

**Н. В. Юшков**

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

## **АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

*Рассмотрены основные исследования закономерностей формирования городских транспортных потоков. Описаны модели, задающие вектор будущих изысканий в области теории транспортных потоков. Установлено, что одной из наиболее важных и эффективных моделей является модель Танака, описывающая соотношение плотность-скорость транспортного потока.*

***Ключевые слова:** моделирование, транспортный поток, анализ, макроскопическая модель, закономерность, плотность транспортного потока, скорость, интенсивность*

### ***Введение***

С каждым годом растет число изысканий в области транспортных систем, ученые транспортной области все глубже изучают закономерности движения транспортных средств в условиях постоянно увеличивающихся интенсивности и плотности транспортных потоков на улично-дорожных сетях крупных городов и мегаполисов. Не опираясь на знания о теории транспортных потоков, игнорируя тенденции функционирования транспортных систем, невозможно совершенствовать подходы к повышению безопасности и эффективности дорожного движения.

**Цель работы** – проанализировать современные исследования, посвященные классу макроскопических моделей транспортного потока.

### ***Основной материал работы***

В начале 1950-х годов произошло формирование теории транспортных потоков в качестве совершенно нового научного направления [1]. Математический анализ стал основой для исследований транспортных процессов, отодвинув на второй план эмпирические знания.

Необходимость понимания закономерностей формирования транспортных потоков вызвана применением математических моделей при моделировании транспортных потоков. В практике существует несколько различных подходов по описанию закономерностей их формирования [2]. Для описания транспортного потока стали использоваться идеи из статистики, гидродинамики и т. д. Этот период характеризуется бурным прогрессом научной мысли и становлением основных направлений исследований.

Дальнейшее развитие транспортной науки позволило создать три основных блока моделей транспортных потоков: модели-аналоги, модели следования за лидером и вероятностные модели [3].

В моделях-аналогах движение транспортного средства уподобляется какому-либо физическому потоку (гидро- и газодинамические модели). Этот класс моделей стали называть макроскопическими.

В моделях следования за лидером существенно предположение о наличии связи между перемещением ведомого и головного автомобиля. По мере развития теории в моделях этой группы учитывалось время реакции водителей, исследовалось движение на многополосных дорогах, изучалась устойчивость движения. Этот класс моделей назвали микроскопическими.

В вероятностных моделях транспортный поток рассматривается как результат взаимодействия транспортных средств на элементах транспортной сети. В связи с жестким характером ограничений сети и массовым характером движения в транспортном потоке складываются отчетливые закономерности формирования очередей, интервалов, загрузок по полосам дороги и т. п. Эти закономерности носят существенно стохастический характер [3].

Перейдем к рассмотрению и анализу макроскопических моделей транспортного потока.

В 1955 году была предложена первая макроскопическая модель (LWR-модель), согласно которой движение транспортного потока рассматривалось с точки зрения механики сплошной среды [1]. Они показали, что методы описания процессов переноса в сплошных средах могут быть использованы для моделирования заторовых ситуаций. Тем самым была заложена основа макроскопического подхода к описанию транспортного потока. Ключевая идея LWR-модели состоит в том, что интенсивность транспортного потока  $N$  может быть выражена как функция плотности  $q$  и наличием фундаментальной зависимости между макроскопическими переменными.

В модели предполагается:

- существование взаимно-однозначной зависимости между скоростью  $V(t, x)$  и плотностью потока  $q(t, x)$ ;
- выполнение закона сохранения массы (числа транспортных средств).

С учетом указанных условий было получено следующее уравнение [1]:

$$q(x, t) = f(x - ct, 0), \quad (1)$$

где  $f$  – произвольная функция, определенная комбинацией начальных и граничных условий.

Применение метода движущегося наблюдателя позволило Лайтхиллу и Уизему получить соотношение между интенсивностью и плотностью транспортного потока, которое выражается следующим соотношением [1]:

$$V = \frac{N(x_2) - N(x_1)}{q(x_2) - q(x_1)}, \quad (2)$$

где  $N(x_1)$ ,  $N(x_2)$  – соответственно функции интенсивности в зоне первого и второго наблюдателей, авт/ч;

$q(x_1)$ ,  $q(x_2)$  – соответственно функции плотности в зоне первого и второго наблюдателей, авт/км.

Скорость в уравнении (2) называют волновой скоростью или скоростью «ударной волны». Вектор ударной волны направлен противоположно вектору скорости транспортного потока. В случае, когда  $V > 0$ , ударная волна движется вниз относительно перегона улично-дорожной сети (УДС), если  $V < 0$  – вверх [2].

Следует отметить, что модель LWR не работает при очень низких и высоких плотностях транспортного потока, неадекватна вблизи «узких мест» и перекрестков со светофорами. Но, несмотря на это, гидродинамический подход стал основой для более совершенных моделей [4].

Модель LWR, получившая широкое общественное признание, стала отправной точкой для создания моделей с дополнительными условиями, например модели Пейна, Уизема и Танака.

Так, одним из важных шагов в становлении теории транспортных потоков стала модель Пэйна, предложенная им в 1971 году [2, 4]. Он описал динамическую зависимость с помощью дифференциального уравнения конвекционного типа (уравнение было выведено из модели следования за лидером). Модель Пэйна интерпретируется как закон сохранения, но

из-за того, что скорость не зависит от плотности, вводится правая часть уравнения – сохранение импульса [4].

В 1974 году Джон Уизем сделал следующий шаг в моделировании транспортных потоков и предложил учитывать дистанцию видимости дороги водителем [5]. С учетом закона сохранения количества автотранспортных средств было получено следующее уравнение Уизема [4]:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial Q(q)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D(q) \frac{\partial q}{\partial x} \right), \quad (3)$$

где  $Q(q)$  – интенсивность потока транспортных средств.

Данное уравнение показывает, что скорость снижается водителями при увеличении плотности потока впереди идущих автотранспортных средств и увеличивается при уменьшении [4].

Неоценимый вклад в формирование теории транспортных потоков внес Б. Кернер [6]. Он предложил рассматривать движение автомобилей в разрезе трех фаз транспортного потока, в отличие от базовой модели LWR. Кернер выделяет в плотном потоке две фазы: синхронизированный поток и широкий движущийся кластер или локальный движущийся затор [2].

Как известно, в свободном потоке для водителей транспортных средств нет ограничивающих условий по выбору скорости. В плотном же потоке скорость движения меньше, чем минимально возможная в свободном [2]. Основываясь на эмпирических исследованиях, переход между фазами на магистралях происходит вблизи «узких» мест, что порождает возникновение эффекта «бутылочного горлышка» [7, 8].

Отдельно необходимо отметить модели Гриншилдса, Гринберга и Гриншилдса – Гринберга по формированию плотности транспортного потока [9, 10]:

– модель формирования плотности Гриншилдса [9, 10]:

$$q = q_{max} \cdot \left( 1 - \frac{V}{V_{max}} \right) + c, \quad (4)$$

где  $q_{max}$  – максимальная плотность транспортного потока, авт/км;

$V_{max}$  – максимальная скорость движения по перегону (в свободных условиях), км/ч;

$c$  – константа с единицами измерения плотности транспортного потока, авт/км;

– модель формирования плотности Гринберга [9, 10]:

$$q = q_{max} \cdot e^{-\frac{V}{c}}, \quad (5)$$

где  $V$  – скорость движения по перегону в составе транспортного потока, км/ч;

$c$  – неотрицательная константа с единицами измерения скорости движения, км/ч;

– модель формирования плотности Гриншилдса – Гринберга [9, 10]:

$$q = q_{max} \cdot \left( 1 - \frac{V}{V_{max}} \right)^{\frac{2}{n+1}}, \quad n \leq 0; \quad (6)$$

$$q = q_{max} \cdot \left( 1 - (n+1) \cdot \frac{V}{c} \cdot V_{max}^{\left( -\frac{n+1}{2} \right)} \right)^{\frac{2}{n+1}}, \quad n \neq -1, \quad n \neq 1. \quad (7)$$

Модель Гриншилдса содержит линейную зависимость плотности от скорости. Позднее она была модифицирована Ричардсоном [4]. В модели Гриншилдса при определении пропускной способности важно правильно выбрать скорость свободного движения [4]. В

противном случае большое значение приведет к завышенным результатам, что подтверждается в [11]. Две последние модели имеют одну особенность: чем ниже скорость свободного движения, тем больше расчетные данные соответствуют экспериментальным. Логарифмический тип зависимости между плотностью потока и скоростью движения имеет макромодель Гринберга и Эл-Хозаини [4]. Модель Гринберга имеет серьезный недостаток: если плотность транспортного потока стремится к нулю, то значение скорости может стать больше, чем скорость свободного движения.

Одной из частных моделей LWR является модель Танака, предложенная автором в 1963 году [12]. Исследователь устанавливает зависимость плотности от скорости как обратно-пропорциональную среднему расстоянию между автотранспортными средствами при заданной скорости [4]:

$$q(V) = \frac{1}{d(V)}, \quad (8)$$

где  $q(V)$  – функция плотности от скорости транспортного потока;

$d(V)$  – функция среднего (безопасного) расстояния между транспортными средствами, которая определена следующим образом [4]:

$$d(V) = L + c_1 V + c_2 V^2, \quad (9)$$

где  $L$  – средняя длина транспортного средства, м;

$c_1$  – время реакции водителя;

$c_2$  – коэффициент пропорциональности тормозному пути, зависящий от дорожных условий.

В зависимости от дорожных условий формула (9) может принимать следующий вид [1]:

$$\text{для нормальных условий} - q(V) = \frac{1}{5,7 + 0,504 \cdot V + 0,0285 \cdot V^2};$$

$$\text{для мокрого асфальта} - q(V) = \frac{1}{5,7 + 0,504 \cdot V + 0,0570 \cdot V^2}.$$

Авторы [13] предлагают использовать модель Танака для описания длины продольного динамического коридора транспортного средства, с использованием которого получить зависимости для скорости и интенсивности транспортного потока. Авторами было получено значение скорости транспортного потока на перегоне городской улицы [13]:

$$V(N) = 3,6 \frac{-\left(m_1 - \frac{3600}{N}\right) - \sqrt{\left(m_1 - \frac{3600}{N}\right)^2 - 4 \cdot m_0 \cdot m_2}}{2 \cdot m_2}, \text{ км/ч}, \quad (10)$$

где  $V(N)$  – скорость транспортного потока в зависимости от интенсивности на перегоне городской улицы, км/ч;

$N$  – интенсивность на перегоне городской улицы, авт/ч;

$m_0$  – свободный член в формуле полинома для продольного динамического габарита (численно равен средней длине транспортного средства), м;

$m_1$  – коэффициент в формуле полинома для продольного динамического габарита (численно равен времени, характеризующим реакцию водителей), с;

$m_2$  – коэффициент в формуле полинома для продольного динамического габарита (численно равен коэффициенту пропорциональности тормозному пути), с<sup>2</sup>/м.

Зависимость «скорость – интенсивность», полученная в [5], представлена на рисунке 1.

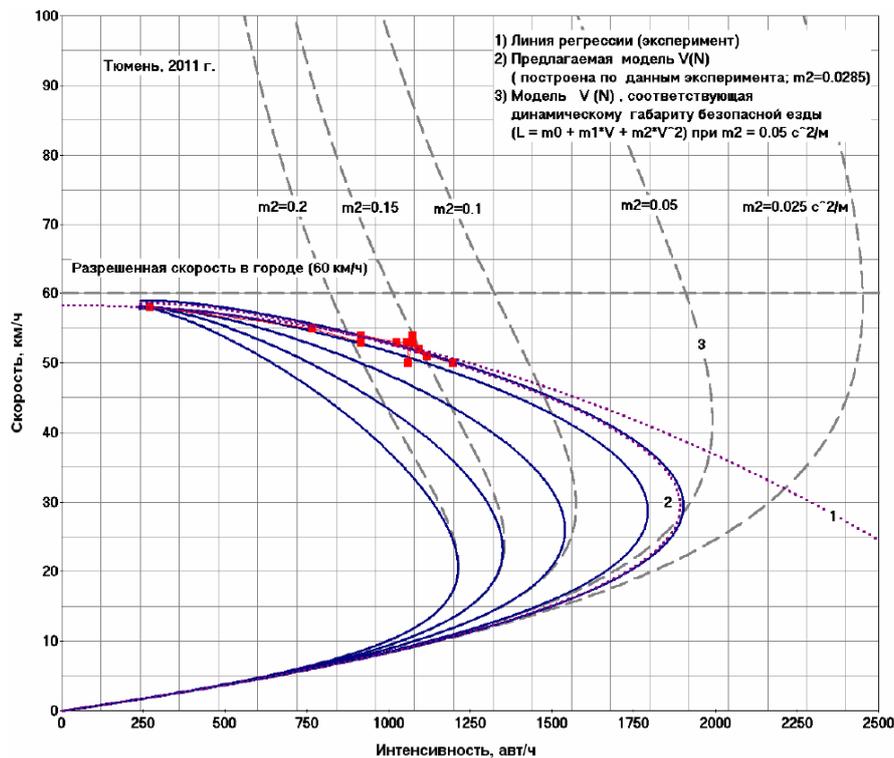


Рисунок 1 – Соотношение «скорость – интенсивность» для транспортного потока на перегоне городской улицы [13]

На основании результатов [13] в [14] были смоделированы условия движения подвижного состава для городских пассажирских наземных перевозок по полосам на многополосных перегонах городских улиц на примере движения автобусов на маршруте.

Получены расчетные формулы для методики оперативного управления технической скоростью городского пассажирского транспорта (ГПТ) на двухполосном перегоне улично-дорожной сети, где техническая скорость определяется в пределах одной полосы [14]:

$$V_{m_{nm1}} = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1000}{(L_{nm1} + \Delta_{nm1}) \cdot q_{max1}} \right)^{a \cdot m_2 + b} \right] \cdot \left[ \frac{3,6 \cdot \left( -m_1 + \sqrt{m_1^2 - 4 \cdot m_2 \cdot (m_0 - (L_{nm1} + \Delta_{nm1}))} \right)}{2 \cdot m_2} \right] \quad (11)$$

$$m_0 = l_{nm1}, \quad m_1 = \begin{cases} t_p + t_2 + 0,5 \cdot t_3, \\ t_p + t_{pp} \end{cases}, \quad m_2 = \begin{cases} \frac{1}{2 \cdot j}, \\ \frac{1}{2 \cdot a_a} \end{cases}$$

где  $V_{m_{nm1}}$  – техническая скорость пассажирского маршрутного транспорта (ПМТ) на полосе при двухполосном перегоне улично-дорожной сети (УДС) города, км/ч;

$q_{max1}$  – максимальная плотность потока на полосе при двухполосном перегоне УДС города, авт/км;

$\Delta_{nm1}$  – минимальная дистанция для ПМТ на полосе при двухполосном перегоне УДС города, м;

$L_{nm1}$  – динамический габарит ПМТ для ситуации перестроения с полосы с высокой

скоростью на полосу с более низкой скоростью (торможение);

$l_{пмт}$  – длина ПМТ, м;

$m_0$  – средняя длина транспортного средства, м;

$m_1$  – время, характеризующее реакцию водителей, с;

$m_2$  – коэффициент пропорциональности тормозному пути, который зависит от дорожных условий (для нормальных условий  $m_2 = 0,0285 \text{ с}^2/\text{м}$  [13]);

$t_p$  – время реакции водителя на необходимость начала осуществления замедления или разгона автобуса, с;

$t_2$  – время срабатывания тормозной системы автобуса, с; принимается по рекомендациям;

$t_3$  – время нарастания замедления автобуса, с, зависит от сцепных качеств дорожного покрытия;

$t_{pp}$  – время разгона автобуса, с, зависит от сцепных качеств дорожного покрытия;

$a_a$  – ускорение автобуса,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;

$j$  – замедление автобуса,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Второй вариант с четырехполосной проезжей частью характеризуется распределением плотности по полосам с учетом условия, что плотность правой полосы выше плотности левой. Полученные формулы для каждой полосы движения представлены в следующем виде [14]:

$$V_{m_{пмт2.1}} = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1000}{(L_{пмт} + \Delta_{пмт2.1}) \cdot q_{max2.1}} \right)^{a \cdot m_2 + b} \right] \cdot \left[ \frac{3,6 \cdot \left( -m_1 + \sqrt{m_1^2 - 4 \cdot m_2 \cdot (m_0 - (L_{пмт} + \Delta_{пмт2.1}))} \right)}{2 \cdot m_2} \right]; \quad (12)$$

$$V_{m_{пмт2.2}} = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1000}{(L_{пмт} + \Delta_{пмт2.2}) \cdot q_{max2.2}} \right)^{a \cdot m_2 + b} \right] \cdot \left[ \frac{3,6 \cdot \left( -m_1 + \sqrt{m_1^2 - 4 \cdot m_2 \cdot (m_0 - (L_{пмт} + \Delta_{пмт2.2}))} \right)}{2 \cdot m_2} \right]; \quad (13)$$

где  $V_{m_{пмт2.1}}$  – техническая скорость ПМТ на первой полосе при четырехполосном перегоне УДС города, км/ч;

$V_{m_{пмт2.2}}$  – техническая скорость ПМТ на второй полосе при четырехполосном перегоне УДС города, км/ч;

$q_{max2.1}$  – максимальная плотность потока на первой полосе при четырехполосном перегоне УДС города, авт/км;

$q_{max2.2}$  – максимальная плотность потока на второй полосе при четырехполосном перегоне УДС города, авт/км;

$\Delta_{пмт2.1}$  – минимальная дистанция для ПМТ на первой полосе при четырехполосном перегоне УДС города, м;

$\Delta_{пмт2.2}$  – минимальная дистанция для ПМТ на второй полосе при четырехполосном перегоне УДС города, м.

Третий вариант с шестиполосной проезжей частью характеризуется распределением плотности по полосам с учетом условия, что плотность крайней правой полосы выше плотности средней, которая в свою очередь выше плотности крайней левой полосы. Полученные формулы для каждой полосы движения представлены в следующем виде [14]:

$$V_{m_{пмт3.1}} = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1000}{(L_{пмт} + \Delta_{пмт3.1}) \cdot q_{max3.1}} \right)^{a \cdot m_2 + b} \right] \cdot \left[ \frac{3,6 \cdot \left( -m_1 + \sqrt{m_1^2 - 4 \cdot m_2 \cdot (m_0 - (L_{пмт} + \Delta_{пмт3.1}))} \right)}{2 \cdot m_2} \right]; \quad (14)$$

$$V_{m_{пмт3.2}} = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1000}{(L_{пмт} + \Delta_{пмт3.2}) \cdot q_{max3.2}} \right)^{a \cdot m_2 + b} \right] \cdot \left[ \frac{3,6 \cdot \left( -m_1 + \sqrt{m_1^2 - 4 \cdot m_2 \cdot (m_0 - (L_{пмт} + \Delta_{пмт3.2}))} \right)}{2 \cdot m_2} \right]; \quad (15)$$

$$V_{m_{пмт3.3}} = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1000}{(L_{пмт} + \Delta_{пмт3.3}) \cdot q_{max3.3}} \right)^{a \cdot m_2 + b} \right] \cdot \left[ \frac{3,6 \cdot \left( -m_1 + \sqrt{m_1^2 - 4 \cdot m_2 \cdot (m_0 - (L_{пмт} + \Delta_{пмт3.3}))} \right)}{2 \cdot m_2} \right]; \quad (16)$$

$$m_0 = l_{пмт}, \quad m_1 = \begin{cases} t_p + t_2 + 0,5 \cdot t_3, \\ t_p + t_{pp}. \end{cases}, \quad m_2 = \begin{cases} \frac{1}{2 \cdot j}, \\ \frac{1}{2 \cdot a_a}, \end{cases}$$

где  $V_{m_{пмт3.1}}$  – техническая скорость ПМТ на первой полосе при шестиполосном перегоне УДС города, км/ч;

$V_{m_{пмт3.2}}$  – техническая скорость ПМТ на второй полосе при шестиполосном перегоне УДС города, км/ч;

$V_{m_{пмт3.3}}$  – техническая скорость ПМТ на третьей полосе при шестиполосном перегоне УДС города, км/ч;

$q_{max3.1}$  – максимальная плотность потока на первой полосе при шестиполосном перегоне УДС города, авт/км;

$q_{max3.2}$  – максимальная плотность потока на второй полосе при шестиполосном перегоне УДС города, авт/км;

$q_{max3.3}$  – максимальная плотность потока на третьей полосе при шестиполосном перегоне УДС города, авт/км;

$\Delta_{пмт3.1}$  – минимальная дистанция для ПМТ на первой полосе при шестиполосном перегоне УДС города, м;

$\Delta_{пмт3.2}$  – минимальная дистанция для ПМТ на второй полосе при шестиполосном перегоне УДС города, м;

$\Delta_{пмт3.3}$  – минимальная дистанция для ПМТ на третьей полосе при шестиполосном перегоне УДС города, м.

В формулах (11)–(16) рассчитывается значение технической скорости ПМТ в условиях движения по конкретной полосе перегона, при этом полученные результаты показывают максимальную скорость, которую можно реализовать ПМТ в условиях транспортного потока конкретной полосы движения. В случае если по технологии организации движения ПМТ будет необходима более высокая техническая скорость, следует рекомендовать занимать соответствующую полосу ПМТ с большим значением реализуемой скорости (полосы слева), или в отсутствие возможности исходить из полученного значения технической скорости ПМТ. Если по технологии организации движения ПМТ будет необходима более низкая техническая скорость, следует рекомендовать занимать соответствующую полосу ПМТ с меньшим значением реализуемой скорости (полосы справа), или в отсутствие возможности исходить из полученного значения технической скорости ПМТ [14].

### Заключение

В работе представлена информация об актуальных исследованиях закономерностей формирования транспортных потоков. Большой интерес представляют макроскопические модели, устанавливающие взаимосвязь между главными характеристиками транспортного

потока – плотностью, скоростью и интенсивностью. Проанализированы основные макроскопические модели, определяющие фундамент для последующих изысканий в области транспортных потоков. Одной из наиболее важных и эффективных моделей является модель Танака, описывающая соотношение плотность – скорость транспортного потока. Данное исследование дало толчок к новым разработкам, указанным в работе. В исследовании [13] было предложено использовать модель Танака для описания длины продольного динамического коридора транспортного средства, что позволило получить зависимости для скорости и интенсивности транспортного потока. Авторами [14] были созданы модели, определяющие условия движения подвижного состава для городских пассажирских наземных перевозок по полосам на многополосных перегонах городских улиц на примере движения автобусов на маршруте. Также были получены расчетные формулы для методики оперативного управления технической скоростью ГПТ на двух-, четырех- и шестиполосном перегоне УДС. Проведенные нами экспериментальные исследования [15] позволили заключить, что разработанные модели адекватны и могут применяться для описания процесса движения ГПТ на любых городских маршрутах.

### **Список литературы**

1. Власов, А. А. Теория транспортных потоков : монография / А. А. Власов. – Пенза : ПГУАС, 2014. – 124 с. – ISBN 978-5-9282-1173-8.
2. Пруненко, Д. А. Анализ существующих закономерностей формирования транспортных потоков с использованием макроподхода / Д. А. Пруненко, А. Н. Капустина // Научно-технічний збірник. – 2013. – № 109, Июнь. – С. 111–115.
3. Семенов, В. В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса : препринт ; В. В. Семенов ; Ин-т прикладной математики РАН. – Москва, 2004. – 44 с. – № 34 за 2004 г.
4. Потапова, И. А. Методы моделирования транспортного потока / И. А. Потапова, И. Н. Бояршинова, Т. Р. Исмагилов. – Текст : электронный // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 10, Ч. 2. – С. 338–342. – URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40856> (дата обращения: 20.02.2023).
5. Уизем, Дж. Линейные и нелинейные волны / Дж. Уизем. ; перевод с англ. В. В. Жаринова ; под ред. А. Б. Шабата. – Москва : Мир, 1977. – 622 с.
6. Kerner, B. S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory / B. S. Kerner. – Berlin : Springer Science & Business Media, 2009. – 265 p. – ISBN 364-2-02605-2 ; ISBN 978-3-6420-2605-8.
7. May, A. D. Traffic Flow Fundamentals / A. D. May. – NY : Prentice Hall ; Englewood Cliffs, 1990. – 464 p. – ISBN 978-0-1392-6072-8 ; ISBN 0-13-926072-2.
8. Nagatani, T. The Physics of Traffic Jams / T. Nagatani // Reports on Progress in Physics. – 2002. – Vol. 65, № 9. – 1331–1386 p.
9. Сильянов, В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц / В. В. Сильянов, Э. Р. Домке. – 2-е изд., стер. – Москва : Академия, 2008. – 346 с. – ISBN 978-5-7695-4864-2.
10. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю ; пер. с англ. Е. Г. Коваленко и Г. Д. Шермана ; под ред. чл.-кор. АН СССР Н. П. Бусленко. – Москва : Транспорт, 1972. – 424 с.
11. Михеева, Т. И. Модели транспортных потоков в интеллектуальных транспортных системах / Т. И. Михеева, С. В. Михеев, И. Г. Богданова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – 216 с.
12. Gartner, N. H. Traffic Flow Theory: A State-of-the-Art Report / N. H. Editors, N. H. Gartner, C. J. Messer, A. K. Rathi. – Washington DC : Turner-Fairbank Highway Research Center, 2001. – 384 p.
13. Колесов, В. И. Идентификация модели реального транспортного потока в городе / В. И. Колесов, М. Л. Гуляев, А. М. Осипенко // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 10(129). – С. 43–48.
14. Дудников, А. Н. Нормирование технической скорости подвижного состава городских пассажирских наземных перевозок / А. Н. Дудников, Н. В. Юшков // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. – 2021. – № 2(37). – С. 9–17.
15. Дудников, А. Н. Экспериментальная проверка методики оперативного управления технической скоростью городских пассажирских наземных перевозок / А. Н. Дудников, Н. В. Юшков // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2021. Материалы VII международной научно-практической конференции, в рамках 7-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие», 25 мая 2021. – Горловка : АДИ ГОУВПО «ДОННТУ», 2021. – С. 159–163.

**Н. В. Юшков**

**Автомобильно-дорожный институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка  
Анализ исследований закономерностей формирования городских транспортных потоков**

Работа посвящена анализу класса макроскопических моделей транспортного потока.

В статье рассматриваются основные исследования закономерностей формирования городских транспортных потоков, описаны модели, задающие вектор будущих изысканий в области теории транспортных потоков.

С каждым годом растет число изысканий в области транспортных систем, ученые транспортной области все глубже изучают закономерности движения транспортных средств в условиях постоянно увеличивающихся интенсивности и плотности транспортных потоков на улично-дорожных сетях крупных городов и мегаполисов. Не опираясь на знания о теории транспортных потоков, игнорируя тенденции функционирования транспортных систем, невозможно совершенствовать подходы к повышению безопасности и эффективности дорожного движения.

В начале 1950-х годов произошло формирование теории транспортных потоков в качестве совершенно нового научного направления. Математический анализ стал основой для исследований транспортных процессов, отодвинув на второй план эмпирические знания. Необходимость понимания закономерностей формирования транспортных потоков вызвана применением математических моделей при моделировании транспортных потоков.

Одной из наиболее важных и эффективных моделей является модель Танака, описывающая соотношение плотность-скорость транспортного потока. Данное исследование дало толчок к новым разработкам, указанным в статье. В трудах, на которые опирается работа, были представлены зависимости между основными параметрами транспортного потока, которые дают широкое поле для дальнейших исследований. Экспериментальное подтверждение формул, полученных в работе, на которую ссылается автор, показывают адекватность применяемых моделей.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ, ТРАНСПОРТНЫЙ ПОТОК, АНАЛИЗ, МАКРОСКОПИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ЗАКОНОМЕРНОСТЬ, ПЛОТНОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА, СКОРОСТЬ, ИНТЕНСИВНОСТЬ**

**N. V. Iushkov**

**Automobile and Road Institute (Branch) of Federal State Budget Educational Institution  
of Higher Education «Donetsk National Technical University» in Gorlovka  
Analysis of Pattern Studies of the Urban Traffic Flows Formation**

The work is devoted to the class analysis of the macroscopic traffic flow models.

The article discusses the main studies of the patterns of the urban traffic flows formation, describes the models that set the vector for the future research in the field of the theory of the traffic flows.

Every year the number of researches in the field of transport systems is growing. The transport scientists are increasingly studying the patterns of the vehicle movement in the face of ever-increasing intensity and density of traffic flows on the road networks of large cities and metropolitan areas. Without relying on knowledge of the traffic flows theory, ignoring the trends in the functioning of the transport systems, it is impossible to improve approaches to enhancing the safety and efficiency of the road traffic.

In the early 1950s, the theory of traffic flows was formed as a completely new scientific direction. The mathematical analysis has become the basis for the study of transport processes, relegating empirical knowledge to the background. The need to understand the patterns of the traffic flows formation is caused by the use of mathematical models in modelling traffic flows.

One of the most important and effective models is the Tanaka model, which describes the density-velocity relationship of the traffic flow. This study gave impetus to the new developments indicated in the article. In the works on which the work is based, the dependencies between the main parameters of the traffic flow were presented, which provide a wide field for further research. The experimental confirmation of the formulas obtained in the work cited by the author shows the adequacy of the applied models.

**MODELLING, TRAFFIC FLOW, ANALYSIS, MACROSCOPIC MODEL, REGULARITY, TRAFFIC DENSITY, VELOCITY, INTENSITY**

**Сведения об авторе:**

**Н. В. Юшков**

SPIN-код РИНЦ: 5405-9629

Телефон: +7 (949) 325-73-23

Эл. почта: nik.yushkov.97@mail.ru

*Статья поступила 12.04.2023*

*© Н. В. Юшков, 2023*

*Рецензент: Д. Н. Самисько, канд. техн. наук,  
Автомобильно-дорожный институт  
(филиал) ДонНТУ в г. Горловка*