

**А.Н. Дудников, канд. техн. наук, В.В. Нужный, канд. техн. наук,
Е.С. Смирнов**

**Автомобильно-дорожный институт
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТА В ЗОНАХ ОСТАНОВОК

Сформулированы критерии оценки безопасности движения городского пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок. Рассмотрены случаи оценки безопасности движения в условиях остановки маршрутного транспорта у края проезжей части или в заездном кармане. Разработаны оценочные критерии по безопасности движения городского пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок. Сформулирована методика оценки безопасности движения в зонах указанных пунктов остановки.

***Ключевые слова:** транспорт пассажирский маршрутный, пункт остановки, безопасность движения, критерий оценочный, интенсивность движения, скорость, карман заездной*

Постановка научной проблемы и задачи, которая решается

Обеспечение безопасности движения на автомобильном транспорте представляет собой значительную научно-практическую проблему, которая проявляется практически во всех сферах человеческой деятельности [1–4]. Мировая тенденция роста количества дорожно-транспортных происшествий отмечается многими авторами [2–4]. Указанная проблема связана, прежде всего, с приростом численности парка автомобильного транспорта, особенно в пределах улично-дорожных сетей городов [5].

Проблема безопасности движения в рамках улично-дорожных сетей городов [5] многогранна. Важной гранью являются задачи повышения безопасности движения в зонах остановок пассажирского маршрутного транспорта [6, 7].

Важным аспектом в задачах повышения безопасности движения в зонах остановок пассажирского маршрутного транспорта является качественная оценка безопасности движения городского пассажирского маршрутного транспорта в указанных зонах остановок.

Анализ последних исследований

В настоящее время научная задача повышения безопасности движения городского пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок решается в двух направлениях: в направлении совершенствования нормативной базы [8, 9] и в направлении развития средств комплексного исследования эксплуатационной безопасности остановочных пунктов [6, 7, 10].

Указанная нормативная база безопасности движения городского пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок формируется в рамках расположения остановочных пунктов, геометрических характеристик заездных карманов, требований к обустройству остановочных пунктов [8, 9]. Пути развития в данном случае не ясны, кроме четкого выполнения указанных качественных и количественных характеристик, отклонения от которых приводят к увеличению показателей аварийности и снижению безопасности движения городского пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок. При этом необходимо отметить, что указанные нормативы являются следствием признания и применения к исполнению существовавших на момент издания норматива результатов научных исследований.

В направлении развития средств комплексного исследования эксплуатационной безо-

пасности остановочных пунктов [6, 7] авторы решают задачу на концептуальном уровне в виде группировки типичных нарушений траекторий движения и мест остановки пассажирского маршрутного транспорта в области заездных карманов: «остановка транспортного средства на полосе движения», «остановка транспортного средства до заездного кармана», «остановка транспортного средства в начале кармана», «остановка транспортных средств в несколько рядов в пределах кармана»... [7]. Исходя из указанных подходов, повышать безопасность движения в зонах остановок пассажирского маршрутного транспорта предполагается путем строгого соблюдения траектории движения в кармане и необходимого места остановки транспортного средства.

Проанализированные исследования и существующие подходы в формировании безопасности движения городского пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок не позволяют осуществлять последовательное развитие теоретических основ повышения безопасности движения, на данный момент теоретическая основа одна – жесткое выполнение неизменяемых предписаний.

Предлагается подойти к указанной задаче с позиций оценки безопасности движения городского пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок рассчитываемыми аналитически критериями, учитывающими способ формирования остановки (при неизменной ширине проезжей части и с расширением проезжей части в виде открытого «кармана» [9]), а также геометрию траекторий и кинематику движения транспорта в зонах остановок.

Цель работы

Разработка методики оценки безопасности движения городского пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок.

Основная часть

Предлагается рассмотреть процесс движения транспортных средств в зонах остановок городского пассажирского транспорта при формировании маневров разделения и слияния маршрутных транспортных средств с транспортным потоком крайней правой полосы движения улицы. Схемы движения в зонах остановок приведены на рисунках 1 и 2.

Исходя из имеющихся результатов исследований маневра и изменения полосы движения транспортным средством [11] возможно получить зависимость для определения координаты длины маневра X_m . Согласно схеме рисунка 1, длина X_{m1} для выполнения изменения полосы движения транспортным средством на правой полосе движения должна определяться:

$$Y_{m1} = \frac{1}{2} B_{ap} + \Delta_{\delta} + B_{am} + \Delta_m - \Delta_n, \quad (1)$$

$$X_{m1} = K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot V_{ap1}^2 \cdot Y_{m1}}{g \cdot \Phi_y}} = K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot V_{ap1}^2 \cdot \left(\frac{1}{2} B_{ap} + \Delta_{\delta} + B_{am} + \Delta_m - \Delta_n \right)}{g \cdot \Phi_y}}, \quad (2)$$

где B_{ap} , B_{am} – габаритная ширина транспортных средств на правой полосе движения и маршрутного транспорта, м;

V_{ap1}^2 – скорость транспортного средства на правой полосе в начале маневрирования, м/с;

Φ_y – коэффициент поперечного сцепления колес с дорожным покрытием, ед.;

K_m – коэффициент маневра (увеличивает продольную координату маневра в зависимости от условий маневрирования) [11].

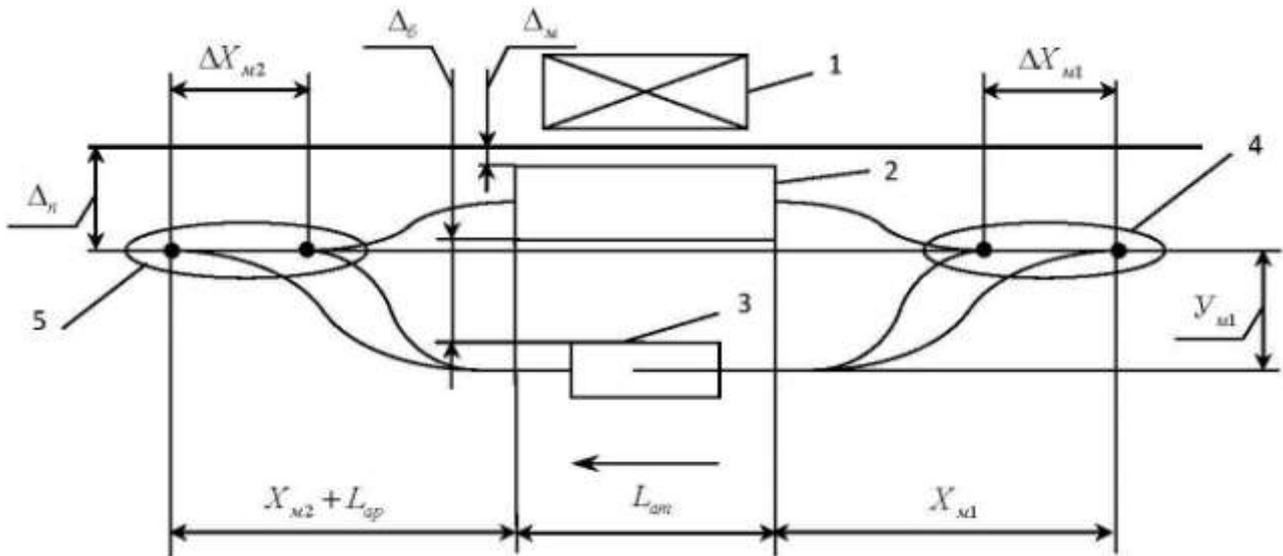


Рисунок 1 – Схема координатной привязки транспортных средств при выполнении маневра объезда стоящего на остановке городского пассажирского транспортного средства:

- 1 – павильон остановки;
- 2 – пассажирское маршрутное транспортное средство;
- 3 – транспортное средство, которое движется в составе транспортного потока правой полосы проезжей части улицы;
- 4 – зона конфликтных точек разделения траектории движения маршрутных транспортных средств и транспортных средств потока правой полосы проезжей части улицы;
- 5 – зона конфликтных точек слияния траектории движения маршрутных транспортных средств и транспортных средств потока правой полосы проезжей части улицы;
- X_{m1} – продольная координата выполнения маневра смены полосы движения влево при объезде остановленного маршрутного транспортного средства;
- ΔX_{m1} – границы отклонения продольной координаты выполнения маневра смены полосы движения влево при объезде остановленного маршрутного транспортного средства;
- X_{m2} – продольная координата выполнения маневра смены полосы движения вправо при объезде остановленного маршрутного транспортного средства;
- ΔX_{m2} – границы отклонения продольной координаты выполнения маневра смены полосы движения вправо при объезде остановленного маршрутного транспортного средства;
- Y_{m1} – поперечная координата выполнения маневра смены полосы движения при объезде остановленного маршрутного транспортного средства;
- Δ_b – интервал безопасности между остановленным маршрутным транспортным средством и транспортным средством, которое выполняет маневр объезда;
- Δ_m – интервал безопасности между остановленным маршрутным транспортным средством и краем проезжей части улицы;
- Δ_n – расстояние от края проезжей части до линии траектории движения транспортных средств по правой полосе;
- L_{op} – габаритная длина транспортного средства в крайнем правом ряду движения транспортного потока;
- L_{am} – габаритная длина маршрутного пассажирского транспортного средства.

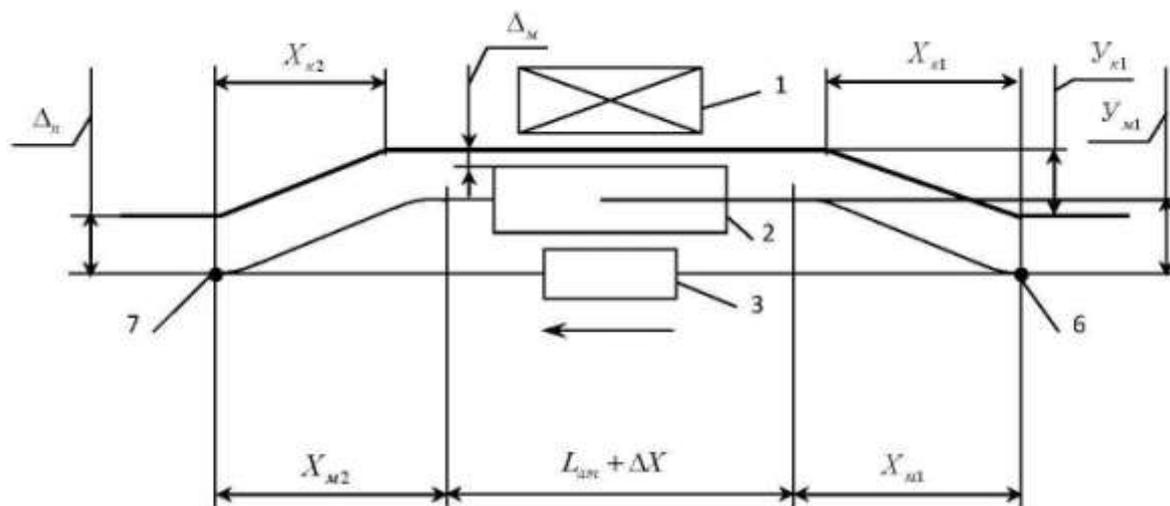


Рисунок 2 – Схема координатной привязки транспортных средств при выполнении маневра остановки городского пассажирского транспортного средства в заездном кармане:

1 – павильон остановки;

2 – пассажирское маршрутное транспортное средство;

3 – транспортное средство, движущееся в составе транспортного потока правой полосы проезжей части улицы;

6 – конфликтная точка разделения траектории движения маршрутных транспортных средств в заездном кармане и транспортных средств потока правой полосы проезжей части улицы;

7 – конфликтная точка слияния траектории движения маршрутных транспортных средств в заездном кармане и транспортных средств потока правой полосы проезжей части улицы;

X_{m1} – продольная координата выполнения маневра смены полосы движения вправо при въезде маршрутного транспортного средства в заездной карман;

X_{m2} – продольная координата выполнения маневра смены полосы движения влево при выезде маршрутного транспортного средства из заездного кармана;

Y_{m1} – поперечная координата выполнения маневра смены полосы движения при заезде маршрутного транспортного средства в карман;

Y_{k1} – глубина отгона на въезде в заездной карман;

X_{k1} – длина отгона на въезде в заездной карман;

X_{k2} – длина отгона на выезде из заездного кармана;

Δ_m – интервал безопасности между остановленным маршрутным транспортным средством и краем проезжей части в заездном кармане;

Δ_n – расстояние от края проезжей части до линии траектории движения транспортных средств по правой полосе проезжей части улицы.

Дальнейшее движение транспортного средства вдоль боковой поверхности маршрутного транспортного средства должно осуществляться на суммарном расстоянии габаритных длин указанных транспортных средств. На момент завершения маневрирования расстояние, которое проедет транспортное средство с правой полосы, будет составлять:

$$X_{m12} = L_{am} + 2 \cdot L_{ap} + K_m \cdot V_{ap1} + V_{ap2} \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\frac{1}{2} B_{ap} + \Delta_{\sigma} + B_{am} + \Delta_m - \Delta_n \right)}{g \cdot \Phi_y}}. \quad (3)$$

Движение транспортного средства по правой полосе при объезде остановленного пассажирского маршрутного транспортного средства является неравномерным, в большинстве случаев это движение с замедлением. Предлагается связь со значениями скоростей V_{ap1} и V_{ap2} формализовать следующим образом:

$$V_{ap2} = V_{ap1} - j_{ap} \cdot t_{ap}, \quad (4)$$

$$V_{ap2} = \sqrt{2 L_{am} + L_{ap} j_{ap} + V_{ap1}^2}, \quad (5)$$

где j_{ap} – замедление транспортного средства при движении вдоль остановленного пассажирского маршрутного транспортного средства, м/с^2 ;

t_{ap} – время движения транспортного средства при движении вдоль остановленного пассажирского маршрутного транспортного средства, с.

С учетом значений (4) и (5) получим формулу для определения продольной координаты выполнения всего маневра объезда транспортным средством правой полосы движения остановленного пассажирского маршрутного транспортного средства:

$$X_{m12} = L_{am} + 2 \cdot L_{ap} + K_m \cdot \left(V_{ap1} + \sqrt{2 L_{am} + L_{ap} j_{ap} + V_{ap1}^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\frac{1}{2} B_{ap} + \Delta_{\delta} + B_{am} + \Delta_m - \Delta_n \right)}{g \cdot \Phi_y}}. \quad (6)$$

В дальнейшем необходимо рассмотреть другой случай маневрирования транспортных средств в зоне пункта остановки, выполненного в виде заездного кармана.

Согласно схеме рисунка 2 длина X_{m1} для выполнения изменения полосы движения пассажирским маршрутным транспортным средством при заезде в заездной карман определяется:

$$Y_{m1} = \Delta_n + Y_{\kappa1} - \Delta_m - \frac{1}{2} B_{am}, \quad (7)$$

$$X_{m1} = K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot V_{am1}^2 \cdot Y_{m1}}{g \cdot \Phi_y}} = K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot V_{am1}^2 \cdot \left(\Delta_n + Y_{\kappa1} - \Delta_m - \frac{1}{2} B_{am} \right)}{g \cdot \Phi_y}}, \quad (8)$$

где V_{am1} – скорость пассажирского маршрутного транспортного средства на момент начала маневрирования при въезде в заездный карман, м.

Дальнейшее движение пассажирского маршрутного транспортного средства вдоль посадочной площадки должно быть на расстоянии, которое указано на рисунке 2. На момент завершения маневрирования расстояние, которое проедет маршрутное транспортное средство, будет составлять:

$$X_{m12} = L_{am} + \Delta X + K_m \cdot V_{am1} + V_{am2} \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\Delta_n + Y_{\kappa1} - \Delta_m - \frac{1}{2} B_{am} \right)}{g \cdot \Phi_y}}, \quad (9)$$

$$V_{am2} = \sqrt{2 \cdot \Delta X \cdot a_{am2}}, \quad (10)$$

где a_{am2} – ускорение пассажирского маршрутного транспортного средства после разгона в кармане и при выезде из заездного кармана, м/с^2 [11–13].

С учетом значений (9) и (10) получим зависимость для определения продольной координаты выполнения всего маневра заезда и остановки пассажирского маршрутного транспортного средства в заездном кармане:

$$X_{.m12} = 2 \cdot L_{am} + \Delta X + K_m \cdot V_{am1} + \sqrt{2 \cdot \Delta X \cdot a_{am2}} \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\Delta_n + V_{\kappa1} - \Delta_m - \frac{1}{2} B_{am} \right)}{g \cdot \varphi_y}}. \quad (11)$$

Полученные значения координат (6) и (11) определяют не только соответствующие законченные маневры, а и координаты расположения конфликтных точек 6, 7 и зон 4, 5 на рисунках 1 и 2. Необходимо рассмотреть также кинематику движения транспортных средств,двигающихся по крайней правой полосе и соответствующим образом формирующих указанные выше конфликтные точки 6, 7 и зоны 4, 5 (рисунки 1 и 2).

Сначала рассмотрим схему движения на рисунке 1, где создаются две разные ситуации на подходах к зоне 4 и зоне 5. Зона 4 (рисунок 3) формирует снижение скоростей транспортных средств на правой полосе и соответствующее уплотнение транспортного потока. Также пассажирское маршрутное транспортное средство на подходах к зоне 4 снижает скорость движения и начинает маневрировать с целью дальнейшей остановки возле края проезжей части.

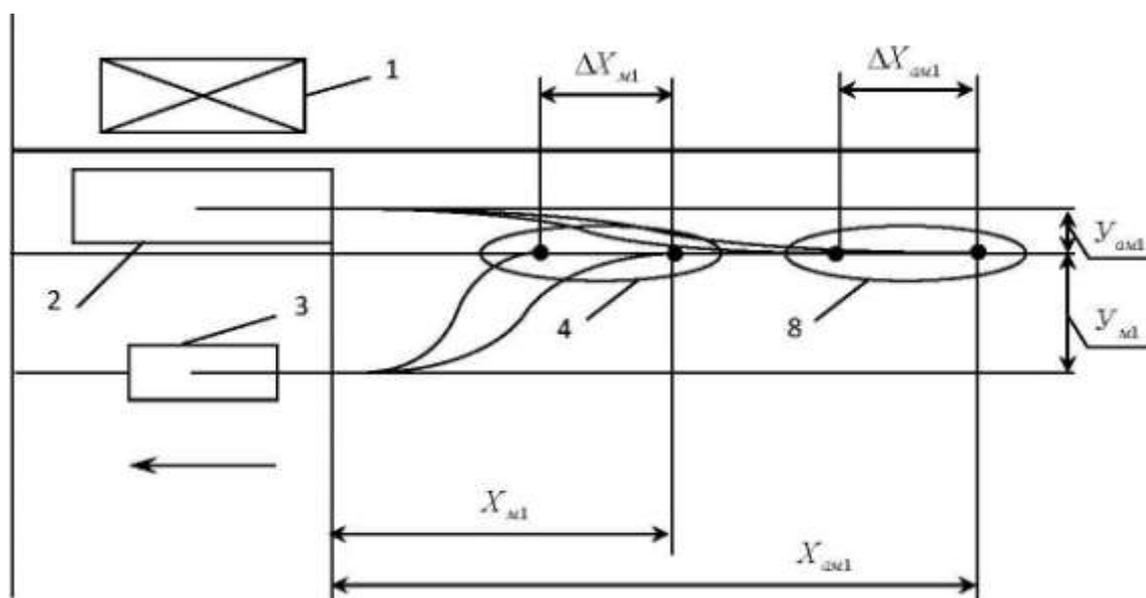


Рисунок 3 – Формирование зоны взаимодействия транспортных средств при отклонении пассажирского маршрутного транспортного средства для остановки и отклонении транспортных средств правой полосы движения для объезда остановленного пассажирского маршрутного транспортного средства:

$\Delta X_{ам1}$ – границы отклонения продольной координаты выполнения маневра смены полосы движения вправо для остановки пассажирского маршрутного транспортного средства;

$X_{ам1}$ – продольная координата выполнения маневра смены полосы движения вправо для остановки пассажирского маршрутного транспортного средства;

$Y_{ам1}$ – поперечная координата выполнения маневра смены полосы движения вправо для остановки пассажирского маршрутного транспортного средства.

Значение $X_{ам1}$ является ограничением для координаты $X_{.m1}$. Если $X_{.m1}$ становится большим $X_{ам1}$, возможно возникновение ДТП (транспортному средству 3 на правой полосе необходимо большее расстояние для маневра, чем маршрутному – 2). В дальнейшем рас-

смотрим формирование области взаимодействия транспортных средств при отклонении пассажирского маршрутного транспортного средства от остановки и отклонении транспортных средств правой полосы движения после объезда остановленного пассажирского маршрутного транспортного средства. Указанные аспекты раскрыты на схеме рисунка 4.

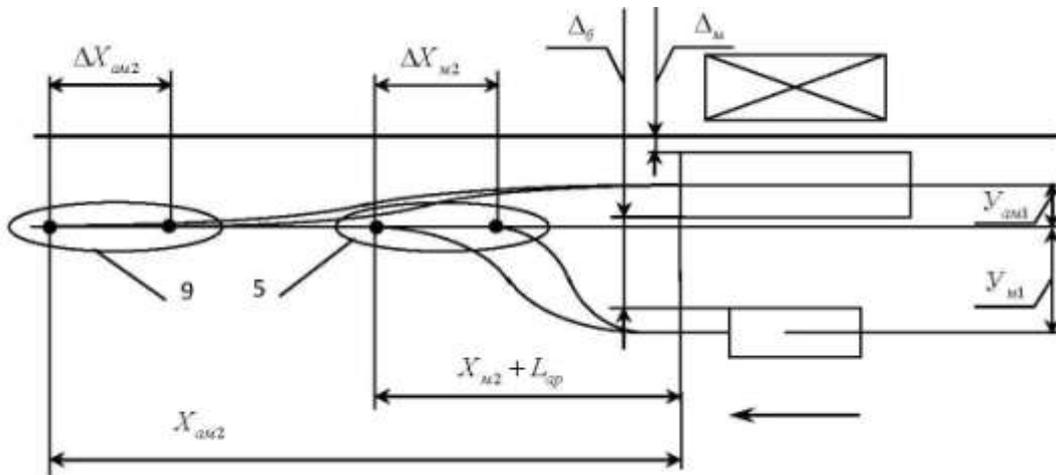


Рисунок 4 – Формирование области взаимодействия транспортных средств при отклонении пассажирского маршрутного транспортного средства от остановки и отклонении транспортных средств правой полосы движения после объезда остановленного пассажирского маршрутного транспортного средства

Значение $X_{ам2} + L_{ам}$ является ограничением для координаты $X_{м2} + L_{ар}$, если $X_{м2} + L_{ар}$ становится большим $X_{ам2} + L_{ам}$ – возможно возникновение ДТП (транспортному средству 3 на правой полосе необходимо большее расстояние для маневра, чем маршрутному – 2).

Рассмотрим движение, изображенное на схеме рисунка 2, где создаются две разные ситуации на подходах к конфликтным точкам 6 и 7. Конфликтная точка 6 формирует снижение скоростей транспортных средств на правой полосе и соответствующее уплотнение транспортного потока. Также пассажирское маршрутное транспортное средство на подходах к конфликтной точке 6 снижает скорость движения и начинает маневрировать в отгон заездного кармана с целью дальнейшей остановки возле края проезжей части кармана. Общая длина области взаимодействия транспортных средств в потоке, в пределах правого ряда движения при отклонении пассажирского маршрутного транспортного средства для заезда в карман, согласно рисунку 5, составит $\Delta X_{ам1}$.

Значение $X_{ам1}$ является ограничением для координаты пути торможения транспортного средства в потоке, который едет сзади и должен соответствующим образом уменьшить скорость. Необходимое расстояние, которое может использовать водитель для снижения скорости до уровня скорости движения пассажирского маршрутного транспортного средства, может быть рассчитано по формуле:

$$\Delta X_{ар1} = t_1 + t_2 + 0,5t_3 \cdot V_{ар1} + \frac{V_{ар1}^2 - V_{ам1}^2}{2 \cdot a_{ар1}}, \quad (12)$$

где $\Delta X_{ар1}$ – расстояние, которое может использовать водитель для снижения скорости к уровню скорости движения пассажирского маршрутного транспортного средства, м/с;

t_1 – время реакции водителя, с;

t_2 – время запаздывания тормозного привода, с;

t_3 – время нарастания замедления, с.

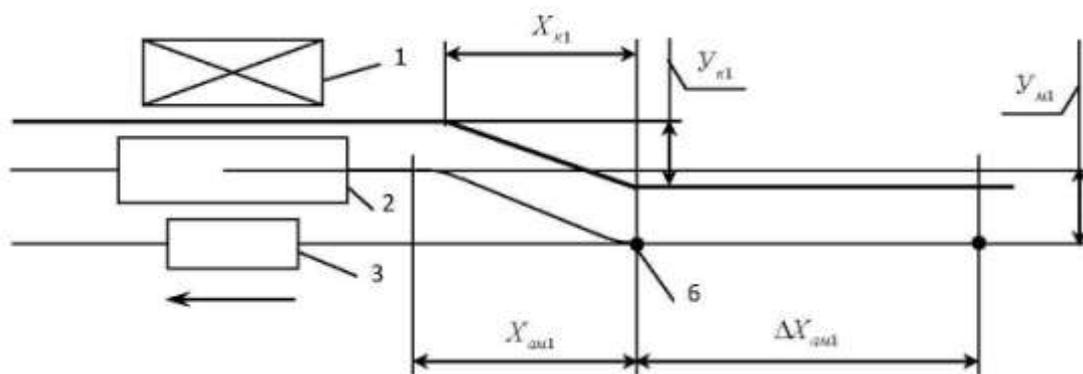


Рисунок 5 – Формирование области взаимодействия транспортных средств при отклонении пассажирского маршрутного транспортного средства для заезда в карман

Рассмотрим движение для схемы на рисунке 2, где создается ситуация на подходах к конфликтной точке 7 (рисунок 6). Конфликтная точка 7 формирует снижение скоростей транспортных средств на правой полосе и соответствующее уплотнение транспортного потока. Также пассажирское маршрутное транспортное средство на подходах к конфликтной точке 7 увеличивает скорость движения и начинает маневрировать из отгона заездного кармана на правую полосу движения с целью дальнейшего движения по полосе.

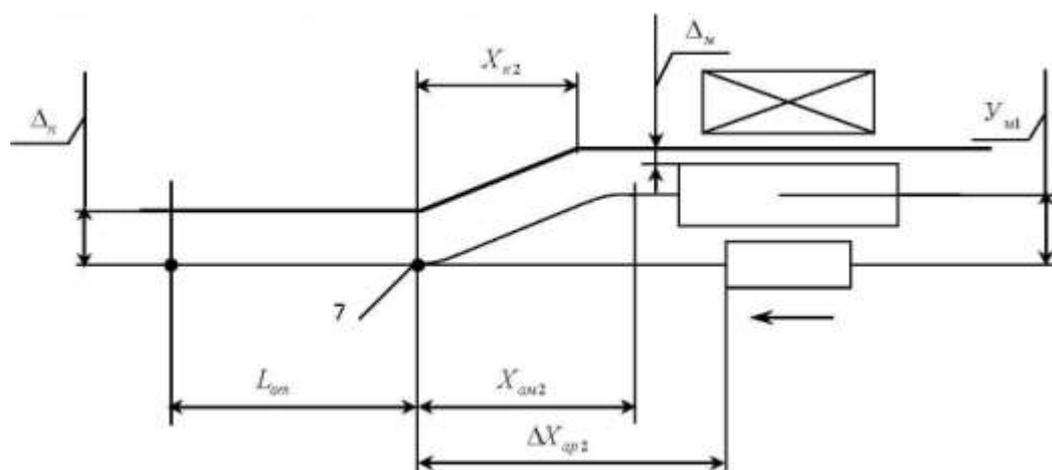


Рисунок 6 – Схема координатной привязки транспортных средств при выполнении маневра выезда из заездного кармана городского пассажирского транспортного средства

Значение ΔX_{ap2} является ограничением для координаты пути торможения транспортного средства в потоке, который движется сзади и должен соответствующим образом уменьшить скорость. Необходимое расстояние, которое может использовать водитель для снижения скорости к уровню скорости движения пассажирского маршрутного транспортного средства, может быть рассчитано:

$$\Delta X_{ap2} = t_1 + t_2 + 0,5t_3 \cdot V_{ap1} + \frac{V_{ap1}^2 - V_{am2}^2}{2 \cdot a_{ap1}}, \quad (13)$$

где ΔX_{ap2} – расстояние, которое может применить водитель для снижения скорости к уровню скорости движения пассажирского маршрутного транспортного средства, м/с.

Из приведенных формул получены значения максимальных скоростей движения, что более качественно отображает указанные условия для транспортного потока:

- для случая остановки возле края проезжей части:

$$V_{ap}^{\max} = \frac{X_{m12}^{\max} - \bar{L}_{am} - 2 \cdot \bar{L}_{ap}}{2 \cdot K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\frac{1}{2} \bar{B}_{ap} + \Delta_{\delta} + \bar{B}_{am} + \Delta_m - \Delta_n \right)}{g \cdot \varphi_y}}} - \frac{2 \cdot \bar{L}_{am} + \bar{L}_{ap} \cdot \bar{J}_{ap} \cdot K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\frac{1}{2} \bar{B}_{ap} + \Delta_{\delta} + \bar{B}_{am} + \Delta_m - \Delta_n \right)}{g \cdot \varphi_y}}}{2 \cdot X_{m12}^{\max} - \bar{L}_{am} - 2 \cdot \bar{L}_{ap}}, \quad (14)$$

– для случая остановки в заездном кармане:

$$V_{am}^{\max} = \frac{X_{m12}^{\max} - 2 \cdot \bar{L}_{am} - \Delta X}{K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\Delta_n + Y_{\kappa 1} - \Delta_m - \frac{1}{2} \bar{B}_{am} \right)}{g \cdot \varphi_y}}} - \sqrt{2 \cdot \Delta X \cdot \bar{a}_{am2}}. \quad (15)$$

Согласно (14) и (15) сформулируем критерии оценки безопасности движения пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок. За основу предлагается взять значение критерия, которое больше единицы, с расчетом – чем больше значение критерия, тем ниже безопасность движения и выше характеристики аварийности.

Критерий безопасности движения в зоне остановки пассажирского маршрутного транспорта, предусматривающий остановку возле края проезжей части, (рисунок 1):

$$K_1 = 1 + \frac{V_{p1}}{V_{ap}^{\max}}, \quad (16)$$

где K_1 – критерий безопасности движения в зоне остановки пассажирского маршрутного транспорта, предусматривающий остановку возле края проезжей части, ед.;

V_{p1} – скорость транспортного потока в крайнем правом ряду движения в зоне остановки пассажирского маршрутного транспортного средства возле края проезжей части, м/с.

Критерий безопасности движения в зоне остановки пассажирского маршрутного транспорта, предусматривающий остановку в заездном кармане, (рисунок 2):

$$K_2 = 1 + \frac{V_{m1}}{V_{am}^{\max}}, \quad (17)$$

где K_2 – критерий безопасности движения в зоне остановки пассажирского маршрутного транспорта, предусматривающий остановку в заездном кармане, ед.;

V_{m1} – скорость пассажирских маршрутных транспортных средств в крайнем правом ряду движения в зоне остановки пассажирского маршрутного транспортного средства в заездном кармане, м/с.

В дальнейшем необходимо разработать дополнительные критерии оценки безопасности движения, базирующиеся на анализе взаимодействия транспортных средств в конфликтных точках и зонах. Согласно рисунку 3 предлагается дополнительный критерий для K_1 , учитывающий взаимодействие транспортных средств на подходах к зоне остановки возле края проезжей части:

$$K_{11} = 1 + \left| \frac{X_{am1} - X_{m1} + \Delta X_{m1}}{X_{am1}} \right|, \quad (18)$$

где K_{11} – дополнительный критерий для K_1 , учитывающий взаимодействие тран-

спортных средств на подходах к зоне остановки пассажирского маршрутного транспортного средства возле края проезжей части, ед.

Согласно рисунку 4 предлагается дополнительный критерий для K_1 , учитывающий взаимодействие транспортных средств после зоны остановки возле края проезжей части:

$$K_{12} = 1 + \left| \frac{X_{am2} - X_{m2} - L_{ap} + \Delta X_{m2} + L_{am}}{X_{am2}} \right|, \quad (19)$$

где K_{12} – дополнительный критерий для K_1 , учитывающий взаимодействие транспортных средств после зоны остановки пассажирского маршрутного транспортного средства возле края проезжей части, ед.

Согласно положениям теории вероятностей [14, 15] значения критериев K_1 , K_{11} , K_{12} дополняют друг друга, то есть для получения значения итогового критерия оценки безопасности движения, в зоне остановки пассажирского маршрутного транспорта с остановкой возле края проезжей части, значения перечисленных критериев необходимо перемножить:

$$\bar{K}_1 = \sqrt[3]{K_1 \cdot K_{11} \cdot K_{12}}, \quad (20)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{K}_1 = \left[\left(1 + \frac{V_{p1}}{V_{ap}^{\max}} \right) \cdot \left(1 + \left| \frac{X_{am1} - X_{m1} + \Delta X_{m1}}{X_{am1}} \right| \right) \cdot \left(1 + \left| \frac{X_{am2} - X_{m2} - L_{ap} + \Delta X_{m2} + L_{am}}{X_{am2}} \right| \right) \right]^{\frac{1}{3}}, \\ V_{ap}^{\max} = \frac{X_{m12}^{\max} - \bar{L}_{am} - 2 \cdot \bar{L}_{ap}}{2 \cdot K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\frac{1}{2} \bar{B}_{ap} + \Delta_{\sigma} + \bar{B}_{am} + \Delta_m - \Delta_n \right)}{g \cdot \Phi_y}}} - \frac{2 \bar{L}_{am} + \bar{L}_{ap} \cdot \bar{j}_{ap} \cdot K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\frac{1}{2} \bar{B}_{ap} + \Delta_{\sigma} + \bar{B}_{am} + \Delta_m - \Delta_n \right)}{g \cdot \Phi_y}}}{2 \cdot \left(X_{m12}^{\max} - \bar{L}_{am} - 2 \cdot \bar{L}_{ap} \right)}, \\ X_{am1} = K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\Delta_n - \Delta_m - \frac{1}{2} \bar{B}_{am} \right)}{g \cdot \Phi_y}}, \\ X_{m1} = K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\frac{1}{2} \bar{B}_{ap} + \Delta_{\sigma} + \bar{B}_{am} + \Delta_m - \Delta_n \right)}{g \cdot \Phi_y}}, \\ X_{am2} = K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\Delta_n - \Delta_m - \frac{1}{2} \bar{B}_{am} \right)}{g \cdot \Phi_y}}, \\ X_{m2} = K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\frac{1}{2} \bar{B}_{ap} + \Delta_{\sigma} + \bar{B}_{am} + \Delta_m - \Delta_n \right)}{g \cdot \Phi_y}}. \end{array} \right. \quad (21)$$

Разработаем дополнительные критерии оценки безопасности движения, базирующиеся на анализе взаимодействия транспортных средств в конфликтных точках для K_2 . Общая длина области взаимодействия транспортных средств в потоке в пределах правого ряда движения при отклонении пассажирского маршрутного транспортного средства для заезда в карман, согласно рисунку 5, составит ΔX_{am1} .

Дополнительный критерий к значению K_2 , согласно схеме рисунка 5, возможно за-

писать в следующем виде:

$$K_{21} = 1 + \frac{\Delta X_{ap1}}{X_{am1} + \Delta X_{am1}}, \quad (22)$$

где K_{21} – дополнительный критерий для K_2 , учитывающий взаимодействие транспортных средств на подходах к зоне остановки пассажирского маршрутного транспортного средства в заездном кармане, ед.

Рассмотрим движение для схемы на рисунке 6, где создается ситуация на подходах к конфликтной точке 7. Дополнительный критерий к значению K_2 , согласно схеме рисунка 6, возможно записать в следующем виде:

$$K_{22} = 1 + \frac{\Delta X_{ap2}}{X_{am2} + L_{am}}, \quad (23)$$

где K_{22} – дополнительный критерий для K_2 , учитывающий взаимодействие транспортных средств после зоны остановки пассажирского маршрутного транспортного средства при выезде из заездного кармана, ед.

Согласно положениям теории вероятностей [14, 15] значение критериев K_2 , K_{21} , K_{22} дополняют друг друга, то есть для получения значения итогового критерия оценки безопасности движения в зоне остановки пассажирского маршрутного транспорта с остановкой возле края проезжей части значения перечисленных критериев необходимо перемножить:

$$\bar{K}_2 = \sqrt[3]{K_2 \cdot K_{21} \cdot K_{22}}, \quad (24)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{K}_2 = \left[\left(1 + \frac{V_{m1}}{V_{am}^{\max}} \right) \cdot \left(1 + \frac{\Delta X_{ap1}}{X_{am1} + \Delta X_{am1}} \right) \cdot \left(1 + \frac{\Delta X_{ap2}}{X_{am2} + L_{am}} \right) \right]^{\frac{1}{3}}, \\ V_{am}^{\max} = \frac{X_{m12}^{\max} - 2 \cdot \bar{L}_{am} - \Delta X}{K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \left(\Delta_n + Y_{\kappa 1} - \Delta_m - \frac{1}{2} \bar{B}_{am} \right)}{g \cdot \Phi_y}}} - \sqrt{2 \cdot \Delta X \cdot \bar{a}_{am2}}, \\ X_{am1} = K_m \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot V_{m1}^2 \cdot \left(\Delta_n + Y_{\kappa 1} - \Delta_m - \frac{1}{2} \bar{B}_{am} \right)}{g \cdot \Phi_y}}, \\ \Delta X_{ap1} = t_1 + t_2 + 0,5t_3 \cdot V_{p1} + \frac{\text{img alt="Diagram of a double-lane intersection with two vehicles in the conflict zone." data-bbox="520 700 670 750}}{2 \cdot \bar{J}_{ap}}, \\ X_{am2} = X_{am1}, \\ \Delta X_{ap2} = \Delta X_{ap1}. \end{array} \right. \quad (25)$$

Разработанные критерии оценки безопасности движения в зонах пунктов остановки городского пассажирского маршрутного транспорта нуждаются в дальнейшем исследовании и экспериментальном обосновании с соответствующей разработкой рекомендаций относительно их внедрения.

Предлагается в качестве объекта экспериментального исследования выбрать улично-дорожную сеть города Горловки. Группа остановок, которая будет обследована для проверки

первого критерия оценки безопасности движения (рисунок 7):

- № 1 – остановка «245 квартал» возле дома № 160 по проспекту Победы;
- № 2 – остановка «Магазин Универсам» возле дома № 134 по проспекту Победы;
- № 3 – остановка «Магазин Космос» возле дома № 118 по проспекту Победы;
- № 4 – остановка «Магазин Мелодия» возле дома № 17 по улице Герцена;
- № 5 – остановка «Кинотеатр Украина» возле дома № 4 по проспекту Победы;
- № 6 – остановка «Рынок» возле дома № 18 по улице Петровского.

Группа остановок, которая будет обследована для проверки второго критерия оценки безопасности движения (рисунок 8):

- № 1 – остановка «Магазин Променад» возле дома № 72 по проспекту Победы;
- № 2 – остановка «Площадь им. Ленина» возле дома № 72 по проспекту Победы в направлении к площади Победы;
- № 3 – остановка «Площадь Восстания» по улице Интернациональная в направлении к центру города;
- № 4 – остановка «Гипермаркет Галактика» возле дома № 24 по улице Маршала Жукова;
- № 5 – остановка «Больница № 3» по улице Горловской Дивизии возле перекрестка с улицей Политехническая;
- № 6 – остановка «Храм» по улице Горловской Дивизии возле перекрестка с улицей Щербакова.

По всем пунктам остановки была собрана статистика ДТП за пять лет 2009/2013. Расчеты выполнены с применением Microsoft Excel. Данные соответствующим образом обработаны и приведены в графическом виде.

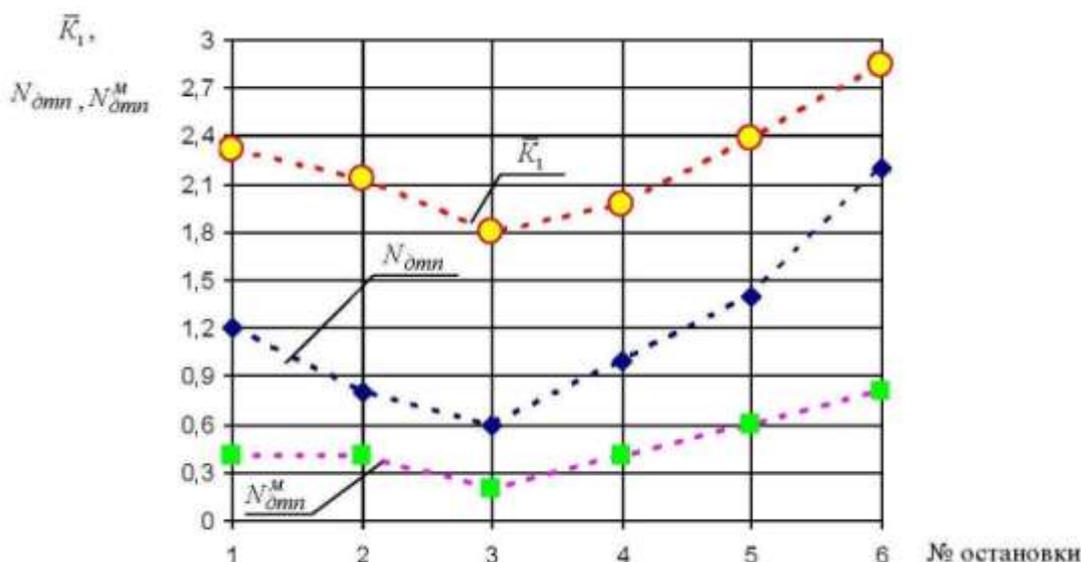


Рисунок 7 – Значение критерия \bar{K}_1 в единицах и соответствующие значения среднегодового количества ДТП в общем количестве N_{omn} и в количестве N_{omn}^M при участии пассажирского маршрутного транспорта по номерам остановок

Был рассчитан коэффициент линейной корреляции между значениями N_{omn} , N_{omn}^M и \bar{K}_1 , который составил 0,961 и 0,948, при 6 парах точек и доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$, нормативное значение коэффициента корреляции составляет 0,811 [15], таким образом, 0,961 и 0,948 > 0,811, что указывает на адекватность расчетных данных данным, которые получены в результате натурных наблюдений.

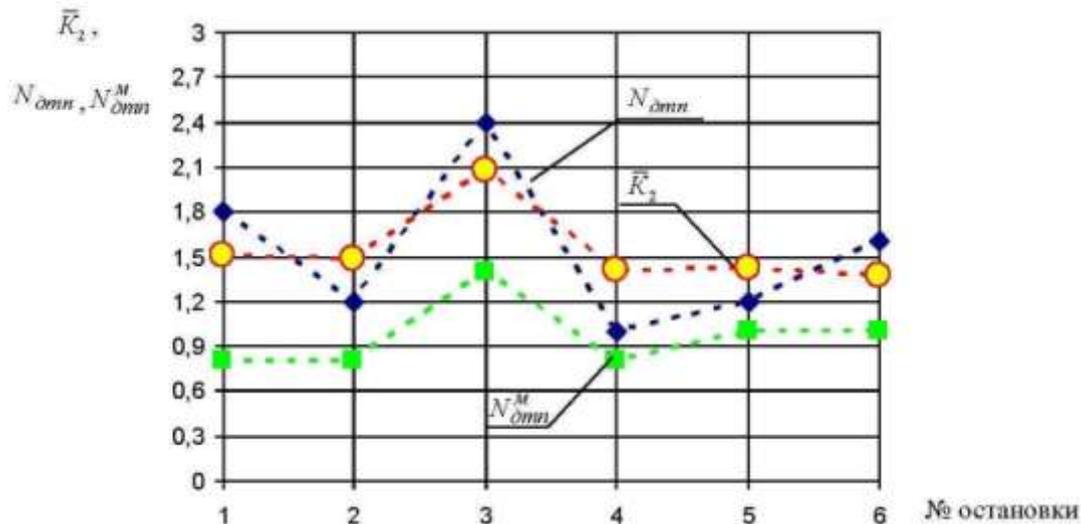


Рисунок 8 – Значение критерия \bar{K}_2 в единицах и соответствующие значения среднегодового количества ДТП в общем количестве N_{omn} и в количестве N_{omn}^M при участии пассажирского маршрутного транспорта по номерам остановок

Был рассчитан коэффициент линейной корреляции между значениями N_{omn} , N_{omn}^M и \bar{K}_2 , который составил 0,841 и 0,840, при 6 парах точек и доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$, нормативное значение коэффициента корреляции составляет 0,811 [15]. Таким образом, 0,841 и 0,840 > 0,811, что указывает на адекватность расчетных данных данным, которые получены в результате натурных наблюдений.

Методика оценки безопасности движения в зонах остановок пассажирского маршрутного транспорта.

Этап 1. Сбор исходных данных относительно характеристик остановок, кинематики движения пассажирского маршрутного транспорта и кинематики движения транспортного потока на правой полосе проезжей части.

Этап 2. Расчет значений предложенных критериев для каждой остановки в зависимости от способа остановки пассажирского маршрутного транспорта: возле края проезжей части или в заездном кармане.

Этап 3. Определение перечня остановок пассажирского маршрутного транспорта, которые по значениям оценочных критериев имеют показатели аварийности более трех прогнозируемых ДТП на пять лет, то есть среднегодовая аварийность более 0,6.

Соответственно экспериментальным расчетам были получены коэффициенты пропорциональности между значениями критериев и показателями аварийности с участием пассажирского маршрутного транспорта: для \bar{K}_1 значение коэффициента составляет 2,7 ед./ДТП; для \bar{K}_2 значение коэффициента составляет 1,6 ед./ДТП.

Для среднегодовой аварийности 0,6 ДТП/год значения коэффициентов будут составлять: для \bar{K}_1 значение при среднегодовой аварийности 0,6 составляет 1,7 ед.; для \bar{K}_2 значение при среднегодовой аварийности 0,6 составляет 1,1 ед.

Предлагается принять полученные значения критериев за нормативные, в случае превышения критериями указанных значений необходимо вносить корректирование в кинематические характеристики движения транспортного потока на правой полосе и пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок.

Этап 4. Разработка мероприятий по обеспечению безопасности движения в зонах остановок пассажирского маршрутного транспорта.

В случае превышения критериями нормативных значений необходимо применить

следующие мероприятия с доведением значений критериев до нормативных:

- ввести ограничение скорости движения пассажирских маршрутных транспортных средств на подходах к зоне остановки с применением дорожного знака 3.29 и знака 3.30 – после зоны остановки;
- ввести ограничение по соблюдению дистанции между транспортными средствами в зонах остановок пассажирского маршрутного транспорта;
- изменить геометрические параметры и характеристики обустройства остановки пассажирского маршрутного транспорта.

Выводы

Разработана методика оценки безопасности движения городского пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок.

Сформулированы характеристики кинематики движения городского пассажирского маршрутного транспорта и транспортных средств потока в зонах остановок. Разработаны кинематические схемы образования взаимодействия между транспортными средствами пассажирского маршрутного транспорта и транспортными средствами потока. Проанализированы и получены зависимости для расчетов координат перемещения соответствующих транспортных средств в зонах остановок. Сформулированы характеристики безопасности движения городского пассажирского маршрутного транспорта и транспортных средств потока в зонах остановок. Получены записи двух критериев оценки безопасности движения в зонах остановок пассажирских маршрутных транспортных средств для случаев остановки возле края проезжей части и в заездном кармане. Для каждого критерия дополнительно синтезированы критерии оценки безопасности движения на подходах к соответствующим пунктам остановки пассажирских маршрутных транспортных средств. Проведены экспериментальные расчеты по проверке установленного влияния кинематики движения пассажирского маршрутного транспорта на безопасность дорожного движения в зонах остановок и сформулирована соответствующая методика.

Список литературы

1. Наши дороги. Статистика ДТП в Украине за 2013–14 года [Электронный ресурс]. URL: http://dtpua.com/stat_dtp.html.
2. Improving Global Road Safety: Note by the Secretary-General // United Nations General Assembly Norway. 2011. [Электронный ресурс]. URL: http://www.unec.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp1/Improving_Global_Road_Safety_2011.pdf.
3. Ewing R. Pedestrian and Transit Friendly Design / Joint Center for Environment and Urban Problems. Florida Atlantic University / Florida International University. March 1996. 103 p.
4. Sayers M.W., Karamihas S.M. Interpretation of Road Roughness Profile Data // Federal Highway Administration Report FHWA / RD-96 / 101, 1996.
5. Шештокас В.В., Самойлов Д.С. Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах. М.: Транспорт, 1987. 207 с.
6. Гудков В.А., Чернова Г.А., Кулько П.А. Эксплуатационная безопасность остановочных пунктов // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2005. № 5. С. 46–51.
7. Исхаков М.М., Рассоха В.И. Комплексное исследование остановочных пунктов городского пассажирского транспорта г. Оренбурга // Вестник ОГУ. 2007. № 9. С. 207–214.
8. Фурманенко О.С., Сухенько О.С. Правила розміщення та обладнання зупинок міського електро- та автомобільного транспорту: КДП-204/12 Україна 240-95: Затв. Держжитлокомунгоспом України 15.05.95. К.: Держжитлокомунгосп України, 1995. 14 с.
9. ДБН В.2.3-5-2001 Вулиці та дороги населених пунктів. К.: Держбуд, 2001. 50 с.
10. Варелопуло Г.А. Организация движения перевозок на городском пассажирском транспорте. М.: Транспорт, 1990. 208 с.
11. Домке Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Изд. центр «Академия», 2009. 288 с.
12. Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. Технические средства организации дорожного движения. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 255 с.
13. Справочник по безопасности дорожного движения, обзор мероприятий по безопасности дорожного

движения / под ред. В.В. Сильянова. Осло–Москва–Хельсинки, 2001. 576 с.

14. Горкавий В.К., Ярова В.В. Математична статистика. К.: ВД «Професіонал», 2004. 384 с.

15. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.

А.Н. Дудников, В.В. Нужный, Е.С. Смирнов
Автомобильно-дорожный институт
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» г. Горловка
Методика оценки безопасности движения
городского пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок

Рассматривается решение проблемы повышения безопасности движения городского пассажирского маршрутного транспорта в зонах остановок путем влияния на кинематику движения пассажирского маршрутного транспорта по разработанной методике. Сформулированы характеристики кинематики движения городского пассажирского маршрутного транспорта и транспортных средств потока в зонах остановок. Разработаны кинематические схемы образования взаимодействия между транспортными средствами пассажирского маршрутного транспорта и транспортными средствами потока. Проанализированы и получены зависимости для расчета координат перемещения соответствующих транспортных средств в зонах остановок. Проведена формализация процессов движения в зонах пунктов остановки городских пассажирских маршрутных транспортных средств. Получены записи двух критериев оценки безопасности движения в зонах остановок пассажирских маршрутных транспортных средств для случая остановки возле края проезжей части и в кармане. Для каждого критерия были дополнительно синтезированы критерии оценки безопасности движения на подходах к соответствующим пунктам остановок пассажирских маршрутных транспортных средств. В работе приведены результаты экспериментальных расчетов по проверке установленного влияния кинематики движения пассажирского маршрутного транспорта на безопасность дорожного движения в зонах остановок и сформулирована соответствующая методика. Доказано влияние кинематики движения пассажирского маршрутного транспорта на безопасность дорожного движения в зонах остановок. Сформулирована методика оценки безопасности движения пассажирского маршрутного транспорта в зонах пунктов остановки с соответствующими технологическими и инженерными предложениями.

ТРАНСПОРТ ПАССАЖИРСКИЙ МАРШРУТНЫЙ, ПУНКТ ОСТАНОВКИ, СКОРОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ, КРИТЕРИЙ ОЦЕНОЧНЫЙ, КАРМАН ЗАЕЗДНОЙ, ИНТЕНСИВНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

A.N. Dudnikov, V.V. Nuzhny, E.S. Smirnov
Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka
Safety Evaluation Technique of the Urban Passenger Route Transport in Stop Zones

The problem solving of the urban passenger route transport safety increasing in stop zones by the impact on kinematics of the passenger route transport movement according to the developed technique is considered. Characteristics of kinematics of the urban passenger route transport movement and traffic flow transport in stop zones are formulated. Kinematic schemes of the interaction between passenger route transport and traffic flow transport are developed. Dependences for the coordinate calculation of corresponding vehicles in stop zones are analyzed and obtained. Formalization of the traffic processes of the urban passenger route transport in stop zones is carried out. Records of two criteria of the traffic safety evaluation of the passenger route transport in stop zones in case of stopping at the bank line and in the pocket are obtained. In addition for each criterion evaluation indicators of passenger route transport traffic safety on the way to corresponding stops are synthesized. In the work the results of experimental calculations to examine established kinematic impact of the passenger route transport movement on traffic safety in stop zones are given, corresponding technique is formulated. The kinematic impact of the passenger route transport movement on traffic safety in stop zones is proved. Safety evaluation technique of the passenger route transport in stop zones with corresponding technological and engineering suggestions is formulated.

PASSENGER ROUTE TRANSPORT, STOP, TRAFFIC SAFETY, EVALUATION INDICATOR, TRAFFIC INTENSITY, SPEED, ENTRANCE POCKET

Сведения об авторах

А.Н. Дудников

SPIN-код: 8393-4943
Телефон: +38 (093) 8905884
Эл. почта: andudnikov@rambler.ru

Е.С. Смирнов

Телефон: +38(066) 0662105574
Эл. почта: smirnoves@rambler.ru

В.В. Нужный

SPIN-код: 8239-4092
Телефон: +38(063) 9700445
Эл. почта: nujniy.v.tt.adi@gmail.com

Статья поступила 22.12.2015

© А.Н. Дудников, В.В. Нужный, Е.С. Смирнов, 2016
Рецензент канд. техн. наук, доц. А.В. Толок