

*Ю. И. Захаров, к. т. н., проф., Е. С. Карнаух, асп.*

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, транспортные потоки, оптимизация, анализ, городская среда, транспортные средства, генеральный план города

**Постановка проблемы.** В наши дни вопрос управления транспортными потоками улично-дорожной сети (УДС) стоит крайне остро. Эта проблема касается многих населённых пунктов, но особенно часто с ней сталкиваются жители больших городов. Значительный рост количества личных и общественных средств транспорта привело к чрезмерной загруженности городских дорог, длительным остановкам движения, проблемам при передвижении пешеходов, росту числа аварий и многим другим негативным последствиям.

Особое внимание в системе управления дорожным движением уделяется транспортному потоку, состоящему из транспортных средств (автомобилей, мотоциклов, трамваев, автобусов и др). Анализ дорожной ситуации является довольно трудоёмким мероприятием, т. к. система включает в себя большое количество факторов, не все из которых могут быть легко учтены при тщательном описании сложившейся ситуации. Кроме технического фактора, дорожная система включает в себя также и социальный [7], что определяет её специфику и делает управление довольно проблематичным.

**Анализ литературы.** Известный американский специалист в области транспортной инженерии Д. Дрю в своей монографии на тему теории транспортных потоков подробно рассматривает элементы системы «водитель – автомобиль – дорога», а также модели движения потоков [1]. Автор подчёркивает особую роль социального фактора, во многом определяющего поведение транспортного потока.

В работах современных специалистов в области транспорта описаны различные способы регулирования движения на сложных узлах дорог и скоростных магистралях, а также методы проектирования экономичных транспортных систем с высокой пропускной способностью [2]. Методы машинной имитации движения транспортных потоков приведены в книгах Р. Картабаева [3], В. Сильянова [6], Ф. Хейта [8]. Работы этих авторов несомненно заслуживают внимания, однако их исследования проводились до 1983 года. К настоящему моменту наука в этой области сделала большой шаг вперед, что не могло не отразиться на способах управления транспортом. Сегодня существует большое количество специальных систем для моделирования транспортных потоков УДС [5; 9]. Известные подходы к моделированию могут быть классифицированы в зависимости от уровня детализации изучаемого процесса на модели микро- и макроуровня.

Модели макроуровня описывают весь транспортный поток как единое целое, учитывая совокупность всех транспортных средств. Значимой характеристикой этой модели выступает интенсивность движения. Этот тип модели наиболее целесообразно применять при анализе транспортной системы большого объема, к примеру, магистральных и межрегиональных дорожных сетей.

Модели микроуровня применимы в случае изучения отдельных транспортных единиц потока и взаимодействия между ними. Модели этого класса показывают поведение отдельных участников дорожного движения, подчиняющихся правилам движения и взаимодействия транспортных средств. Правила поведения содержат дополнительные стратегии для управления скоростью и ускорением. В настоящее время микромодели используются для имитации трафика на отдельных перекрестках, улицах и дорожных узлах. Учитываемыми параметрами в этих системах служат скорость потока, его интенсивность, характеристики транспортных средств и исследуемого участка дороги [4].

Обе модели применимы на современном этапе изучения движения, но большинство существующих систем предназначены для построения и исследования моделей микроуровня.

**Цель статьи.** Дать описание и охарактеризовать основные программы, используемые для имитационного микромоделирования транспортного потока УДС в современной градостроительной практике.

**Изложение материала.** Процесс построения имитационной модели транспортного потока включает в себя следующие этапы. На стадии постановки проблемы необходимо поставить

цель проекта, определить изучаемую зону, выбрать вспомогательные средства и вид будущей модели. На этапе сбора данных необходима информация об интенсивности движения на изучаемом участке, карты изучаемых участков дорог, проведение натурных исследований. Следующим этапом служит непосредственно процесс построения базовой модели на основе данных, полученных в ходе натурных измерений, и оценка достоверности этих данных. Необходимым моментом исследования также является проверка достоверности результатов измерений. Окончательным этапом является построение модели транспортного потока с учётом всех имеющихся данных.

В наши дни существует достаточно много технических средств, служащих с целью построения модели транспортного потока (табл. 1). Большая часть этих пакетов направлена на создание микроуровневой модели. Для построения дорожных ситуаций, включая транспортные узлы, широко известно около 30 соответствующих средств. Примерами могут служить IHSDM, PARAMICS, AIMSUN, VISSIM, PLANSIM-T, AUTOBAHN, TRANSIMS, FLEXYT-II, INTEGRATION, SimTraffic 6, MITSIM и др [11]. Много специалистов в данной области постоянно работают над модернизацией существующего компьютерного обеспечения. Большинство пакетов имеют как преимущества, так и недостатки. Программы выделяются высоким уровнем сложности, однако удобным пользовательским интерфейсом и большим набором опций, необходимых для моделирования, проектирования, анализа и оптимизации транспортной сети. Выполним анализ существующих компьютерных программ.

*Таблица 1*

*Основные компьютерные программы, используемые для моделирования транспортного потока*

Инструмент	Разработчик	Страна разработки	Официальный сайт разработчика
IHSDM	Turner-Fairbank Highway Research Center	США	<a href="http://www.fhwa.dot.gov/">http://www.fhwa.dot.gov/</a>
PARAMICS, S-PARAMICS	Quadstone Paramics	Великобритания	<a href="http://www.paramics-online.com/">http://www.paramics-online.com/</a>
AIMSUN	Transport Simulation System (TSS)	Испания	<a href="http://www.aimsun.com/">http://www.aimsun.com/</a>
Visum, Vissim	PTV AG	Германия	<a href="http://www.ptvgroup.com/">http://www.ptvgroup.com/</a>
PLANSIM-T	Transportation, Division of (DOT)	США	<a href="http://www.dupageco.org/">http://www.dupageco.org/</a>
AUTOBAHN		Германия	<a href="http://www.autobahn.nrw.de/">http://www.autobahn.nrw.de/</a>
TRANSIMS	TMIP	США	<a href="http://www.fhwa.dot.gov/">http://www.fhwa.dot.gov/</a>
FLEXYT-II	Society for Computer Simulation	Бельгия	<a href="http://trid.trb.org/">http://trid.trb.org/</a>
SimTraffic 6	Trafficware Corporation	США	<a href="http://trafficware.infopop.cc/">http://trafficware.infopop.cc/</a>
MITSIM	MIT Intelligent Transportation Systems (ITS)	США	<a href="http://www-mtl.mit.edu/">http://www-mtl.mit.edu/</a>
ПК ФП	Экономико-математический институт РАН, ЗАО «Петербургский НИПИград»	Санкт-Петербург	<a href="http://www.nipigrad.ru/">http://www.nipigrad.ru/</a>
TRANSNET	Институт системного анализа РАН	Москва	<a href="http://www.isa.ru/">http://www.isa.ru/</a>

Крайне популярные компьютерные программы на территории Евросоюза это VISSIM, PARAMICS и AIMSUN, созданные для построения моделей дорожных ситуаций на микроуровне. Опишем их основные свойства, указывающие на степень подробности описания

моделируемой ситуации и её отдельных единиц, способность пакета работать с другими программами, грамотно и подробно отображать результирующие материалы.

Программа AIMSUN (Transport Simulation System) создана в Испании. Это составная часть имитационной среды GETRAM/AIMSUN, разработанная для построения моделей дорожных ситуаций микроуровня. Этот пакет даёт возможность с высокой степенью точности воспроизвести любую по геометрической сложности дорожную ситуацию благодаря возможности онлайн доступа к существующим цифровым картам. Система способна детализированно показывать поведение каждого транспортного средства в потоке. Такой результат достигается в результате учёта всех известных физических параметров и процессов, имеющих значительное влияние на движение потока в целом и на отдельные его единицы. Программа обеспечивает получение подробных планов, синхронизированных с реальными дорожными ситуациями, а также отвечающих требованиям таких программ как TRANSYT, SYNCHRO и Nema. Вспомогательные инструменты интерфейса позволяют работать с такими системами как C-Regelaar, SCATS, SCOOT. Результат работы системы наглядно воспроизводится в виде анимационных двумерных и трёхмерных объектов [10].

Транспортные средства в данной компьютерной среде движутся по маршрутам, обусловленным выбранной моделью. Инструменты AIMSUN также позволяют автомобилям изменять изначально выбранные линии маршрутов согласно влиянию дорожных условий и обстановки. Эта опция даёт возможность распределения транспортных потоков эвристическим способом.

**PARAMICS (PARAllel MICroscopic Simulation)** – комплексный пакет программ, разработанный в Великобритании для построения микромоделей дорожных ситуаций. Программа даёт возможность подробного моделирования перегруженных магистралей, транспортных узлов, регулируемых и нерегулируемых перекрёстков, предоставляет возможность анализа и оптимизации движения транспортного потока. Пакет наиболее используем в Америке и Великобритании [14].

S-Paramics – это компьютерная система, которая позволяет моделировать отдельные компоненты движущегося транспортного потока или потока, затруднённого в своём движении. Программа даёт наглядную картину дорожной ситуации в виде двумерных и трёхмерных моделей транспортных средств. Воспроизведение видеороликов также возможно. S-Paramics учитывает влияние транспортных средств – участников движения друг на друга, а также их кинематические свойства, особенности дорожного полотна, порядок работы светофоров, специфику поведения водителей в сложившихся условиях движения. В результате система S-Paramics позволяет описать, проанализировать и оптимизировать движение транспортного потока во избежание заторов и аварий.

**VISSIM (PTV AG)** – немецкий мультифункциональный пакет для построения моделей дорожных ситуаций на микроуровне. Пакет является составной частью компьютерной среды PTV Vision Traffic Suite, которая также включает PTV Visum, предназначенную для анализа и прогнозирования дорожных ситуаций, и PTV Vistro, служащую для изучения шумовых характеристик транспортных средств. Мультифункциональность данного пакета заключается в способности системы отображать пять видов взаимодействующих участников дорожного движения: транспортные средства (автомобили, автобусы, грузовой транспорт), общественный транспорт (трамваи и автобусы), велосипеды и мотоциклы, пешеходы, рикши. В программе используются данные модели Видерманна о поведении человека в процессе вождения транспорта. Программа способна строить любую по величине транспортную сеть, но имеет ограниченные вычислительные возможности. Применение данного инструмента может быть полезно на всех стадиях работ, связанных с инженерными мероприятиями в области проектирования и устройства дорог, градостроительных проектов, при разработке противопожарных проектов (моделирование ситуации эвакуации). Программа выводит отчёты в виде трёхмерных изображений. Этот компьютерный инструмент широко используется во многих странах мира, включая Америку и Европу [13].

**IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model)** – американское компьютерное обеспечение, предназначенное для анализа безопасности и геометрической целесообразности автомобильных дорог. Это эффективный инструмент, используемый на стадии принятия важных решений в области дорожной инженерии. Он помогает дать оценку безопасности и качества эксплуатационных характеристик существующих или проектируемых дорог.

**MITSIM (MITSIMLab)** – пакет для анализа и проектирования динамических транспортных систем, разработанный в Америке и состоящий из двух основных компонентов. Traffic Management System (TMS), которая моделирует сетку маршрутов, учитывая знаки светофоров и правила движения. Второй частью пакета является программа, строящая микромоделли трафика MITSIM, и изображающая единичные транспортные средства, движущиеся по заданным маршрутам. Поведение водителя также учитывается [12].

**TRAN-SIMS (Los Alamos National Laboratory)** – инструмент микромоделирования, использующий агентный метод. Пакет произведён в Мексике. Изучаемая система представляется в виде множества агентов, проявляющихся независимо друг от друга. Динамические изменения во всей системе являются результатом отдельных поведений всех единиц системы. Программа даёт возможность проанализировать дорожную ситуацию с целью её оптимизации.

**Вывод.** Описание и управление реальными транспортными потоками довольно проблематично в связи с рядом факторов. К ним можно отнести невозможность дать точную характеристику дорожной системы из-за большого количества параметров, которые трудно учесть. К примеру, нестационарность транспортных потоков, их зависимость от временных факторов: сезона, дня недели и времени суток и т. д.

Имитационное моделирование динамики транспортного потока с использованием компьютерных пакетов значительно упрощает процесс его изучения и контроля. Инструменты позволяют наглядно представить движение каждого отдельного автомобиля в потоке, оценить эффективность принятых решений, направленных на улучшение организации движения.

Благодаря простоте использования, высокой адаптивности, способности строить модели, наиболее приближенные к реальным, наиболее популярными на сегодняшний день программами для моделирования транспортных потоков являются VISSIM, PARAMICS и AIMSUN.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – М. : Транспорт, 1972. – 424 с.
2. Иносэ Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада. – 1983. – 248 с.
3. Картабаев Р. С. Машинная имитация движения транспортных потоков для проектирования автомобильных дорог в горной местности / Р. С. Картабаев, В. А. Еремин. – Фрунзе : Илим, 1982. – 330 с.
4. Панасюк Я. С. Агентное микроскопическое моделирование транспортных потоков в COS.SIM // Матер. конф. «Математическое моделирование транспортных потоков». – МФТИ, Долгопрудный. – 2011.
5. Сергеева К. Ф. Анализ и оптимизация транспортных потоков с помощью моделирования / Сайт Междунар. молод. школы-семинара «БИКАМП: Будущее Информатики, Космического, Авиационного и Медицинского Приборостроения». – 2013.
6. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации дорожного движения / В. В. Сильянов. – М. : Транспорт, 1983. – 424 с.
7. Чванов В. В. Учет поведения водителей при оценке уровня безопасности дорожного движения // Междунар. науч.-техн. журн. «Наука и техника в дорожной отрасли». – Орган Межправит. совета дорожников СНГ, Междунар. форума дорожных науч.-исслед. организаций – «ИНТЕРДОРНИО – IFRRI» и Моск. автомоб.-дорож. ин-та МАДИ-ГТУ, 2009. – № 3 – С. 9 – 50.
8. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков : моногр. по теории транспортных потоков / Ф. Хейт. – М. : Мир, 1966. – 288 с.
9. Яцкив И. В. Использование возможностей имитационного моделирования для анализа транспортных узлов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru>.
10. Jaime Barceló, Jordi Casas. Dynamic network simulation with AIMSUN / Dept.of Statistics and Operations Research, Universitat Politècnica de Catalunya. – Barcelona, Spain. – 2013.
11. The Federal Highway Administration (FHWA) Web Site [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fhwa.dot.gov>.
12. Professor Moshe Ben-Akiva. Installation instructions for MITSIMLab. – Intelligent Transportation Systems Lab 1-181, Cambridge, MA 02139. – 2010.

13. VISSIM 4.0 [user manual] Visual Solutions Inc, 487 Groton Road, Westford, MA 01886. 2010. – 494 c.

14. Paramics Technical Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.paramics-online.com](http://www.paramics-online.com).

## SUMMARY

**Problem statement.** Managing the vehicle flow is a serious problem nowadays. It is a questionable task because of the number of parameters needed to be taken into account.

**Analyzing of the resent research.** Attempts to produce a mathematical theory of traffic flow date back to the 1920s, when Frank Knight first produced an analysis of traffic equilibrium, which was refined into Wardrop's first and second principles of equilibrium in 1952.

A lot of scientists all over the world such as R. Kartabaev, V. Syl'yanov, F. Kheyta, D. Dryu et al. were working on the problem of traffic control. However, their research was being conducted long ago. In the modern world the new software has been developed to make the traffic flow managing process easier. The existing simulation tools are divided into two: macro- and micromodels.

**Research objective.** The aim of the article is to classify main modern traffic simulation tools and give the description of them. The author characterises the main steps to be done for traffic flow estimation and control.

**Conclusions.** Even with the advent of significant computer processing power, nowadays there has been no satisfactory general theory that can be consistently applied to real traffic flow conditions. Current traffic models use a mixture of empirical and theoretical techniques. These models are then developed into traffic forecasts, to take account of proposed local or major changes, such as increased vehicle use, changes in land use or changes in mode of transport, and to identify areas of congestion where the network needs to be adjusted.

A considerable quantity of motor cars has recently appeared. Traffic phenomena are complex and nonlinear, depending on the interactions of a large number of vehicles. Due to the individual reactions of human drivers, vehicles do not interact simply following the laws of mechanics, but rather show phenomena of cluster formation and shock wave propagation, both forward and backward, depending on vehicle density in a given area. Some mathematical models in traffic flow make use of a vertical queue assumption, where the vehicles along a congested link do not spill back along the length of the link. Modern simulation tools description and classification is done in the main part. Due to the use simplicity, high adaptivity, qualitative modelling, the most used and popular tools are VISSIM, PARAMICS и AIMSUN.

## REFERENCES

1. Dryu D. Teoryya transportnykh potokov y upravlenye ymy / D. Dryu – M. : Transport, 1972.– 424 s.
2. Ynose X. Upravlenye dorozhnym dvyzhenyem / X. Ynose, T. Khamada. – 1983. – 248 s.
3. Kartabaev R. S. Mashynnaya ymytatsyya dvyzhenyya transportnykh potokov dlya proektyrovanyya avtomobyl'nykh doroh v hornoy mestnosty / R. S. Kartabaev, V. A. Eremyn. – Frunze: Ylym, 1982. – 330 s.
4. Panasyuk Y. S. Ahentnoe mykroskopycheskoe modelyrovanye transportnykh potokov v COS.SIM // Materyaly konferentsyy «Matematycheskoe modelyrovanye transportnykh potokov». – MFTY, Dolhoprudnyy. – 2011.
5. Serheeva K. F. Analyz y optymyzatsyya transportnykh potokov s pomoshch'yu modelyrovanyya / Sayt Mezhdunarodnoy molodezhnoy shkoly-semynara «BYKAMP: Budushchee Ynformatyky, Kosmycheskoho, Avyatsyonnoho y Medytsynskoho Pryborostroenyya». – 2013.
6. Syl'yanov V. V. Teoryya transportnykh potokov v proektyrovanyy doroh y orhanyzatsyy dorozhnoho dvyzhenyya / V. V. Syl'yanov. – M.: Transport, 1983. – 424 s.
7. Chvanov V. V. Uchet povedenyya vodyteley pry otsenke urovnya bezopasnosty dorozhnoho dvyzhenyya // Mezhdunarodnyy nauchno-tekhnicheskyy zhurnal Nauka y tekhnika v dorozhnoy otrasly. – Orhan Mezhpriyatel'stvennoho soveta dorozhnykov SNH, Mezhdunarodnoho Foruma Dorozhnykh Nauchno-Yssledovatel'skykh Orhanyzatsyy – «YNTERDORNYO – IFRRI» y Moskovskoho avtomobyl'no-dorozhnoho ynstytuta MADY-HTU, 2009. – № 3 – S. 9 – 50.

8. Kheyт F. Matematycheskaya teoryya transportnykh potokov. Monohrafiya po teoryy transportnykh potokov / F. Kheyт. – M. : Myr, 1966. – 288 s.
9. Yatskyv Y. V. Yspol'zovanye vozmozhnostey ymytatsyonnoho modelyrovanyya dlya analiza transportnykh uzlov [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupa: <http://www.gpss.ru>.
10. Jaime Barceló, Jordi Casas. Dynamic network simulation with AIMSUN / Dept. of Statistics and Operations Research, Universitat Politècnica de Catalunya. – Barcelona, Spain. – 2013.
11. The Federal Highway Administration (FHWA) Web Site [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupa: <http://www.fhwa.dot.gov>.
12. Professor Moshe Ben-Akiva. Installation instructions for MITSIMLab. – Intelligent Transportation Systems Lab 1-181, Cambridge, MA 02139. – 2010.
13. VISSIM 4.0 [user manual] Visual Solutions Inc, 487 Groton Road, Westford, MA 01886. 2010 – 494 s.
14. Paramics Technical Report [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupa: <http://www.paramics-online.com>.

УДК 65.012.8.628

**Основные современные инструменты имитационного моделирования транспортных потоков / Ю. И. Захаров, Е. С. Карнаух // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПГАСА, 2014. – № 1. – С. 46 – 51. – табл. 1. – Библиогр.: (12 назв.).**

Описаны и охарактеризованы основные, наиболее эффективные инструменты моделирования транспортных потоков, используемые в современной градостроительной практике.

***Ключевые слова:** имитационное моделирование, транспортные потоки, оптимизация, анализ, городская среда, транспортные средства, генеральный план города.*

**Основні сучасні засоби імітаційного моделювання транспортних потоків / Ю. І. Захаров, К. С. Карнаух // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПДАБА, 2014. – № 1. – С. 46 – 51. – табл. 1. – Бібліогр.: (12 назв.).**

Описано та охарактеризовано основні, найефективніші інструменти моделювання транспортних потоків, які використовуються у сучасній містобудівній практиці.

***Ключові слова:** імітаційне моделювання, транспортний потік, оптимізація, аналіз, міське середовище, автотранспортні засоби, генеральний план міста.*

**The main modern traffic simulation tools / U. Zakharov, E. Karnaukh // Visnyk of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. – D. : PSACEA, 2014. – № 1. – P. 46 – 51. – tabl. 1. – Bibliogr.: (12 names).**

The most effective traffic simulation means using in the modern urban planning, are defined and characterized.

***Key words:** traffic simulation tools, optimization, analysis, urban aria, vehicle, the general plan of the city.*