

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПОЛОСАМ ДВИЖЕНИЯ НА АВТОМАГИСТРАЛИ

Горелов А.М.<sup>1</sup>, Власов А.А.<sup>1</sup>, Чушкина Ж.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28), e-mail:obd@pguas.ru

---

Статья посвящена исследованию движения автомобилей по автомагистралям. Рассмотрено распределение автомобилей по полосам движения. Традиционно макроскопические модели, используемые в системах управления движением на автомагистралях, рассматривают только продольное движение транспортных потоков, а вопросу распределения интенсивности по полосам движения не уделено должного внимания. Известные экспериментальные исследования распределения транспортных потоков по полосам движения не в полной мере учитывают характеристики транспортных потоков. Разработана имитационная микроскопическая модель участка автомагистрали в программе SUMO и проведено исследование влияния величины транспортного спроса и вариации скоростей транспортного потока на распределение автомобилей по полосам движения. Качественно полученные результаты моделирования совпадают с известными исследованиями. В результате статистической обработки результатов моделирования получена регрессионная модель загрузки полос движения, учитывающая величину транспортного спроса и среднеквадратичное отклонение скоростей движения.

---

Ключевые слова: транспортный поток, автомагистраль, распределение интенсивности по полосам движения

## VEHICLES DISTRIBUTION AMONG LANES ON THE HIGHWAY

Gorelov A.M.<sup>1</sup>, Vlasov A.A.<sup>1</sup>, Chushkina Z.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Penza State University of the Architecture and Building (440028, Penza, street Hermann Titov, 28), e-mail:obd@pguas.ru

---

The paper is devoted to research of traffic movement on highways. Vehicles distribution among lanes is considered. Traditionally macroscopic models, used in control systems by movement on highways, longitudinal movement of traffic flow is considered only, and to a question of volumes distribution among lanes is not given due attention. Known experimental researches of flow distribution among lanes not to the full consider characteristics of transport streams. The microscopic simulation model of a highway section in program SUMO is developed and research of transport demand values influence and a variation of flow speeds to distribution among lanes are carried out. Qualitatively received of modeling results coincide with known researches. After statistical analyzing of modeling results it is received regression model of lanes loading, considering transport demand value and mean square deviation of speeds.

---

Keywords: traffic flow, highway, volume distribution among lanes

Важной характеристикой движения транспортных средств по автомагистралям является распределение интенсивности по полосам движения. Однако в макроскопических моделях, используемых в системах управления движением на автомагистралях, рассматривается только продольное движение транспортных потоков, а вопросу распределения интенсивности по полосам движения не уделено должного внимания. Результаты экспериментальных исследований данного вопроса можно найти в работе А.Н. Красникова [3]. Автор исследовал распределение интенсивности движения по полосам движения на шести- и четырехполосных автомагистралях. Для шести полосных автомагистралей при интенсивности движения 200 – 1200 авт/ч получены следующие эмпирические зависимости:

– для крайней правой полосы  $Q_1 = 0,40 \cdot Q + 50$ ;

– для средней полосы  $Q_2 = 0,441 \cdot Q - 18$ ;

– для крайней левой полосы  $Q_3 = 0,168 \cdot Q - 42$ .

В работе так же отмечено существенное влияние на распределение интенсивности по полосам движения состава транспортного потока и общей интенсивность движения. С увеличением доли легковых автомобилей снижалась занятость крайней правой полосы движения, а с ростом общей интенсивности движения загрузка полос движения становилась более равномерной.

Существенное изменение динамических характеристик автомобилей (особенно грузовых) с момента проведения исследований А.Н. Красникова и необходимость учета состава транспортного потока в модели распределения интенсивности по полосам движения определяет актуальность проведения дальнейших исследований данного вопроса.

### **Исследование распределения транспортных средств по полосам движения на четырехполосной автомагистрали.**

Транспортный поток, как объект исследования обладает рядом особенностей:

- динамическим характером поведения;
- невозможностью получить полную информацию о состоянии транспортного потока путем проведения натурных измерений. Имеющиеся в распоряжении исследователей технические средства позволяют проводить только выборочную оценку состояния транспортного потока на стационарных постах;
- ограниченность в проведении экспериментов по соображениям экономического характера и обеспечения безопасности движения.

В связи с указанными особенностями транспортного потока как объекта исследований, основным методом изучения становится микроскопическое моделирование. Для выполнения исследований в качестве среды моделирования выбрана программа SUMO (Simulation of Urban MObility) [5]. Управление процессом моделирования в SUMO может осуществляться из внешних программ на языке Python через модуль TraCI [2].

Процедура проведения имитационного моделирования (рисунок 1) в общем случае включает в себя три этапа: подготовку транспортной сети и сценария моделирования, собственно имитацию, составление отчетов и обработку результатов.

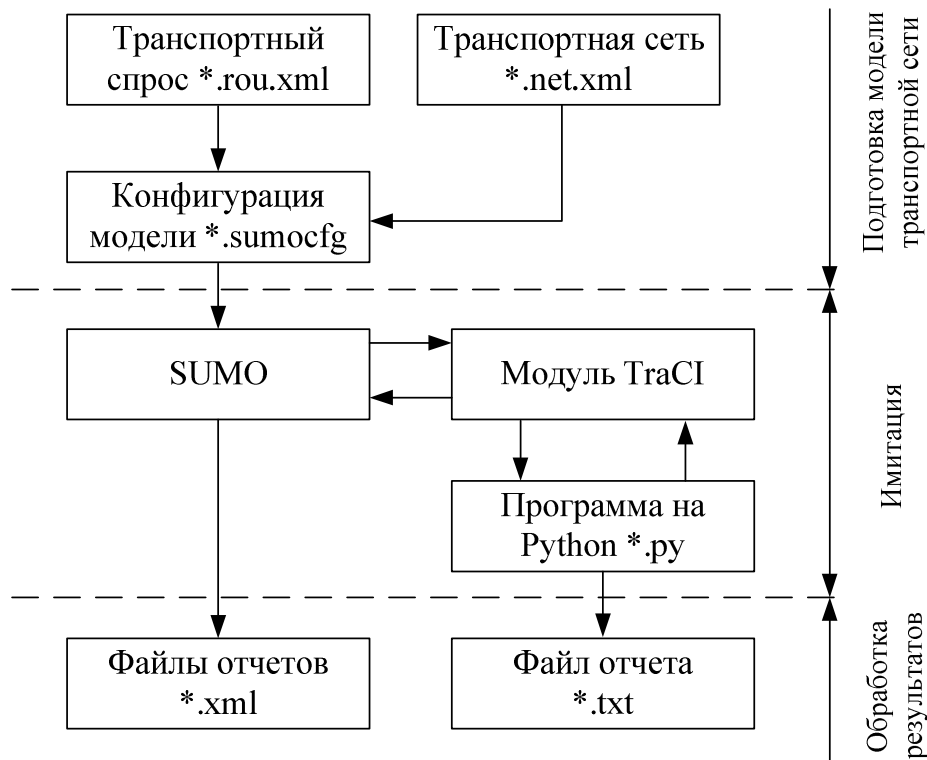


Рис. 1. Схема имитационного моделирования

Транспортная сеть представляла собой участок автомагистрали с двумя полосами движения в одном направлении протяжённостью 2 км. В конце участка установлены 2 детектора транспорта, выполняющие измерения скорости и интенсивности движения. В исследовании варьировался транспортный спрос и среднеквадратичное отклонение (вариация) желаемой скорости движения.

Модель движения SUMO основана на определении безопасной скорости между ведомым транспортным средством и лидером из условий обеспечения безопасной остановки:

$$v_{safe}(t) = -\tau \cdot b + \sqrt{(\tau \cdot b)^2 + v_{leader}(t-1)^2 + 2 \cdot b \cdot g_{leader}(t-1)}$$

где  $v_{safe}(t)$  – безопасная скорость в момент времени  $t$ , м/с;  $\tau$  – время реакции водителя ведомого автомобиля, с;  $b$  – максимальное замедление, м/с<sup>2</sup>;  $v_{leader}(t)$  – скорость лидера во время  $t$ , м/с;  $g_{leader}(t)$  – дистанция между передней частью ведомого автомобиля и задним бампером лидера во время  $t$ , м.

При ограничениях на значения желаемой скорости:

$$v_{des}(t) = \min\{v_{safe}(t), v(t-1) + a, v_{max}\},$$

где  $v_{des}(t)$  – желаемая скорость, м/с;  $v(t)$  – текущая скорость, м/с;  $a$  – максимальное ускорение, м/с<sup>2</sup>;  $v_{max}$  – максимальная скорость, м/с.

Средняя желаемая скорость движения в исследовании определена на основе натурных обследований скорости движения проведенных на автодороге Р-209 в районе г. Пензы и

имела фиксированное значение 90 км/ч [1]. Вариация желаемой скорости достигалась путем модификации максимально желаемой скорости входящих в транспортную сеть автомобилей по нормальному закону распределения с математическим ожиданием 90 км/ч и среднеквадратичным отклонением  $\sigma$  через интерфейс модуля TraCI.

Транспортный спрос генерируется заранее, а соответствующий файл загружается в процессе имитации. Вариация транспортного спроса для несвязанного транспортного потока, как указано в работе [4] может составлять от 200 до 700 авт/ч на полосу движения. В проведенных исследованиях транспортный спрос для двухполосной проезжей части автомагистрали составлял 600, 900 и 1500 авт/ч.

В процессе имитации фиксировались следующие параметры транспортного потока:

- интенсивность движения отдельно по полосам движения  $Q_1$  и  $Q_2$ ;
- суммарная интенсивность движения  $Q$ ;
- среднеквадратичное отклонение скорости движения автомобилей  $I$ .

В результате моделирования установлено, что в зависимости от условий движения, по крайней правой полосе движения движется от 32% до 85% автомобилей (рисунок 2).

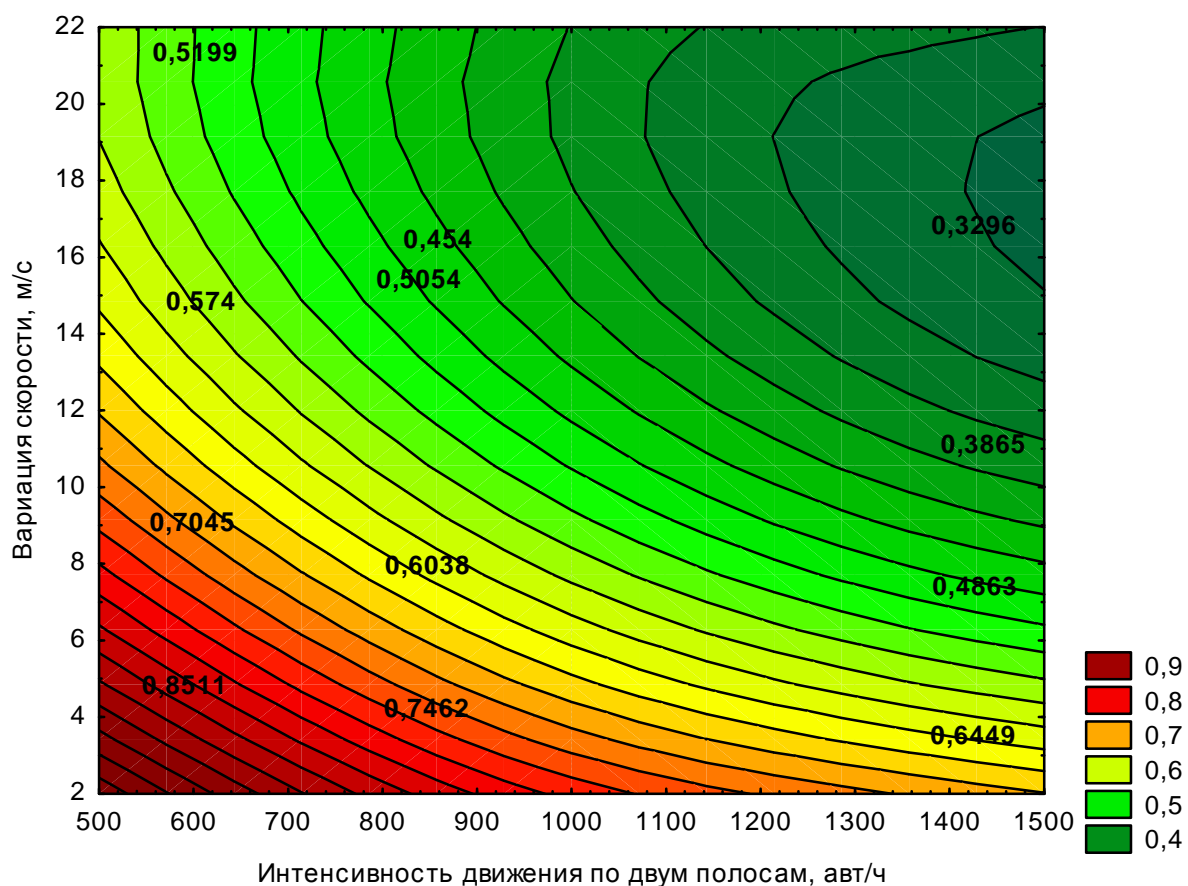


Рис. 2. Доля транспортных средств, движущихся по первой полосе

Качественно полученные результаты моделирования совпадают с данными, приведенными в работах [3, 4]. При малой интенсивности движения и однородном по скорости транспортном потоке по первой полосе движется 70-85% автомобилей. При увеличении неоднородности потока и интенсивности движения доля автомобилей, движущихся по правой полосе, уменьшается до 40-32%.

В результате статистической обработки результатов моделирования (таблица 1) получена следующая регрессионная модель загрузки полос движения:

$$Q_1 = 446.47 + 0.60 \cdot Q - 70.42 \cdot I - Q^2 \cdot 10^{-4} + 5.56 \cdot I^2 - 0.02 \cdot Q \cdot I - 0.127 \cdot I^3, \quad (1)$$

$$Q_2 = Q - Q_1,$$

где  $Q$  – суммарная интенсивность движения по автомагистрали, авт/ч;  $Q_1$  – интенсивность движения по правой полосе, авт/ч;  $I$  – среднеквадратичное отклонение (вариация) скорости, м/с.

Таблица 1

Распределение интенсивности движения по полосам

Суммарная интенсивность движения $Q$ , авт/ч	Среднеквадратичное отклонение скорости $I$ , м/с	Интенсивность движения по 1 полосе $Q_1$ , авт/ч	Модельные значения $Q_1$ , авт/ч	Ошибка	
				авт/ч	%
591	4,42	503	510,78	-7,78	-1,55
599	8,67	422	399,04	22,96	5,44
608	14,44	349	363,13	-14,13	-4,05
602	20,93	313	314,46	-1,46	-0,46
847	3,82	632	645,73	-13,73	-2,17
848	7,56	512	505,27	6,73	1,31
839	15	424	406,12	17,87	4,21
859	16,05	390	401,29	-11,29	-2,89
1425	3,11	919	905,81	13,19	1,43
1427	7,00	694	695,60	-1,60	-0,23
1436	10,71	555	578,01	-23,01	-4,15
1426	16,42	470	457,74	12,26	2,61

Коэффициент корреляции результатов микроскопического имитационного моделирования и регрессионной модели (1) составляет 0,9963. Распределение остатков регрессии на полунормальной бумаге (рисунок 3) также свидетельствует об адекватности полученной регрессионной модели.

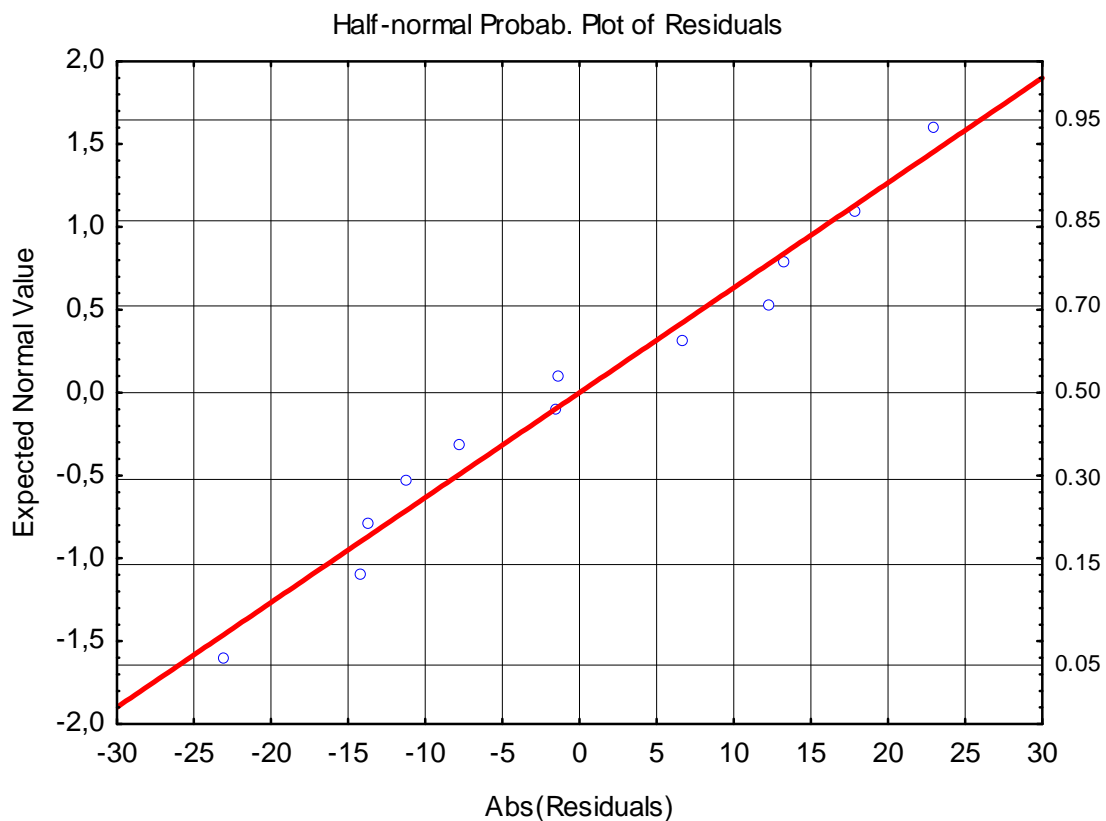


Рис. 3. Распределение остатков регрессии на полуноормальной бумаге

### Заключение

Проведенные исследования показали существенную неравномерность загрузки полос движения в зависимости от характеристик транспортных потоков. Полученная по результатам имитационного моделирования регрессионная модель позволяет выполнять прогноз распределения автомобилей по полосам движения в зависимости от транспортного спроса и вариации скоростей движения в транспортном потоке.

Дальнейшим направлением исследований вопроса распределение интенсивности по полосам движения является учет ограничений, устанавливаемых на максимальную скорость движения по отдельным полосам. Решения указанной задачи позволит повысить эффективность функционирования систем управления скоростным режимом на автомагистралях.

### Список литературы

1. Горелов А.М. Калибровка микроскопических моделей в задачах управления транспортными системами городов / Орлов Н.А., Власов А.А. // Региональная архитектура и строительство. – 2014. - 1(18). – С. 175-180.
2. Власов А.А. Использование программы микроскопического моделирования SUMO для оценки эффективности алгоритмов управления транспортными потоками / Орлов Н.А., Чуш-

кина Ж.А. // Современная техника и технологии. – 2014. - № 9 [Электронный ресурс]. – URL: <http://technology.snauka.ru/2014/09/4418> (дата обращения: 29.10.2014).

3. Красников А.Н. Закономерности движения на многополосных автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1988. – 111 с.

4. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.

5. Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban MObility/ Daniel Krajzewicz, Jakob Erdmann, Michael Behrisch, and Laura Bieker // International Journal On Advances in Systems and Measurements. – 2012. – 5 (3&4). – pp. 128-138.

**Рецензенты:**

Коновалов В.В., д.т.н., профессор кафедры д.т.н., профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза;

Бажанов А.П., д.т.н., профессор кафедры «Геотехника и дорожное строительство» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза.