



Сергей Гусев,

д.э.н., доцент, профессор кафедры организации перевозок, безопасности движения и сервиса автомобилей, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, Институт энергетики и транспортных систем



Екатерина Мартынова,

ассистент, кафедры организации перевозок, безопасности движения и сервиса автомобилей, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, Институт энергетики и транспортных систем

# МОДЕРНИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ВИДЕМАНА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы управления транспортными потоками с учетом сложности организации городской среды и многообразия форм хозяйственных связей, влияющих на эффективность ее функционирования. Город с учетом его топологии представлен платформой для реализации самых смелых идей и практик формирования агломераций. Рассмотрена интеллектуальная составляющая в решении задач управления транспортной логистикой. Проведен анализ моделей управления транспортными потоками города с учетом уровня иерархической принадлежности. Предложена модернизированная психофизиологическая модель Видемана для решения задач управления транспортными потоками в логистике.

**Ключевые слова.** Поток, транспорт, агломерация, модель, сеть, движение, маршрут, скорость доставки.

**Annotation.** The article deals with the management of transport flows, taking into account the complexity of the organization of the urban environment and the variety of forms of economic relations that affect the effectiveness of its functioning. The city, given its topology, is represented by a platform for implementing the most daring ideas and practices of forming agglomerations. Considered the intellectual component in the solving the tasks transport logistics management. An analysis of models of management of transport streams of a city taking into account a level of a hierarchical accessory is carried out. Proposed the modernized psychophysiological model of Wiedemann's to solve the tasks of managing transport flows in logistics.

**KEY WORDS.** Flow, transport, agglomeration, model, network, traffic, route, delivery speed.

В России в 2016 году в 1100 городах сосредоточено более 108 млн человек, что соответствует 74,2% населения РФ. Насчитывается от 25 до 50 крупных городских агломераций. В них проживают 66,6 млн человек, или 65,5% городского населения, что составляет 45,1% от общей численности населения страны. Доля агломераций в объеме ВВП составляет сегодня 51,7%, а к 2020 году прогнозируется ее увеличение до 56,6%. Современные тенденции изменения городской среды сопровождаются комплексом противоречий, включая территориальные, экономические, экологические, социальные и другие проблемы. Направленность на укрупнение города и сосредоточение в нем центров культурной и общественной жизни одновременно концентрирует

в себе и сложности с мобильностью населения. Возникающие вопросы с транспортной доступностью становятся жизненно важными составляющими и выходят на первый план в организации работы практически любого муниципального хозяйства. Желание свободно, быстро и удобно перемещаться – это уже не потребность, а форма взаимодействия муниципальной власти и каждого жителя города, что в условиях современного развития городской среды и ее трактовки как «среды без границ и открытого неба» лишь подчеркивает значимость и важность вопросов транспортного обслуживания.

Изменившиеся условия движения транспортных потоков (ТП) привели к повышению нагрузки на транспортную сеть, инфраструктуру и

окружающую среду, усилили эмоциональную составляющую участников движения.

Состояние и тенденции развития мобильных транспортных систем в настоящее время характеризуются постоянным увеличением числа транспортных средств, и, как следствие, интенсивным ростом спроса на транспортное обслуживание [10]. Такое положение дел привело к увеличению интенсивности потока транспортных средств, снижению скорости доставки грузов и пассажиров, возникновению сложных дорожных ситуаций.

Растущую потребность в улучшении условий передвижения внутри населенных пунктов и за их пределами нельзя полностью удовлетворить только лишь созданием новых схем транспортного сообщения.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости поиска эффективных решений в управлении транспортными потоками города, исследованию особенностей и закономерностей их функционирования, а также разработки и внедрения в практику управления моделей, адекватно учитывающих сложившиеся условия и перспективы развития транспортной отрасли [1–4, 12].

На наш взгляд, более детального изучения требуют модели, использование которых позволит не только описать состояние и динамику транспортного потока, но и в перспективе предсказать его поведение и управлять им.

С целью развития практической составляющей в решении задач оптимизации транспортной логистики [6–8] наряду с другими исследователями мы изучили методические положения:

- по управлению транспортными потоками;
- разработке альтернативных вариантов перемещения транспортных средств;
- по взаимодействию поставщиков и получателей в процессе доставки продукции;
- управлению потоками пассажиров и пешеходов.

Степень сложности определила необходимость поиска новых интеллектуальных моделей и методов управления транспортной логистикой, проектирования схем доставки и маршрутизации подвижного состава [4, 5, 9].

Рассматривая основные эксплуатационные параметры транспортного потока с точки зрения возможности их использования для построения зависимостей, учитывающих приведенные составляющие, необходимо отметить аналитику модели Танака [3, 11]. Ее математическая формулировка позволяет определить плотность транспортного потока (1, 2).

$$\rho(v) = 1 / (d(v) \times 0,001), \text{ авт/км}, (1)$$

$$d(v) = L + c_1 v + c_2 v^2, \text{ м.} (2)$$

Среднее (безопасное) расстояние между АТС при заданной скорости  $v$  движения потока  $d(v)$ , также под  $d(v)$  понимают часть полосы, содержащую АТС вместе с дистанцией экстренного торможения), где  $L$  – средняя длина АТС;  $c_1$  – время, характеризующее реакцию водителей;  $c_2$  – коэффициент пропорциональности тормозному пути.



**По отношению к модели Танака зависимость Видемана более полно отражает перемещения транспортного средства, включая развитие данного процесса во времени и пространстве, учитывает стилистику поведения участников, формы взаимодействия между ними, начиная от свободного движения, переходя к плотному потоку.**

Коэффициент  $c_2$  зависит от дорожных условий. Так, при нормальных условиях:

$$d(v)[\text{м}] = 5,7 + 0,504 \times v + 0,0285 \times v^2, \text{ м.} (3)$$

Для мокрого асфальта:

$$d(v)[\text{м}] = 5,7 + 0,504 \times v + 0,0570 \times v^2, \text{ м.} (4)$$

Для обледенелой дороги:

$$d(v)[\text{м}] = 5,7 + 0,504 \times v + 0,1650 \times v^2, \text{ м.} (5)$$

$c_1$  – величина, принятая в расчетах с учетом дифференциации значений времени реакции водителей.

Время реакции в данной зависимости – «первая ласточка» в оценке составляющих психофизиологии и интеллектуализации при построении модели поведения транспортного потока. Безусловно, мы учитываем важный параметр, но в целом комплексного восприятия добиться сложно. Требуется принимать во внимание не только время реакции и адаптации, но и другие компоненты, характеризующие поведение водителя и других участников, определяющих «интеллектуальное» состояние транспортного потока.

Развитие интеллектуальных подходов способствует распространению систем искусственного интеллекта в управлении транспортными системами, в том числе практически во всех современных программных комплексах, оборудовании и в обучающих системах.

Данному обстоятельству способствуют такие качества человеческого интеллекта, как пытливость и глубина ума, его гибкость и подвижность, логичность и доказательность. Направленность на расширение учета

приведенных характеристик и есть та глобальная цель, достичь которую пока сложно.

Очередной шаг на этом нелегком пути позволяет сделать разработанная психофизиологическая модель Видемана (6, 7).

$$\frac{dv}{dt} = a \left[ 1 - \left(\frac{v}{v_0}\right)^\delta - \left(\frac{s \times (v, \Delta v)}{s}\right)^2 \right], (6)$$

$$s \times (v, \Delta v) = v_0 + \max \left[ 0, (vT + \frac{v \Delta v}{2\sqrt{ab}}) \right], (7)$$

где  $v_0$  – желаемая скорость (та, с которой автомобиль перемещался бы в свободном потоке);  $s_0$  – минимальное расстояние между автомобилями, которое сохраняется даже в пробке;  $T$  – время движения с данной скоростью до столкновения с предыдущим автомобилем;  $a$  – ускорение;  $b$  – комфортное ускорение торможения.

По отношению к модели Танака зависимость Видемана более полно отражает перемещения транспортного средства, включая развитие данного процесса во времени и пространстве, учитывает стилистику поведения участников, формы взаимодействия между ними, начиная от свободного движения и переходя к плотному потоку.

Многофакторность воздействия на транспортные потоки зависит не только от погодных и климатических условий, но и взаимодействия между участниками дорожного движения. Для оценки влияния приведенных факторов и сложившихся условий предлагается более полно использовать потенциал психофизиологических моделей транспортного потока.

Следуя траектории и логике изложения существа вопроса, впервые предлагается использовать зависимость, построенную на основе модели Видемана (8):

$$\frac{dv}{dt} = \alpha \left[ 1 - \left(\frac{v}{v_0}\right)^\delta - \left(\frac{s_0 + \max\left[0, \left(vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}}\right)\right]}{V + \frac{V^2 K}{3,6 + 254(\varphi \pm i)} + l_0 + l_2}\right)^2 \right],$$

м/с<sup>2</sup>, (8)

где  $v_0$  – желаемая скорость, км/ч;  $s_0$  – минимальное расстояние между автомобилями, которое сохраняется даже в пробке, м;  $T$  – время движения с данной скоростью до столкновения с предыдущим автомобилем, ч;  $\alpha$  – ускорение, м/с<sup>2</sup>;  $b$  – «комфортное» ускорение торможения, м/с<sup>2</sup>;  $l_2 = 5$  – расстояние между остановившимися автомобилями, м;  $K = 1,2$  – коэффициент эксплуатационного состояния тормозов;  $\varphi = 0,5$  – коэффициент сцепления;  $l_0 = 0$  – продольный уклон, м.

Изучая базовый вариант формулировки модели Видемана, мы столкнулись с некоторыми трудностями относительно дефиниции «динамический габарит» и тем, как правильно использовать данную величину. Как правило, классическое восприятие динамических характеристик транспортного потока связано со скоростными параметрами транспортных средств, и динамические габариты исследовались ранее с позиции ширины транспортного средства. Представленная модернизированная версия, на наш взгляд, устраняет данные противоречия не только с точки зрения терминологии, но и с точки зрения практического использования. Скоростные параметры транспорт-

ного потока представлены в данной формуле очень подробно, включая соотношения желаемых и реальных скоростей движения, что показывает отклик и уровень взаимодействия в потоке. Развивая положения Видемана, мы решаем задачу об учете не только скорости и величины перемещения транспортного средства, но и учете других характеристик, влияющих на них.

Апробация предложенной модели при описании транспортного потока улично-дорожной сети города Саратова позволяет сделать вывод о том, что при увеличении интенсивности движения транспортного потока и расчете коэффициентов, характеризующих его эксплуатационное состояние, модернизированная модель Видемана более точно (на 4,1%) описывает и характеризует реальную картину в транспортной системе города по сравнению с моделью Танака, а также базовой моделью Видемана.

Использование предложенных подходов в моделировании возможно при осуществлении мероприятий тактического и стратегического планирования для транспорта и логистики в оценке объемов транспортной работы и транспортно-логистических услуг при заданном варианте размещения основных грузообразующих и грузоплощающих пунктов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гасников А.В. Математическая физика транспортных потоков: учеб. пособие. – М.: 2009 г. – 37 с.
2. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем: учеб. пособие. – СПб.: СПбГАСУ, 2011. – 173 с.

3. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
4. Доенин В.В. Интеллектуальные транспортные потоки. – М.: Спутник, 2007. – 308 с.
5. Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы: учеб. пособие. – М.: МАДИ. – 2016. – 120 с.
6. Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов (склады, транспортные узлы, терминалы): учебник для транспортных вузов / под общей редакцией Л.Б. Миротина. – М.: Экзамен, 2003. – 448 с.
7. Лукинский В.С., Лукинский В.В., Плетнева Н.Г. Логистика и управление цепями поставок: учебник и практикум для академического бакалавриата. – М.: Юрайт, 2016. – 359 с.
8. Основы логистики: учебник для вузов / под ред. В. Щербакова. – СПб.: Питер, 2009. – 432 с.
9. Основы транспортного моделирования: практическое пособие / А.Э. Горев, К. Беттгер, А.В. Прохоров, Р.Р. Гизатуллин. – СПб.: Издательско-полиграфическая компания «Коста», 2015. – 168 с.
10. Пржибыл П., Свитек М. Телематика на транспорте / под редакцией профессора В.В. Сильянова. – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – 540 с.
11. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 11.
12. Якимов М.Р. Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах: монография. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2011. – 175 с. ■



Источник: фотоматериалы предоставлены Hyundai Motor Company