Δ_δ – интервал безопасности между транспортными средствами после выполнения маневра объезда стоящего транспортного средства, принимаем равным 5 м.

Наличие приемлемых интервалов в потоках на соответствующих полосах движения перегона улицы определяется плотностью движения по полосам, если плотность движения формирует интервал в пространстве между последовательными транспортными средствами в виде (23), то в пределах перегона улицы есть возможность осуществления объезда транспортного средства, стоящего у края проезжей части.

Запишем указанное условие:

$$\bar{q}_2 \leq q_2 = \left[t_{p1} \cdot V_{cs1} + 4 \cdot t_{py1} \cdot V_{cs1} + 2 \cdot \frac{g \cdot \varphi_y \cdot \left(\frac{B_{a1}}{2} - \frac{B_1}{2} + \Delta'_\delta \right)^2}{8 \cdot V_{cs1}^2} + 2 \cdot L_{a1} + \Delta_\delta \right]^{-1}, \quad (24)$$

где \bar{q}_2 – средняя плотность движения на второй полосе перегона улицы, авт/м;

q_2 – плотность движения на второй полосе перегона улицы, при которой средний интервал движения между транспортными средствами в пространстве равен расстоянию маневра объезда транспортного средства, стоящего у края проезжей части, авт/м.

Используя условие (24), значение уменьшения пропускной способности первой полосы движения, связанное с маневрами объезда стоящих транспортных средств у края проезжей части ΔP_{cm} (22), можно более детально скорректировать введением коэффициента влияния в виде соотношения плотностей движения на второй полосе перегона:

$$\frac{q_2}{\bar{q}_2} = \left[\bar{q}_2 \cdot \left(t_{p1} \cdot V_{ce1} + 4 \cdot t_{py1} \cdot V_{ce1} + 2 \cdot \frac{g \cdot \varphi_y \cdot \left(\frac{B_{a1}}{2} - \frac{B_1}{2} + \Delta'_\delta \right)^2}{8 \cdot V_{ce1}^2} + 2 \cdot L_{a1} + \Delta_\delta \right) \right]^{-1}, \quad (25)$$

где $\frac{q_2}{\bar{q}_2}$ – коэффициент снижения количества возможностей объезда стоящих транспортных средств на первой полосе у края проезжей части, ед., (чем выше средняя плотность движения по полосе, тем меньше возможностей объезда).

Значение коэффициента снижения количества возможностей объезда стоящих транспортных средств на первой полосе у края проезжей части (25) внесем в формулу значения уменьшения пропускной способности первой полосы движения, связанного с маневрами объезда стоящих транспортных средств у края проезжей части (22):

$$\Delta P_{cm} = \frac{\Delta V_{ce1} \cdot \bar{q}_1}{\bar{q}_2 \cdot \left(t_{p1} \cdot V_{ce1} + 4 \cdot t_{py1} \cdot V_{ce1} + 2 \cdot \frac{g \cdot \varphi_y \cdot \left(\frac{B_{a1}}{2} - \frac{B_1}{2} + \Delta'_\delta \right)^2}{8 \cdot V_{ce1}^2} + 2 \cdot L_{a1} + \Delta_\delta \right)}. \quad (26)$$

Уменьшение пропускной способности первой полосы движения, связанное с маневрами транспортных средств при повороте направо:

$$\Delta P_{mn} = V_{ce1} \cdot q_{max1} - B_{mn1}, \quad (27)$$

где B_{mn1} – значение пропускной способности [3] при повороте направо, для первой полосы движения.

Снижение пропускной способности правой полосы перегона городской улицы в условиях наличия возможностей осуществления правых поворотов в проезды и боковые съезды обуславливается дополнительным снижением скорости движения водителями для осуществления безопасного маневра движения по кривой правого поворота.

Движение на кривых с определенным радиусом предполагает выполнение традиционных условий отсутствия возможности поперечного скольжения и опрокидывания транспортного средства. Водители при подготовке к выполнению маневра правого поворота снижают скорость на собственное усмотрение из расчета безопасного дальнейшего движения по кривой поворота.

Поэтому для получения значения ограничений скоростей движения для правого поворота:

$$V_{smn} = \sqrt{\frac{g \cdot R_{mn} \cdot (\varphi_y \mp \text{tg}(\beta_{mn}))}{1 \pm \varphi_y \cdot \text{tg}(\beta_{mn})}}, \quad (28)$$

$$V_{pmn} = \eta_{k1} \sqrt{\frac{g \cdot R_{mn} \cdot B_{k1}}{2 \cdot h_{g1}}}, \quad (29)$$

где V_{smn} – максимальная скорость транспортного средства по условиям возникновения бокового скольжения на кривой правого поворота, м/с;

R_{mn} – радиус кривой правого поворота, м;

β_{mn} – угол бокового уклона поверхности покрытия правого поворота, град.;

V_{pnn} – максимальная скорость транспортного средства по условиям возникновения бокового опрокидывания на кривой правого поворота, м/с;

$B_{к1}$ – средняя колея колес переднего и заднего мостов (тележки) транспортного средства первой полосы, м;

h_{g1} – высота центра тяжести транспортного средства первой полосы, м [9].

В соответствии с особенностями проектирования транспортного средства очередность явлений потери устойчивости с увеличением скорости движения на кривой предполагает наступление потери устойчивости в виде поперечного скольжения, а затем в виде поперечного опрокидывания [9].

С учетом приведенного выше за основу принимаем максимальное значение скорости (30) для выполнения правого поворота.

Используем значение разницы скоростей для расчета потери пропускной способности первой полосы в результате маневров правого поворота.

Используем значение (27) и значение (28):

$$\Delta P_{mn} = (V_{св1} - V_{сн1}) \cdot \bar{q}_1, \quad (30)$$

$$\Delta P_{mn} = \left(V_{св1} - \sqrt{\frac{g \cdot R_{mn} \cdot (\varphi_y \mp \operatorname{tg}(\beta_{mn}))}{1 \pm \varphi_y \cdot \operatorname{tg}(\beta_{mn})}} \right) \cdot \bar{q}_1. \quad (31)$$

Проведем аналогичные преобразования определения значения уменьшения пропускной способности при осуществлении левого поворота со второй полосы:

$$\Delta P_{ln} = k \cdot (V_{св2} - V_{сн2}) \cdot \bar{q}_2, \quad (32)$$

$$\Delta P_{ln} = k \cdot \left(V_{св2} - \sqrt{\frac{g \cdot R_{ln} \cdot (\varphi_y \mp \operatorname{tg}(\beta_{ln}))}{1 \pm \varphi_y \cdot \operatorname{tg}(\beta_{ln})}} \right) \cdot \bar{q}_2, \quad (33)$$

где $V_{сн}$ – максимальная скорость транспортного средства по условиям возникновения бокового скольжения на кривой левого поворота, м/с;

R_{ln} – радиус кривой левого поворота, м;

β_{ln} – угол бокового уклона поверхности покрытия левого поворота, град.

k – коэффициент учета пропуска встречного транспорта при выполнении левого поворота, ед.

Полученные значения изменений пропускной способности для первой и второй полос движения на перегоне городской улицы позволяют записать значения (7) и (8) в развернутом виде.

Для (7) используем (11), (21), (26), (33). Пропускная способность первой полосы перегона городской улицы будет рассчитываться по совокупности формул:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 P_1'' = V_{c\epsilon 1} \cdot q_{\max 1} - \Delta P_{\epsilon 1} + \Delta P_{cn1} - \Delta P_{nn} - \Delta P_{cm}, \quad \Delta P_{\epsilon 1} = \frac{N \cdot V_{\epsilon 1}}{N_{\max}} \cdot \bar{q}_1, \\
 \Delta P_{cn1} = \frac{(\omega - 1) \cdot V_{c\epsilon 1} \cdot q_{\max 1}}{\bar{q}_1 \cdot \left(t_{p2} \cdot V_{c\epsilon 2} + 2 \cdot t_{py2} \cdot V_{c\epsilon 2} + \frac{g \cdot \varphi_y \cdot (B)^2}{8 \cdot V_{c\epsilon 2}^2} + L_a + \Delta_{\delta} \right)}, \\
 \Delta P_{nn} = \left(V_{c\epsilon 1} - \sqrt{\frac{g \cdot R_{nn} \cdot (\varphi_y \mp \operatorname{tg}(\beta_{nn}))}{1 \pm \varphi_y \cdot \operatorname{tg}(\beta_{nn})}} \right) \cdot \bar{q}_1, \\
 \Delta P_{cm} = \frac{\Delta V_{cm1} \cdot \bar{q}_1}{\bar{q}_2 \cdot \left(t_{p1} \cdot V_{c\epsilon 1} + 4 \cdot t_{py1} \cdot V_{c\epsilon 1} + 2 \cdot \frac{g \cdot \varphi_y \cdot \left(\frac{B_{a1}}{2} - \frac{B_1}{2} + \Delta'_{\delta} \right)^2}{8 \cdot V_{c\epsilon 1}^2} + 2 \cdot L_{a1} + \Delta_{\delta} \right)}.
 \end{array} \right. \quad (34)$$

Для (8) используем (11), (21), (33). Пропускная способность второй полосы перегона городской улицы будет рассчитываться по совокупности формул:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 P_2'' = V_{c\epsilon 2} \cdot q_{\max 2} - \Delta P_{\epsilon 2} + \Delta P_{cn2} - \Delta P_{ln}, \quad \Delta P_{\epsilon 2} = \frac{N \cdot V_{\epsilon 2}}{N_{\max}} \cdot \bar{q}_2, \\
 \Delta P_{cn2} = \frac{(\omega - 1) \cdot V_{c\epsilon 2} \cdot q_{\max 2}}{\bar{q}_2 \cdot \left(t_{p1} \cdot V_{c\epsilon 1} + 2 \cdot t_{py1} \cdot V_{c\epsilon 1} + \frac{g \cdot \varphi_y \cdot (B)^2}{8 \cdot V_{c\epsilon 1}^2} + L_a + \Delta_{\delta} \right)}, \\
 \Delta P_{ln} = k \cdot \left(V_{c\epsilon 2} - \sqrt{\frac{g \cdot R_{ln} \cdot (\varphi_y \mp \operatorname{tg}(\beta_{ln}))}{1 \pm \varphi_y \cdot \operatorname{tg}(\beta_{ln})}} \right) \cdot \bar{q}_2.
 \end{array} \right. \quad (35)$$

Выводы

Разработаны методики расчета пропускных способностей первой и второй полос перегона городской улицы. В методиках учтены: скорости свободного движения транспортных средств по полосам; максимальные плотности движения транспортных средств по полосам; средние и максимальные интенсивности движения пешеходных потоков в условиях наличия наземных пешеходных переходов; средние плотности движения транспортных потоков по полосам; характеристики маневрирования транспортных средств в условиях смены полосы движения; характеристики маневрирования транспортных средств в условиях объезда транспортного средства, стоящего у края проезжей части первой полосы; характеристики кинематики движения транспортных средств при выполнении правого поворота для первой полосы и при выполнении левого поворота для второй полосы.

Данные методики расчета пропускной способности первой и второй полос движения на перегонах городских улиц позволят уменьшить затраты времени на движение и повысить безопасность движения транспортных средств.

Список литературы

1. Лобанов, Е. М. Транспортная планировка городов / Е. М. Лобанов. – Москва : Транспорт, 1990. – 240 с. – ISBN 5-277-00375-4.
2. Бабков, В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В. Ф. Бабков. – Москва : Транспорт, 1993. – 271 с. – ISBN 5-277-01402-0.
3. Кременец, Ю. А. Технические средства организации дорожного движения / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – Москва : Академкнига, 2005. – 279 с. – ISBN 5-94628-111-9.
4. Сильянов, В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц / В. В. Сильянов, Э. Р. Домке. – 3-е изд., стер. – Москва : Академия, 2009. – 352 с. – ISBN 978-5-7695-5874-0.
5. Кисляков, В. М. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов / В. М. Кисляков, В. В. Филиппов, И. А. Школяренко. – Москва : Транспорт, 1979. – 199 с.
6. Иларионов, В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий / В. А. Иларионов. – Москва : Транспорт, 1989. – 255 с. – ISBN 5-277-00374-6.
7. Домке, Э. Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / Э. Р. Домке. – Москва : Академия, 2009. – 288 с. – ISBN 978-5-7695-4658-7.
8. Вахламов, В. К. Автомобили. Конструкция и элементы расчета / В. К. Вахламов. – Москва : Академия, 2006. – 479 с. – ISBN 5-7695-2638-6.
9. Афанасьев, Л. Л. Конструктивная безопасность автомобиля / Л. Л. Афанасьев, А. Б. Дьяков, В. А. Иларионов. – Москва : Машиностроение, 1983. – 212 с.
10. Лобанов, Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е. М. Лобанов. – Москва : Транспорт, 1980. – 311 с.

Н. Н. Дудникова, В. И. Кондрашева
Автомобильно-дорожный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка
Разработка методик расчета пропускных способностей первой
и второй полос перегона городской улицы

Рост интенсивности движения на улицах современных городов приводит к необходимости принятия существенных мер к увеличению пропускной способности соответствующих перегонов. Основное мероприятие по увеличению пропускной способности перегонов городских улиц – строительство дополнительных полос движения. Зачастую указанное строительство связано с организацией второй полосы движения в одном направлении для двухполосной городской улицы и ее превращения в улицу с четырьмя полосами движения.

Интенсивное маневрирование транспортных средств при выполнении поворотов направо, налево, остановки у края проезжей части приводит к созданию индивидуальных условий движения по первой и второй полосам перегона улицы. Очереди транспортных средств, как подвижные, так и неподвижные, приводят к снижению пропускной способности полос и улицы, к формированию ударных волн в транспортном потоке и образованию заторов.

В настоящее время необходимо совершенствовать существующую методику назначения пропускной способности полос движения городских улиц до уровня расчетной методики, учитывающей индивидуальные особенности маневрирования транспортных средств в пределах конкретного перегона улицы.

Авторами разработаны методики расчета пропускных способностей первой и второй полос перегона городской улицы. В методиках учтены: скорости свободного движения транспортных средств по полосам; максимальные плотности движения транспортных средств по полосам; средние и максимальные интенсивности движения пешеходных потоков в условиях наличия наземных пешеходных переходов; средние плотности движения транспортных потоков по полосам; характеристики маневрирования транспортных средств в условиях смены полосы движения; характеристики маневрирования транспортных средств в условиях объезда транспортного средства, стоящего у края проезжей части первой полосы; характеристики кинематики движения транспортных средств при выполнении правого поворота для первой полосы и при выполнении левого поворота для второй полосы.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ДОРОГИ, ПОЛОСА ДВИЖЕНИЯ ДОРОГИ, МАНЕВР АВТОМОБИЛЯ, ПЕРЕГОН ДОРОГИ

N. N. Dudnikova, V. I. Kondrasheva
Automobile and Road Institute (Branch) of the Federal State Budget Educational Institution
of Higher Education «Donetsk National Technical University» in Gorlovka
Development of Capacity Calculation Methods of the First and Second Lanes of a City Street

The increase in traffic intensity on the streets of modern cities leads to the need to take significant measures to increase the capacity of the corresponding sections. The main measure to increase the capacity of city streets is the construction of additional traffic lanes. Often this construction involves adding a second lane in one direction to a two-lane city street and converting it into a four-lane street.

Intensive maneuvering of vehicles when turning right, left, or stopping at the edge of the roadway leads to the creation of individual traffic conditions along the corresponding first and second lanes of the street. Queues of vehicles, both moving and stationary, lead to a decrease in the capacity of lanes and streets, to the formation of shock waves in the traffic flow and the formation of congestion.

The above reveals the relevance and need to improve the existing methodology for assigning the capacity of the corresponding traffic lanes of city streets, to the level of a calculation methodology that takes into account the individual characteristics of maneuvering vehicles within a specific street section.

The article develops methods for calculating the capacity of the first and second lanes of a city street. The methods take into account the speed of free movement of vehicles along the lanes; maximum vehicle traffic densities on lanes; average and maximum intensity of pedestrian traffic in conditions of the presence of surface pedestrian crossings; average traffic densities of traffic flows along the lanes; vehicle maneuvering characteristics when changing lanes; characteristics of vehicle maneuvering in conditions of detour of a vehicle standing at the edge of the roadway of the first lane; characteristics of the kinematics of vehicle movement when making a right turn for the first lane and when making a left turn for the second lane.

CALCULATION METHOD, ROAD CAPACITY, ROAD LANE, VEHICLE MANEUVER, ROAD TRAFFIC SECTION

Сведения об авторах:

Н. Н. Дудникова

SPIN-код РИНЦ: 1424-1363
Телефон: +7 949 412-79-04
Эл. почта: DudnikovaNN@rambler.ru

В. И. Кондрашева

Телефон: +7 949 412-79-04
Эл. почта: DudnikovaNN@rambler.ru

Статья поступила 20.03.2024

© Н. Н. Дудникова, В. И. Кондрашева, 2024
Рецензент: Т. А. Самисько, канд. техн. наук, доц.,
Автомобильно-дорожный институт
(филиал) ДонНТУ в г. Горловка