

## Особенности оценки безопасности движения в интенсивных транспортных потоках на мостовых переходах

*Н.А. Филатова, О.В. Алексеева, О.С. Гасилова, А.С. Щетников,  
В.В. Старков, Б.А. Сидоров*

*Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург*

**Аннотация:** В работе рассматривается безопасность движения в интенсивных транспортных потоках на мостовых переходах. В случае, когда мостовой переход имеет по одной полосе движения в каждом направлении, при ремонте половины ширины проезжей части - плотность транспортного потока резко увеличивается. Увеличение плотности транспортного потока приводит к изменению скорости движения транспортных средств и к уменьшению минимально безопасного расстояния между автомобилями, движущимися прямолинейно по одной траектории по мостовому переходу во время его ремонта или реконструкции. При движении транспортных средств с минимально безопасным расстоянием, указанным в таблице, будет обеспечиваться максимальная пропускная способность мостового перехода при его ремонте или реконструкции.

**Ключевые слова:** безопасность движения, мостовой переход, интенсивность движения, ремонт проезжей части, минимально безопасное расстояние.

В России ежегодно ремонтируется большое число мостовых переходов [1, 2]. В случае, когда мостовой переход имеет по одной полосе движения в каждом направлении, при ремонте половины ширины проезжей части - плотность транспортного потока резко увеличивается. В соответствии с ОДМ 218.6.014-2014 «Рекомендации по организации движения и ограждения мест производства дорожных работ» встречный разъезд по одной полосе регулируется либо при помощи светофоров, либо знаками.

Увеличение плотности транспортного потока приводит к изменению скорости движения транспортных средств и к уменьшению дистанции между автомобилями, движущимися прямолинейно по одной траектории по мостовому переходу во время его ремонта или реконструкции.

Транспортный поток может иметь разный состав. Важным аспектом при его характеристике являются динамические габариты автомобиля. Учет динамического габарита позволяет определить зону проезжей части, исключая возможность возникновения ДТП при движении с заданной скоростью. Динамический габарит автомобиля формируется с учетом его длины, безопасного расстояния между движущимися прямолинейно по одной траектории транспортными средствами и промежутка до находящегося впереди автомобиля [3].

При ремонте и реконструкции, как автомобильных дорог, так и мостовых переходов, появляется потребность определения динамических габаритов транспортных средств. При этом довольно часто учитывается только время реакции водителя  $t_p$ , считая остальные тормозные показатели равными. Как следствие появляется большая погрешность оценки интенсивности движения транспортных средств, что приводит к искажению пропускной способности автомобильных дорог и мостовых переходов.

В то же время при ремонте мостовых переходов ошибочно предполагать, что дистанция между движущимися прямолинейно по одной траектории транспортными средствами может быть рассчитана без учета расстояния, пройденного за время нарастания замедления [4-7].

При эксплуатации мостовых переходов расчет безопасной дистанции  $d$  производится с учетом разницы тормозных путей (или замедлений) автомобилей [3, 8, 9].

$$d = V_a''(t_1'' + t_2'' + 0,5t_3'') + \frac{(V_a'')^2}{2j''} - V_a'(t_2' + 0,5t_3') - \frac{(V_a')^2}{2j'}, \quad (1)$$

где:

$V_a''$  – скорость, с которой движется автомобиль  $A_2$ ;

$t_1''$  – время реагирования водителя автомобиля  $A_2$  на возникновение опасности;

---

$t_2''$  – время запаздывания включения тормозного механизма автомобиля  $A_2$ ;

$t_3''$  – время нарастания замедления автомобиля  $A_2$ ;

$j''$  – замедление автомобиля  $A_2$ ;

$V_a'$  – скорость, с которой движется автомобиль  $A_1$ ;

$t_2'$  – время запаздывания включения тормозного механизма автомобиля  $A_1$ ;

$t_3'$  – время нарастания замедления автомобиля  $A_1$ ;

$j'$  – замедление автомобиля  $A_1$ .

В случае расчета дистанции по указанной формуле (1), влияние интенсивности движения транспортного потока на безопасность движения автомобилей, движущихся прямолинейно по одной траектории с большими скоростями, не существенно. Тогда как при движении по мостовым переходам, из-за повышения плотности транспортного потока в случае ремонта половины ширины проезжей части необходимо уточнять известные формулы, используемые при оценке безопасности движения и проведении автотехнических исследований [9].

Вычислим дистанцию между автомобилями  $A_1$  и  $A_2$ , движущимися по мостовому переходу прямолинейно по одной траектории с одинаковой скоростью  $V_a$  при его ремонте или реконструкции, при выполнении неравенств

$$\begin{aligned} j_1(T_1 - t_{13n}) - j_2(T_2 - t_{23}) &> 0, \\ j_1(T_1 - t_{13n}) - 2V_a &< 0, \end{aligned}$$

и неравенств

$$0 < t_{13n} < T_1 < t_{23} < T_2 < t_{2ocm}^{(2)} < t_{1ocm}^{(2)}. \quad (2)$$

где:

$t_{1zn}$  – время запаздывания включения тормозного механизма автомобиля  $A_1$ ;

$j_1$  – замедление транспортного средства  $A_1$ ;

$$T_1 = t_{1zn} + t_{1nz};$$

$t_{1nz}$  – время нарастания замедления транспортного средства  $A_1$ ;

$t_{1ocm}^{(2)}$  – время движения транспортного средства  $A_1$  до полной остановки;

$j_2$  – замедление транспортного средства  $A_2$ ;

$t_{2з} = t_{2p} + t_{2zn}$  – время запаздывания;

$t_{2p}$  – время реагирования водителя автомобиля  $A_2$  на возникновение опасности;

$t_{2zn}$  – время запаздывания включения тормозного механизма автомобиля  $A_2$ ;

$t_{2nz}$  – время нарастания замедления транспортного средства  $A_2$ ;

$$T_2 = t_{2з} + t_{2nz};$$

$t_{2ocm}^{(2)}$  – время движения транспортного средства  $A_2$  до полной остановки.

В рассматриваемом случае законы изменения скорости и пути для автомобилей  $A_1$  и  $A_2$  соответственно имеют вид:

$$V_1(t) = \begin{cases} V_a, & 0 \leq t \leq t_{1zn}; \\ \left( V_a + \frac{j_1}{2} t_{1zn} \right) - \frac{j_1}{2} t, & t_{1zn} < t \leq T_1; \\ \left[ V_a + \frac{j_1}{2} (T_1 + t_{1zn}) \right] - j_1 t, & T_1 < t \leq t_{1ocm}^{(2)}; \\ 0, & t > t_{1ocm}^{(2)}. \end{cases} \quad (3)$$

$$S_1(t) - S^0 = \begin{cases} V_a t, & 0 \leq t \leq t_{13n}; \\ -\frac{j_1}{4} t^2 + \left( V_a + \frac{j_1}{2} t_{13n} \right) t - \frac{j_1}{4} (t_{13n})^2, & t_{13n} < t \leq T_1; \\ -\frac{j_1}{2} t^2 + \left[ V_a + \frac{j_1}{2} (T_1 + t_{13n}) \right] t - \frac{j_1}{4} ((T_1)^2 + (t_{13n})^2), & T_1 < t \leq t_{1ocm}^{(2)}; \\ \frac{1}{2} (T_1 + t_{13n}) V_a + \frac{(V_a)^2}{2j_1} - \frac{j_1}{8} (T_1 - t_{13n})^2, & t > t_{1ocm}^{(2)}. \end{cases} \quad (4)$$

$$V_2(t) = \begin{cases} V_a, & 0 \leq t \leq t_{23}; \\ \left( V_a + \frac{j_2}{2} t_{23} \right) - \frac{j_2}{2} t, & t_{23} < t \leq T_2; \\ \left[ V_a + \frac{j_2}{2} (T_2 + t_{23}) \right] - j_2 t, & T_2 < t \leq t_{2ocm}^{(2)}; \\ 0, & t > t_{2ocm}^{(2)}. \end{cases} \quad (5)$$

$$S_2(t) = \begin{cases} V_a t, & 0 \leq t \leq t_{23}; \\ -\frac{j_2}{4} t^2 + \left( V_a + \frac{j_2}{2} t_{23} \right) t - \frac{j_2}{4} (t_{23})^2, & t_{23} < t \leq T_2; \\ -\frac{j_2}{2} t^2 + \left[ V_a + \frac{j_2}{2} (T_2 + t_{23}) \right] t - \frac{j_2}{4} ((T_2)^2 + (t_{23})^2), & T_2 < t \leq t_{2ocm}^{(2)}; \\ \frac{1}{2} (T_2 + t_{23}) V_a + \frac{(V_a)^2}{2j_2} - \frac{j_2}{8} (T_2 - t_{23})^2, & t > t_{2ocm}^{(2)}. \end{cases} \quad (6)$$

Используя равенства (3), (4), (5), (6) и неравенства (2), запишем выражения функций  $\Delta V(t) = V_1 - V_2$  и  $s(t) = \Delta S(t) - S^0 = S_1 - S_0 - S_2$ , найдем минимально безопасное расстояние [10].

Формулы, приведенные в таблице 1, отражают особенности оценки безопасности движения в интенсивных транспортных потоках на мостовых переходах.

Таблица 1

Определение минимально безопасного расстояния между движущимися автомобилями при заданных условиях

Условия		Минимально безопасное расстояние
$0 < t_{13n} < T_1 < t_{23} < < T_2 < t_{2ocm}^{(2)} < t_{1ocm}^{(2)}$	$j_2 - 2j_1 \neq 0;$ $j_2 - j_1 > 0.$	$\frac{j_1 j_2 [(T_2 - T_1)^2 + (T_2 - t_{13n})^2 + (t_{23} - T_1)^2 + (t_{23} - t_{13n})^2]}{8(j_2 - j_1)} - \frac{(j_2)^2 (T_2 - t_{23})^2 + (j_1)^2 (T_1 - t_{13n})^2}{8(j_2 - j_1)}$
	$j_2 - 2j_1 = 0.$	$\frac{j_1}{4} [(T_2 - T_1)^2 + (T_2 - t_{13n})^2 + (t_{23} - T_1)^2 + (t_{23} - t_{13n})^2] - \frac{j_1}{8} [4(T_2 - t_{23})^2 + (T_1 - t_{13n})^2]$
$0 < t_{13n} < T_1 = = t_{23} < T_2 < t_{2ocm}^{(2)} < t_{1ocm}^{(2)}$	$j_2 - 2j_1 \neq 0;$ $j_2 - j_1 > 0.$	$\frac{1}{8} [j_1 (t_{23} - t_{13n})^2 - j_2 (T_2 - t_{23})^2] + \frac{j_1 j_2}{8(j_2 - j_1)} (T_2 - t_{13n})^2$
	$j_2 - 2j_1 = 0.$	$S_{\min}^0 = \frac{j_1}{8} [(t_{23} - t_{13n})^2 - 2(T_2 - t_{23})^2 + 2(T_2 - t_{13n})^2]$

Во время ремонта или реконструкции мостовых переходов с целью обеспечения их пропускной способности и безопасности движения необходимо производить расчет минимально безопасного расстояния между автомобилями, движущимися прямолинейно в одном направлении. При движении транспортных средств с минимально безопасным расстоянием, указанным в таблице 1, будет обеспечиваться максимальная пропускная способность и безопасность движения на мостовом переходе при его ремонте или реконструкции.

### Литература

1. Филатова А.В., Игнатъев П.В., Родионов М.В. Ремонт пролетных строений моста с применением алкилалкоксисилановой смеси и полимерной фибры при строительстве автомобильных дорог// Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4691.



2. Бандурин М.А. Мониторинг и расчёт остаточного ресурса аварийных мостовых переездов через водопроводящие сооружения// Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1260](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1260).
3. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения. М.: Транспорт, 2001. 247 с.
4. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. М.: Экзамен, 2003. 208 с.
5. Карев Б.Н., Сидоров Б.А., Недоростов П.М. Методы расчета безопасных расстояний при попутном движении транспортных средств: монография / Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т., 2005. 315 с.
6. Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., USA, 2000. 1134 p.
7. Zyryanov V., Sanamov R. Improving urban public transport operation: experience of Rostov-on-Don (Russia) // International Journal of Transport Economics. 2009. V.36. №1. pp.83-96.
8. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Транспорт, 1989. 255 с.
9. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
10. Михалева Л.В., Карев Б.Н., Сидоров Б.А. Влияние динамики транспортных средств на безопасность дорожного движения: монография / Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. 209 с.

### References

1. Filatova A.V., Ignat'ev P.V., Rodionov M.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4691](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4691).
  2. Bandurin M.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1260](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1260).
-



3. Klinkovshtejn G.I., Afanas'ev M.B. Organizaciya dorozhnogo dvizheniya [Organization of traffic]. M.: Transport, 2001. 247 p.
4. Suvorov Ju.B. Sudebnaja dorozhno-transportnaja jekspertiza [Judicial road and transport examination]. M.: Jekzamen, 2003. 208 p.
5. Karev B.N., Sidorov B.A., Nedorostov P.M. Metody rascheta bezopasnyh rasstojanij pri poputnom dvizhenii transportnyh sredstv [Methods of calculation of safe distances at the passing movement of vehicles]: monografiya. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotehn. un-t., 2005. 315 p.
6. Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., USA, 2000. 1134 p.
7. Zyryanov V., Sanamov R. International Journal of Transport Economics. 2009. V.36. №1. pp.83-96.
8. Ilarionov V.A. Jekspertiza dorozhno-transportnyh proisshestvij [Examination of road accidents]. V.A. Ilarionov. M.: Transport, 1989. 255 p.
9. Babkov V.F. Dorozhnye usloviya i bezopasnost' dvizheniya [Road conditions and traffic safety]. V.F. Babkov. M.: Transport, 1993. 271 p.
10. Mihaleva L.V., Karev B.N., Sidorov B.A. Vliyanie dinamiki transportnyh sredstv na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya [Influence of dynamics of vehicles on traffic safety]: monografiya. Ekaterinburg: USFEU, 2008. 209 p.