

**А. Н. Дудников, канд. техн. наук**

**Автомобильно-дорожный институт**

**ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ МНОГОРЯДНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА УРОВНЕ ОТДЕЛЬНОГО УЧАСТНИКА ДВИЖЕНИЯ**

*Сформулированы теоретические основы дальнейшего раскрытия исследования обеспечения безопасности движения многорядных плотных транспортных потоков на микроскопическом уровне. Сформулировано условие, при котором изменения в подвижной дорожно-транспортной ситуации, в виде сменности транспортных средств в соседнем левом ряду, будут восприняты водителем, что обеспечит безопасность движения многорядного транспортного потока в условиях принятия решения водителем о смене полосы движения с целью опережения транспортных средств, движущихся впереди.*

**Ключевые слова:** *поток транспортный, поток транспортный плотный, характеристики транспортного потока, безопасность движения, ситуация дорожно-транспортная, ряды движения, скорость ряда движения*

### **Постановка научной проблемы и задачи, которая решается**

Безопасность дорожного движения – одна из главных проблем автомобильно-дорожного комплекса развитых стран мира. Сегодня автомобильный транспорт признан наиболее опасным из всех других видов транспорта. Согласно данным статистики стран Европейского союза перемещение человека с помощью автомобиля в десять раз опаснее, чем в самолете и в двадцать раз опаснее, чем в вагоне поезда. За один год в странах ЕС происходит около 1 млн 300 тыс. дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых гибнет свыше 45 тыс. человек и травмируется около 1 млн 700 тыс. человек [1]. Указанные данные раскрывают значительную актуальность комплекса проблем безопасности дорожного движения на дорогах общего пользования государственного значения. По удельным показателям в мире аварийность на автомобильных дорогах общего пользования государственного значения является средней, то есть они признаны довольно безопасным типом дорог, но по тяжести и по количеству участников отдельных ДТП указанные дороги являются наиболее опасными.

Существующие методы и стандартизированные мероприятия обеспечения безопасности движения на участках дорог, по имеющимся в настоящее время показателям аварийности, не позволяют решить практическую проблему повышения безопасности движения на автомобильных дорогах общего пользования государственного значения [1]. Это свидетельствует о необходимости разработки теоретических основ и практических методов обеспечения безопасности движения.

Движение плотных транспортных потоков на указанных дорогах является следствием недостаточного развития сети автомобильных дорог не только по длине, но и по количеству полос движения в одном направлении. Поэтому актуальным является решение проблемы с учетом перспективного увеличения количества полос движения одного направления, как минимум до трех (указанное движение принято рассматривать как многорядное). Таким образом, сформулирована научная проблема разработки теоретических основ и практических методов обеспечения безопасности движения многорядных плотных транспортных потоков, первостепенной задачей которой является анализ безопасности движения многорядного транспортного потока на уровне отдельного участника движения.

### **Анализ последних исследований**

Основные результаты исследований безопасности движения многорядных транспорт-

ных потоков отражены в [1–10], где на эмпирическом уровне проведены исследования основных закономерностей формирования многорядных транспортных потоков в виде связей характеристик плотности [4, 5], скорости и интенсивности движения. Безопасность движения многорядных транспортных потоков исследовалась в основном в условиях показателей относительной аварийности [5–8] коэффициентами аварийности [9]. Авторами [4, 10] предложено рассматривать безопасность движения указанных потоков, исходя из анализа возможности перестроения автомобилей на соседние полосы движения в условиях определенной вероятности появления в них свободного места.

### ***Цель работы***

Целью работы является разработка условия формирования безопасности движения многорядного транспортного потока на уровне отдельного участника движения.

### ***Основная часть***

Понятие безопасности движения многорядного транспортного потока [2, 3] предполагает возникновение конфликта между транспортными средствами в подвижной дорожно-транспортной ситуации, которая сложилась на определенной длине дороги или на территории восприятия многорядного движения соответствующим водителем [2, 3], где возникает ошибка участника движения и создается «правовая конфликтная ситуация». Поэтому необходимо проанализировать, с применением микроскопического подхода, указанное явление с целью разработки теоретических основ методов обеспечения безопасности движения. Восприятие дорожно-транспортной ситуации [11] предусматривает последовательную оценку взаимодействия каждого отдельного участника дорожного движения с другими, которые находятся в рамках указанной ситуации. В условиях движения многорядных транспортных потоков на участке дороги определенной длины относительно отдельного участника дорожного движения складываются определенные типичные случаи совместного взаимодействия на уровне системы «Автомобиль – Водитель – Дорога», которые указаны на рисунке 1.

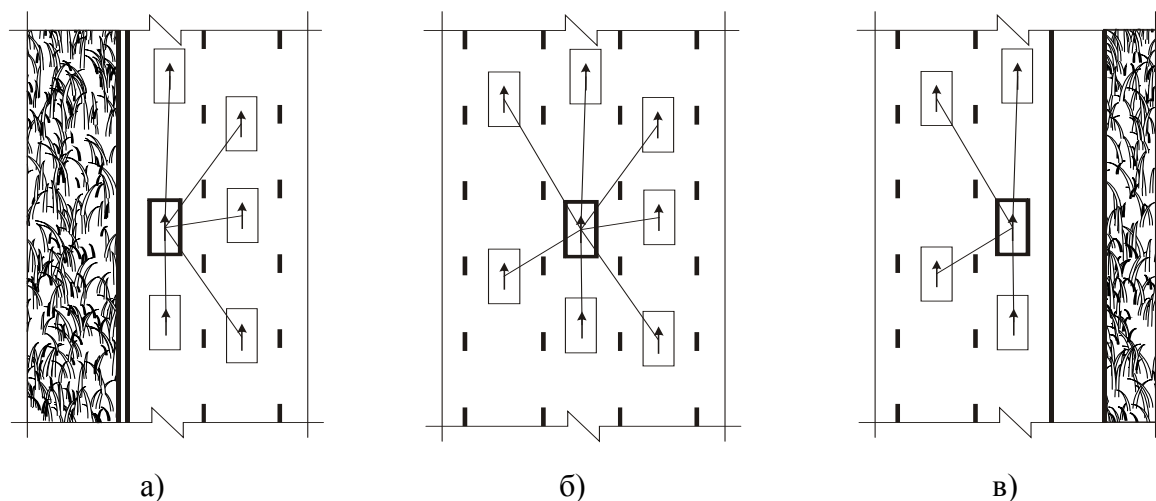


Рисунок 1 – Случаи взаимодействия отдельного транспортного средства с другими в подвижной дорожно-транспортной ситуации, в условиях движения многорядных плотных транспортных потоков по определённому участку дороги

Дорожно-транспортная ситуация для каждой схемы (рисунок 1) формируется в условиях определенных состояний движения одnorядных транспортных потоков и многорядного плотного транспортного потока в целом.

На участке дороги определенной длины, при известных значениях макроскопических

характеристик транспортного потока, находится следующее количество транспортных средств по полосам движения  $n_{L1} \dots n_{Lr} \dots n_{Lm}$  и на участке дороги определенной длины в целом:

$$\left\{ \begin{array}{l} t = 0 \dots \Delta t, \\ n_{L1} = n_{L1_0} + N_{1,1} \cdot t - N_{2,1} \cdot t \pm (n_{p_{1-2}}(t)), \\ \dots\dots\dots \\ n_{Lr} = n_{Lr_0} + N_{1,r} \cdot t - N_{2,r} \cdot t \pm (n_{p_{(r-1)-(r)}}(t)) \pm (n_{p_{(r)-(r+1)}}(t)), \\ \dots\dots\dots \\ n_{Lm} = n_{Lm_0} + N_{1,m} \cdot t - N_{2,m} \cdot t \pm (n_{p_{(m-1)-(m)}}(t)), \\ \sum_{r=1}^m N_{1,r} = N_{1\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{1,r} = \bar{V}_{1\Sigma}, \\ \sum_{r=1}^m N_{2,r} = N_{2\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{2,r} = \bar{V}_{2\Sigma}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $t = 0 \dots \Delta t$  – приращение времени наблюдения за многорядным плотным транспортным потоком;

$n_{L1}, n_{Lr}, n_{Lm}$  – текущее, на момент времени наблюдения  $t = \Delta t$ , количество транспортных средств, которые находятся в одnorядном транспортном потоке движения номерами полос 1,  $r$ ,  $m$ , одного направления, на участке дороги длиной  $L$ ;

$n_{L1_0}, n_{Lr_0}, n_{Lm_0}$  – начальное, на момент времени наблюдения  $t = 0$ , количество транспортных средств, которые находятся в одnorядном транспортном потоке движения номерами полос 1,  $r$ ,  $m$ , одного направления, на участке дороги длиной  $L$ ;

$N_1, N_2$  – интенсивности движения в сечении дороги на входе на участок длиной  $L$  и на выходе из него, по соответствующим рядам движения;

$n_{p_m}(t)$  – количество транспортных средств, которые маневрируют в виде смены полосы движения на соседние полосы, входят или выходят из состава одnorядного транспортного потока на исследуемом участке дороги, за время наблюдения  $\Delta t$ ;

$N_{1\Sigma}, N_{2\Sigma}$  – усредненные значения суммарных интенсивностей движения многорядного транспортного потока в сечениях 1 и 2 на границе участка дороги длиной  $L$ , которые получены за время наблюдения  $\Delta t$  по всем полосам движения  $m$ ;

$\bar{V}_{1\Sigma}, \bar{V}_{2\Sigma}$  – скорости многорядного транспортного потока в сечениях 1 и 2 на границе участка дороги длиной  $L$ , которые получены усреднением скоростей одиночных транспортных средств по времени наблюдения  $\Delta t$ , по всем полосам движения  $m$ .

Дорожно-транспортная ситуация, воспринимаемая водителем на участке дороги, прежде всего включает в себя движущиеся транспортные средства в соответствующих рядах. На уровне системы «Автомобиль – Водитель – Дорога» необходимо оперировать понятием «подвижная дорожно-транспортная ситуация», так как транспортные потоки по рядам движения являются подвижными. Следовательно, восприятие водителями указанного движения может быть отражено только в трех возможных вариантах:

– при движении по крайней левой полосе – восприятие водителями своего ряда движения и ряда, движущегося справа, в пределах интересующей водителя конкретной совокупности транспортных средств (рисунок 1 а);

– при движении по одной из средних полос – восприятие водителями своего ряда

движения и двух соседних рядов движения справа и слева, в пределах интересующей водителя конкретной совокупности транспортных средств (рисунок 1 б);

– при движении по крайней правой полосе – восприятие водителями своего ряда движения и ряда, движущегося слева, в пределах интересующей водителя конкретной совокупности транспортных средств (рисунок 1 в).

Адекватное восприятие многорядного движения по указанным вариантам на уровне системы «Автомобиль – Водитель – Дорога» определяется восприятием водителей и изменчивостью многорядного движения, в пределах области интересующей водителя конкретной совокупности транспортных средств.

Изменчивость многорядного движения может быть обобщена в два явления:

– явление разной скорости движения соседних однорядных транспортных потоков;  
– явление изменения полос движения отдельными группами транспортных средств по интересам водителей или по требованиям соответствующей схемы организации дорожного движения.

Проведем формализацию указанных процессов в многорядном транспортном потоке с применением основного уравнения однорядного транспортного потока:

$$\bar{V}_{Lr}(n_{Lr}) = \frac{q_{L_0r} \cdot \bar{V}_{L_0r} + \frac{\Delta t}{L} (N_{1,r} \cdot \bar{V}_{1,r} - N_{2,r} \cdot \bar{V}_{2,r} + \bar{a}_{Lr}(n_{Lr}))}{q_{Lr}(n_{Lr})}, \quad (2)$$

где  $\bar{V}_{Lr}(n_{Lr})$  – мгновенная скорость однорядного транспортного потока полосы движения номером  $r$ , на длине участка дороги  $L$ , на момент времени наблюдения  $t = \Delta t$ , с количеством транспортных средств  $n_{Lr}$ ;

$q_{L_0r}$  – мгновенное значение плотности однорядного транспортного потока полосы движения номером  $r$ , на длине участка дороги  $L$ , на момент времени наблюдения  $t = 0$ ;

$\bar{V}_{L_0r}$  – мгновенная скорость однорядного транспортного потока полосы движения номером  $r$ , на длине участка дороги  $L$ , на момент времени наблюдения  $t = 0$ , с количеством транспортных средств  $n_{L_0r}$ ;

$q_{Lr}(n_{Lr})$  – мгновенное значение плотности однорядного транспортного потока полосы движения номером  $r$ , на длине участка дороги  $L$ , на момент времени наблюдения  $t = \Delta t$ , с количеством транспортных средств  $n_{Lr}$ ;

$\bar{V}_{1,r}, \bar{V}_{2,r}$  – скорости однорядного транспортного потока полосы движения номером  $r$ , в сечениях 1 и 2, на границе участка дороги длиной  $L$ , которые получены усреднением скоростей одиночных транспортных средств по времени наблюдения  $\Delta t$ ;

$\bar{a}_{Lr}(n_{Lr})$  – ускорение однорядного транспортного потока полосы движения номером  $r$ , на длине участка дороги  $L$ , на момент времени наблюдения  $t = \Delta t$ , с количеством транспортных средств  $n_{Lr}$ .

Для соседней левой полосы движения номером  $r+1$ , относительно рассматриваемой полосы движения номером  $r$  с однорядным транспортным потоком, получим:

$$\bar{V}_{L(r+1)}(n_{L(r+1)}) = \frac{q_{L_0(r+1)} \cdot \bar{V}_{L_0(r+1)} + \frac{\Delta t}{L} (N_{1,(r+1)} \cdot \bar{V}_{1,(r+1)} - N_{2,(r+1)} \cdot \bar{V}_{2,(r+1)} + \bar{a}_{L(r+1)}(n_{L(r+1)}))}{q_{L(r+1)}(n_{L(r+1)})}. \quad (3)$$

Из (2) и (3) получим значение относительной скорости движения соседних рядов для полос движения с номерами  $r+1$  и  $r$ :

$$\Delta \bar{V}_{L_{(r+1)-r}} = \frac{q_{L_0(r+1)} \cdot \bar{V}_{L_0(r+1)} + \frac{\Delta t}{L} (N_{1,(r+1)} \cdot \bar{V}_{1,(r+1)} - N_{2,(r+1)} \cdot \bar{V}_{2,(r+1)} + \bar{a}_{L(r+1)} (n_{L(r+1)}))}{q_{L(r+1)} (n_{L(r+1)})} - \frac{q_{L_0r} \cdot \bar{V}_{L_0r} + \frac{\Delta t}{L} (N_{1,r} \cdot \bar{V}_{1,r} - N_{2,r} \cdot \bar{V}_{2,r} + \bar{a}_{Lr} (n_{Lr}))}{q_{Lr} (n_{Lr})}, \quad (4)$$

или в упрощенном виде

$$\Delta \bar{V}_{L_{(r+1)-r}} = \bar{V}_{L_0(r+1)} \cdot \frac{q_{L_0(r+1)}}{q_{L(r+1)} (n_{L(r+1)})} - \bar{V}_{L_0r} \cdot \frac{q_{L_0r}}{q_{Lr} (n_{Lr})} + \frac{\Delta t}{L} \cdot \left( \frac{N_{1,(r+1)} \cdot \bar{V}_{1,(r+1)} - N_{2,(r+1)} \cdot \bar{V}_{2,(r+1)} + \bar{a}_{L(r+1)} (n_{L(r+1)})}{q_{L(r+1)} (n_{L(r+1)})} - \frac{N_{1,r} \cdot \bar{V}_{1,r} - N_{2,r} \cdot \bar{V}_{2,r} + \bar{a}_{Lr} (n_{Lr})}{q_{Lr} (n_{Lr})} \right). \quad (5)$$

где  $\Delta \bar{V}_{L_{(r+1)-r}}$  – разность мгновенных скоростей соседних однорядных транспортных потоков с номерами полос движения  $r$  и  $r+1$ , на длине участка дороги  $L$ , на момент времени наблюдения  $t = \Delta t$ .

Отсутствие возможности восприятия водителями изменений в движении в соответствующих соседних рядах обуславливается изменениями соответствующей совокупности транспортных средств в течение времени реакции. Указанное явление обеспечивается различием скоростей соседних рядов движения, значение которого рассчитывается по зависимости (5).

Появление новых транспортных средств в соседнем ряде движения, это как минимум проезд трех транспортных средств (соседнего позади, соседнего сбоку, соседнего впереди) одного соседнего ряда относительно транспортного средства исследуемого ряда движения (рисунок 1).

Расстояние смещения трех транспортных средств в соседнем ряду относительно транспортного средства рассматриваемого ряда равно двум интервалам движения в пространстве для соседнего ряда движения, что можно выразить следующим образом:

$$\frac{2}{q_{L(r+1)} (n_{L(r+1)})}. \quad (6)$$

Условие наличия возможности восприятия водителями движения в соседних рядах на уровне системы «Автомобиль – Водитель – Дорога» анализа транспортных потоков, с учетом (5) и (6), выглядит следующим образом:

$$\frac{2}{t_{p_r} \cdot q_{L(r+1)} (n_{L(r+1)})} \geq \Delta \bar{V}_{L_{(r+1)-r}}, \quad (7)$$

$$\frac{2}{t_{p_r} \cdot q_{L(r+1)} (n_{L(r+1)})} \geq \bar{V}_{L_0(r+1)} \cdot \frac{q_{L_0(r+1)}}{q_{L(r+1)} (n_{L(r+1)})} - \bar{V}_{L_0r} \cdot \frac{q_{L_0r}}{q_{Lr} (n_{Lr})} + \frac{\Delta t}{L} \cdot \left( \frac{N_{1,(r+1)} \cdot \bar{V}_{1,(r+1)} - N_{2,(r+1)} \cdot \bar{V}_{2,(r+1)} + \bar{a}_{L(r+1)} (n_{L(r+1)})}{q_{L(r+1)} (n_{L(r+1)})} - \frac{N_{1,r} \cdot \bar{V}_{1,r} - N_{2,r} \cdot \bar{V}_{2,r} + \bar{a}_{Lr} (n_{Lr})}{q_{Lr} (n_{Lr})} \right), \quad (8)$$

где  $t_{p_r}$  – среднее время реакции совокупности водителей ряда движения номером по-

лосы движения  $r$ , на длине участка дороги  $L$ , на момент времени наблюдения  $t = \Delta t$ .

Значение (8) получено из условия, что с увеличением номера полосы движения, т. е. ее расположение – слева, скорость движения соответствующего однорядного транспортного потока увеличивается, поэтому данное явление не рассматривается в условиях взаимодействия с полосой движения, расположенной справа, относительно исследуемого ряда.

Из (8) видно, что разница в скоростях движения соседних рядов должна быть не более той, при которой, за время реакции конкретного водителя, относительное смещение рядов должно быть не более чем на два интервала движения в пространстве (три транспортных средства). Необходимо также отметить, что чем больше отслеживается конкретным водителем соседних транспортных средств (рисунок 1), тем выше значение времени реакции  $t_p$ , [11].

С применением (1) и (8) возможно записать системы уравнений, которые описывают состояния для однорядных транспортных потоков по схемам рисунка 1. С учетом того, что для полосы, где двигается исследуемое транспортное средство необходимо наличие трех автомобилей, находим необходимую длину исследуемого участка дороги и соответствующие границы дорожно-транспортной ситуации по соседним рядам движения.

Запишем условия формирования дорожно-транспортных ситуаций по трем случаям расположения транспортного средства соответствующего ряда движения на участке дороги определенной длины.

Длина участка дороги не должна быть меньшей расстояния, где двигаются впереди-идущее и заднее транспортное средство, относительно транспортного средства, по которому ведется анализ.

Для случая подвижной дорожно-транспортной ситуации (рисунок 1 а) запишем:

$$\left\{ \begin{array}{l} t = 0 \dots \Delta t, \\ n_{Lm} = 3, \\ \frac{\bar{V}_{L(m-1)}(n_{L(m-1)}) \cdot (n_{L(m-1)} - 1)}{\Delta t} = N_{1,(m-1)} \cdot \bar{V}_{1,(m-1)} - N_{2,(m-1)} \cdot \bar{V}_{2,(m-1)} + \frac{L}{\Delta t} \cdot q_{L_0(m-1)} \cdot \bar{V}_{L_0(m-1)}, \\ n_{L(m-1)} = n_{L(m-1)_0} + N_{1,(m-1)} \cdot t - N_{2,(m-1)} \cdot t \pm (n_{p(m-1)-(m)}(t)) \pm (n_{p(m-1)-(m-2)}(t)), \\ \frac{\bar{V}_{Lm}(3) \cdot 2}{\Delta t} = N_{1,m} \cdot \bar{V}_{1,m} - N_{2,m} \cdot \bar{V}_{2,m} + \frac{L}{\Delta t} \cdot q_{L_0m} \cdot \bar{V}_{L_0m}, \\ 3 = n_{Lm_0} + N_{1,m} \cdot t - N_{2,m} \cdot t \pm (n_{p(m-1)-(m)}(t)), \\ \sum_{r=1}^m N_{1,r} = N_{1\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{1,r} = \bar{V}_{1\Sigma}, \\ \sum_{r=1}^m N_{2,r} = N_{2\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{2,r} = \bar{V}_{2\Sigma}, \end{array} \right. \quad (9)$$

– условие к основному уравнению многорядного транспортного потока по (8)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{t_{o_m} \cdot q_{L_m}(n_{L_m})} \geq A + B, \\ A = \bar{V}_{L_0^m} \cdot \frac{q_{L_0^m}}{q_{L_m}(n_{L_m})} - \bar{V}_{L_0^{(m-1)}} \cdot \frac{q_{L_0^{(m-1)}}}{q_{L^{(m-1)}}(n_{L^{(m-1)}})}, \\ B = \frac{\Delta t}{L} \cdot \left( \frac{N_{1,m} \cdot \bar{V}_{1,m} - N_{2,m} \cdot \bar{V}_{2,m} + \bar{a}_{L_m}(n_{L_m})}{q_{L_m}(n_{L_m})} - \frac{N_{1,(m-1)} \cdot \bar{V}_{1,(m-1)} - N_{2,(m-1)} \cdot \bar{V}_{2,(m-1)} + \bar{a}_{L^{(m-1)}}(n_{L^{(m-1)}})}{q_{L^{(m-1)}}(n_{L^{(m-1)}})} \right). \end{array} \right. \quad (10)$$

Для случая подвижной дорожно-транспортной ситуации (рисунок 1, б) запишем:

$$\left\{ \begin{array}{l} t = 0 \dots \Delta t, \\ n_{L_r} = 3, \\ \frac{\bar{V}_{L(r-1)}(n_{L(r-1)}) \cdot (n_{L(r-1)} - 1)}{\Delta t} = N_{1,(r-1)} \cdot \bar{V}_{1,(r-1)} - N_{2,(r-1)} \cdot \bar{V}_{2,(r-1)} + \frac{L}{\Delta t} \cdot q_{L_0(r-1)} \cdot \bar{V}_{L_0(r-1)}, \\ n_{L(r-1)} = n_{L(r-0)} + N_{1,(r-1)} \cdot t - N_{2,(r-1)} \cdot t \pm (n_{p_{(r-2)-(r-1)}}(t)) \pm (n_{p_{(r-1)-(r)}}(t)), \\ \frac{\bar{V}_{L_r}(3) \cdot 2}{\Delta t} = N_{1,r} \cdot \bar{V}_{1,r} - N_{2,r} \cdot \bar{V}_{2,r} + \frac{L}{\Delta t} \cdot q_{L_0 r} \cdot \bar{V}_{L_0 r}, \\ 3 = n_{L_0} + N_{1,r} \cdot t - N_{2,r} \cdot t \pm (n_{p_{(r-1)-(r)}}(t)) \pm (n_{p_{(r)-(r+1)}}(t)), \\ \frac{\bar{V}_{L(r+1)}(n_{L(r+1)}) \cdot (n_{L(r+1)} - 1)}{\Delta t} = N_{1,(r+1)} \cdot \bar{V}_{1,(r+1)} - N_{2,(r+1)} \cdot \bar{V}_{2,(r+1)} + \frac{L}{\Delta t} \cdot q_{L_0(r+1)} \cdot \bar{V}_{L_0(r+1)}, \\ n_{L_1} = n_{L_0} + N_{1,(r+1)} \cdot t - N_{2,(r+1)} \cdot t \pm (n_{p_{r-(r+1)}}(t)) \pm (n_{p_{(r+1)-(r+2)}}(t)), \\ \sum_{r=1}^m N_{1,r} = N_{1\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{1,r} = \bar{V}_{1\Sigma}, \\ \sum_{r=1}^m N_{2,r} = N_{2\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{2,r} = \bar{V}_{2\Sigma}, \end{array} \right. \quad (11)$$

– условие к основному уравнению многорядного транспортного потока по (8)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{t_{o_{(r+1)}} \cdot q_{L(r+1)}(n_{L(r+1)})} \geq A + B, \\ A = \bar{V}_{L_0(r+1)} \cdot \frac{q_{L_0(r+1)}}{q_{L(r+1)}(n_{L(r+1)})} - \bar{V}_{L_0 r} \cdot \frac{q_{L_0 r}}{q_{L_r}(n_{L_r})}, \\ B = \frac{\Delta t}{L} \cdot \left( \frac{N_{1,(r+1)} \cdot \bar{V}_{1,(r+1)} - N_{2,(r+1)} \cdot \bar{V}_{2,(r+1)} + \bar{a}_{L(r+1)}(n_{L(r+1)})}{q_{L(r+1)}(n_{L(r+1)})} - \frac{N_{1,r} \cdot \bar{V}_{1,r} - N_{2,r} \cdot \bar{V}_{2,r} + \bar{a}_{L_r}(n_{L_r})}{q_{L_r}(n_{L_r})} \right). \end{array} \right. \quad (12)$$

Для случая подвижной дорожно-транспортной ситуации (рисунок 1 в) запишем:

$$\left\{ \begin{array}{l} t = 0 \dots \Delta t, \\ n_{L1} = 3, \\ \frac{\bar{V}_{L1}(3) \cdot 2}{\Delta t} = N_{1,1} \cdot \bar{V}_{1,1} - N_{2,1} \cdot \bar{V}_{2,1} + \frac{L}{\Delta t} \cdot q_{L0,1} \cdot \bar{V}_{L0,1}, \\ 3 = n_{L1_0} + N_{1,1} \cdot t - N_{2,1} \cdot t \pm (n_{p_{1-2}}(t)), \\ \frac{\bar{V}_{L2}(n_{L2}) \cdot (n_{L2} - 1)}{\Delta t} = N_{1,2} \cdot \bar{V}_{1,2} - N_{2,2} \cdot \bar{V}_{2,2} + \frac{L}{\Delta t} \cdot q_{L0,2} \cdot \bar{V}_{L0,2}, \\ n_{L2} = n_{L2_0} + N_{1,2} \cdot t - N_{2,2} \cdot t \pm (n_{p_{1-2}}(t)) \pm (n_{p_{2-3}}(t)), \\ \sum_{r=1}^m N_{1,r} = N_{1\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{1,r} = \bar{V}_{1\Sigma}, \\ \sum_{r=1}^m N_{2,r} = N_{2\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{2,r} = \bar{V}_{2\Sigma}, \end{array} \right. \quad (13)$$

– условие к основному уравнению многорядного транспортного потока по (8)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{t_{o_2} \cdot q_{L2}(n_{L2})} \geq A + B, \\ A = \bar{V}_{L0,2} \cdot \frac{q_{L0,2}}{q_{L2}(n_{L2})} - \bar{V}_{L0,1} \cdot \frac{q_{L0,1}}{q_{L1}(n_{L1})}, \\ B = \frac{\Delta t}{L} \cdot \left( \frac{N_{1,2} \cdot \bar{V}_{1,2} - N_{2,2} \cdot \bar{V}_{2,2} + \bar{a}_{L2}(n_{L2})}{q_{L2}(n_{L2})} - \frac{N_{1,1} \cdot \bar{V}_{1,1} - N_{2,1} \cdot \bar{V}_{2,1} + \bar{a}_{L1}(n_{L1})}{q_{L1}(n_{L1})} \right). \end{array} \right. \quad (14)$$

Соблюдение условий (9) и (10), условий (11) и (12) и условий (13) и (14) позволит в многорядном транспортном потоке обеспечить безопасность движения в рамках исключения возможности невосприятия водителями в составе потока сменности транспортных средств в соседних, более скоростных, левых рядах движения, особенно в условиях принятия решения по смене полосы движения с целью опережения транспортных средств, движущихся впереди.

### Выводы

Сформулированы теоретические основы дальнейшего раскрытия исследования обеспечения безопасности движения многорядных плотных транспортных потоков на микроскопическом уровне. Выявлено, что на микроскопическом уровне исследования многорядное движение необходимо рассматривать в относительной системе координат с привязкой к конкретному транспортному средству. Показано, что вокруг отдельного транспортного средства



образуется «подвижная дорожно-транспортная ситуация».

Выделено три качественных вида «подвижных дорожно-транспортных ситуаций» вокруг транспортного средства, движущегося в многорядном плотном транспортном потоке: движущегося в крайнем правом ряду, в крайнем левом ряду и в ряду между указанными.

Показано, что для каждого вида «подвижных дорожно-транспортных ситуаций» вокруг транспортного средства, движущегося в многорядном плотном транспортном потоке, возникает определенное количество ассоциативных связей, что формирует индивидуальное множество значений времени реакции у водителя транспортного средства в центре рассматриваемых ситуаций. Сформулировано условие, при котором изменения в «подвижной дорожно-транспортной ситуации» в виде сменности транспортных средств в соседнем левом ряду будут восприняты водителем, что обеспечит безопасность движения многорядного транспортного потока в условиях принятия решения водителями о смене полосы движения с целью опережения транспортных средств, движущихся впереди.

### **Список литературы**

1. Дудніков, О. М. Розробка енергетичної характеристики безпеки руху транспортного потоку / О. М. Дудніков, Н. М. Дудникова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Х., 2013. – № 3 (62). – С. 47–50.
2. Дудніков, О. М. Основне рівняння багаторядного щільного транспортного потоку на ділянці дороги визначеної довжини / О. М. Дудніков // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : наук.-техн. зб. / НТУ. – К. : НТУ, 2012. – Вип. 85. – С. 223–230.
3. Дудніков, О. М. Основні рівняння багаторядного щільного транспортного потоку за характерними дорожньо-транспортними ситуаціями / О. М. Дудніков // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : наук.-техн. зб. / НТУ. – К. : НТУ, 2012. – Вип. 86. – С. 246–254.
4. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – М. : Транспорт, 1972. – 424 с.
5. Справочник по безопасности дорожного движения, обзор мероприятий по безопасности дорожного движения / под ред. В. В. Сильянова. – Осло ; М. ; Хельсинки, 2001. – 576 с.
6. Ewing, R. Pedestrian and Transit Friendly Design / R. Ewing / Joint Center for Environment and Urban Problems. Florida Atlantic University / Florida International University. – 1996, March. – 103 p.
7. Highway Capacity Manual 2000 / Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D. C., USA, 2000. – 1134 p.
8. McNees, R. W. In Situ Study Determining Lane-Maneuvering Distance for Three-and Four-Lane Freeways for Various Traffic-Volume Conditions / R. W. McNees // Transportation Research Record. – 1982. – № 869. – P. 37–45.
9. Бабков, В. Ф. Современные автомобильные магистрали / В. Ф. Бабков. – М. : Транспорт, 1974. – 279 с.
10. Кочерга, В. Г. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении / В. Г. Кочерга, В. В. Зырянов, В. И. Конопляно. – Ростов н/Д. : Ростов. гос. строит. ун-т, 2001. – 107 с.
11. Лобанов, Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е. М. Лобанов. – М. : Транспорт, 1981. – 311 с.

**А. Н. Дудников**

*Автомобильно-дорожный институт*

*ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка*

**Безопасность движения многорядного транспортного потока  
на уровне отдельного участника движения**

Сформулированы теоретические основы дальнейшего раскрытия исследования обеспечения безопасности движения многорядных плотных транспортных потоков на микроскопическом уровне. Выявлено, что многорядное движение на микроскопическом уровне исследования необходимо рассматривать в относительной системе координат с привязкой к конкретному транспортному средству. Показано, что вокруг отдельного транспортного средства образуется «подвижная дорожно-транспортная ситуация». Введенное понятие «подвижной дорожно-транспортной ситуации» необходимо исследовать далее с точки зрения его применения в рамках методов исследования транспортного потока подвижным и неподвижным наблюдателем.

Выделено три качественных вида «подвижных дорожно-транспортных ситуаций» вокруг транспортного средства, движущегося в многорядном плотном транспортном потоке: движущегося в крайнем правом ряду, в крайнем левом ряду и в ряду между указанными.

Показано, что для каждого вида «подвижных дорожно-транспортных ситуаций» вокруг транспортного средства, движущегося в многорядном плотном транспортном потоке, возникает определенное количество ассоциативных связей. Каждая ассоциативная связь требует отвлечения внимания водителя по формированию последовательного обновления указанных ассоциативных связей, что формирует группу значений времени реакции водителя на отдельные совокупности обновления ассоциативных связей. В свою очередь указанное формирует индивидуальное множество значений времени реакции водителя транспортного средства в центре рассматриваемых ситуаций.

Сформулировано условие, при котором изменения в «подвижной дорожно-транспортной ситуации» в виде сменности транспортных средств в соседнем левом ряду будут восприняты водителем, что обеспечит безопасность движения многорядного транспортного потока в условиях принятия решения водителем по смене полосы движения с целью опережения транспортных средств, движущихся впереди.

**ПОТОК ТРАНСПОРТНЫЙ, ПОТОК ТРАНСПОРТНЫЙ ПЛОТНЫЙ, ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА, БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ, СИТУАЦИЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНАЯ, РЯДЫ ДВИЖЕНИЯ, СКОРОСТЬ РЯДА ДВИЖЕНИЯ**

*A. N. Dudnikov*

***Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka***  
**Traffic Safety of the Multilane Transport Flow at the Level of Separate Traffic Participant**

The theory of further study of the traffic safety of multilane density transport flows at the microscopic level is formulated. It is revealed that multilane traffic at the microscopic level of the study is to consider in relative coordinate system with reference to a specific vehicle. It is shown that around separate vehicle «mobile road situation» is formed. Introduced notion of «mobile road situation» is necessary to study further in terms of its application within transport flow study by mobile and fixed observer.

Three qualitative types of «mobile road situations» around the vehicle moving in multilane density transport flow are marked out: moving in extreme right lane, in extreme left lane and in the lane between indicated ones.

It is shown that definite quantity of associative links for each type of «mobile road situations» around the vehicle moving in multilane density transport flow is arisen. Each associative link demands attention distraction of a driver on the formation of successive renewal of given associative links that in turn forms a group of the driver reaction time values on certain totality of associative links renewal. In turn, above-mentioned things form individual multitude reaction time values of the vehicle driver in the center of considered situations.

Condition in which changes in «mobile road situation» in the form of the vehicles interchangeability in the adjacent left lane will be perceived by a driver is formulated. It will ensure traffic safety of the multilane transport flow in conditions of the driver decision making on the traffic lane change to advance vehicles moving ahead.

**TRANSPORT FLOW, ПОТОК DENSITY TRANSPORT FLOW, TRANSPORT FLOW CHARACTERISTICS, TRAFFIC SAFETY, ROAD SITUATION, TRAFFIC LANE, TRAFFIC LANE SPEED**

**Сведения об авторе**

**А. Н. Дудников**

SPIN-код: 8393-4943

Телефон: +38 (093) 8905884

Эл. почта: andudnikov@rambler.ru

*Статья поступила 13.12.2016*

*© А. Н. Дудников, 2017*

*Рецензент: Н. А. Селезнева, канд. экон. наук, доц. АДИ ГОУВПО «ДонНТУ»*