

Разработка модели и оценка сложного нагруженного перекрестка улично-дорожной сети с использованием современных программных КОМПЛЕКСОВ

С. А. Селиверстов¹, Я. А. Селиверстов²,
Н. В. Шаталова³, О. А. Королев⁴, О. В. Бородина⁵
^{1,2,3,4,5}ФГБУН Институт проблем транспорта
им. Н.С. Соломенко РАН
^{1,2}Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, Институт компьютерных наук и
технологий
Санкт-Петербург, Россия
¹seliverstov_s_a@mail.ru, ²silver8yr@gmail.com,
³shatillen@mail.ru, ⁴korolev@iptran.ru,
⁵borodinaov@gmail.com

А. А. Киселев
Санкт-Петербургская государственная художественно-
промышленная академия имени А. Л. Штиглица
Санкт-Петербург, Россия
⁶ars8ars@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке модели сложного нагруженного перекрестка в г. Санкт-Петербурге с использованием современного программного комплекса микромоделирования PTV VISSIM. Обоснована актуальность применения методов компьютерного моделирования для анализа и оценки эффективности организации улично-дорожной сети. Представлен обзор совершенствования программного комплекса PTV VISSIM. Осуществлена разработка имитационной модели сложного перекрестка и выполнена оценка его эффективности.

Ключевые слова: транспортное моделирование; транспортные потоки; транспортная система мегаполиса

I. ВВЕДЕНИЕ

Повышение уровня транспортной мобильности населения в крупных городах [1–3] при недостаточно эффективной организации городской транспортной системы и ее элементов, таких как улично-дорожные сети, системы светофорного регулирования и расписание движения маршрутного транспорта, преимущественно являются причиной возникновения транспортных проблем. Наиболее вероятные из них это – транспортные конфликты, снижение пропускной способности улично-дорожных сетей, снижение качества перевозочного процесса и движения транспорта, возникновение транспортных заторов, отклонение в расписании движения маршрутного транспорта, ухудшение экологической ситуации в городе [4–7].

По данным статистики большинство транспортных конфликтов и аварий преимущественно происходят на перекрестках по причине неэффективной организации таких пересечений и различных мероприятий по организации дорожного движения [8–10]

Наиболее эффективным инструментом решения этих проблем стало имитационное моделирование транспортных потоков [11–14] с использованием современных программных комплексов. В данной работе нами был использован PTV VISSIM. Согласно [15], [16] PTV VISSIM продемонстрировал высокую эффективность при решении задач имитационного моделирования улично-дорожных сетей, а также оценки сложных проектов в области организации дорожного движения.

II. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Основные элементы создания и развития программного комплекса PTV VISSIM представлены в [15]. Совершенствование математического аппарата, применяемого в PTV VISSIM описаны в [17], а интерфейса в [18]. Сравнительный анализ PTV VISSIM со схожими по функциональности и типу решаемых задач программными комплексами имитационного моделирования представлены в [19].

С использованием PTV VISSIM было выполнено множество работ в области планирования и интеллектуального управления транспортными потоками.

В [20] с использованием PTV VISSIM осуществлена разработка модели автострады в Калифорнии. В [21] модель улично-дорожной в Пекине, выполнено сравнение четырех разных планов организации трафика и проанализированы такие данные как: длина очереди и задержка, скорость движения и время в пути. В [22] [23] решена сложная задача по развитию нового вида водного транспорта в г. Санкт-Петербурге. Разработана имитационная модель и произведена оценка процессов перераспределения транспортных потоков на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о высокой актуальности темы исследования и необходимости использования современных комплексов имитационного моделирования в задачах транспортного планирования и оценки перераспределения транспортных потоков.

III. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В работе решается актуальная задача - повышение качества управления транспортным процессом на сложном и загруженном перекрестке Гражданского проспекта и проспекта Науки.

Цель работы состоит в исследовании транспортных процессов на данном перекрестке, разработке его имитационной модели в программном комплексе PTV VISSIM и выработке решений по эффективности его организации.

IV. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходные данные для создания модели включают:

- Качественное изображение моделируемого перекрестка в форматах SHP, DWG, DXF, EMF, WMF или JPG, PNG, TGA, BMP;
- технические характеристики и схемы перекрестка;
- характеристики типов транспортных средств, которые передвигаются через перекресток;
- состав транспортного потока;
- часовая интенсивность движения транспорта;
- распределение транспортных средств в узлах;
- точное размещение светофоров на перекрестке, их параметры и режим работы;
- данные движения общественного и маршрутного транспорта;
- пешеходное движение (характеристика тротуара, направление движения и интенсивность движения пешеходов на перекрестке).

При разработке модели перекрестка в качестве растровой основой послужило изображение с ресурса «Open Street Map». Технические характеристики исследуемого участка улично-дорожной сети, в том числе расположение остановок транспорта, пешеходных переходов и светофоров сверялись градостроительными планами Калининского района, рис. 1.



Рис. 1. Изображение исследуемого перекрестка с ресурса «Open Street Map» и градостроительного плана Калининского района, Санкт-Петербурга

Также в процессе разработки модели были использованы доступные сервисы «Google Карты» и «Яндекс Карты».

Интенсивность движения транспорта определялась в течение месяца на объекте. Подсчет транспортных средств фиксировался в ручном режиме в часы пик (с 8-00 до 9-00 и с 18-00 до 19-00) по каждому из направлений движения в отдельности, табл. 1.

Подсчет пешеходов также производился в часы пик (с 8-00 до 9-00 и с 18-00 до 19-00) на каждом перекрестке по направлению (П1-П2), табл. 1.

ТАБЛИЦА 1 ЧАСОВАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ И ПЕШЕХОДНЫХ ПОТОКОВ НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ ГРАЖДАНСКОГО ПРОСПЕКТА И ПРОСПЕКТА НАУКИ

Картограмма интенсивности (по направлениям)	Интенсивность транспортных и пешеходных потоков	
	Транспортные потоки (авт/ч)	Пешеходные потоки (чел/ч)
	Часовая интенсивность транспортных потоков авт/ч	
	1.2	228
	1.2	978
	1.3	210
	1.4	60
	Часовая интенсивность пешеходных потоков чел/ч	
	П1	2172
П2	2004	
	Часовая интенсивность транспортных потоков авт/ч	
	2.1	228
	2.2	690
	2.3	204
	2.4	48
	Часовая интенсивность пешеходных потоков чел/ч	
	П1	672
П2	588	
	Часовая интенсивность транспортных потоков авт/ч	
	3.1	186
	3.2	402
	3.3	126
	3.4	18
	Часовая интенсивность пешеходных потоков чел/ч	
	П1	828
П2	1026	
	Часовая интенсивность транспортных потоков авт/ч	
	4.1	204
	4.2	528
	4.3	84
	4.4	36
	Часовая интенсивность пешеходных потоков чел/ч	
	П1	1056
П2	1362	

Так как данный перекресток является регулируемым, при подготовке к созданию его модели задавалось расположение и режимы работы светофоров. Регулирование движения транспорта через перекресток осуществляется трехсекционными светофорами (трехфазными), а движение пешеходов двухсекционными (двухфазными).

V. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ

Создание модели включало несколько этапов:

1. Загрузка высококачественного изображения моделируемого участка улично-дорожной сети, отрисовка модели дорожной сети, ввод количественных данных о движении транспорта через перекресток, рис. 2.

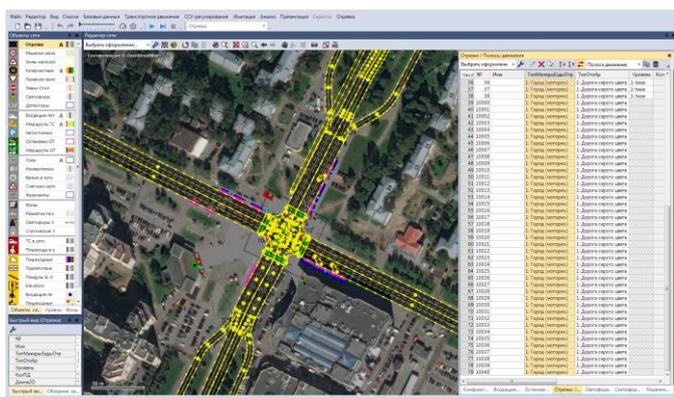


Рис. 2. Создание модели перекрестка Гражданского проспекта и проспекта Науки. Отрисовка сети. Этап 1

2. Расстановка правил приоритетного проезда с использованием функционального модуля «конфликтных зон» PTV VISSIM, рис. 3.

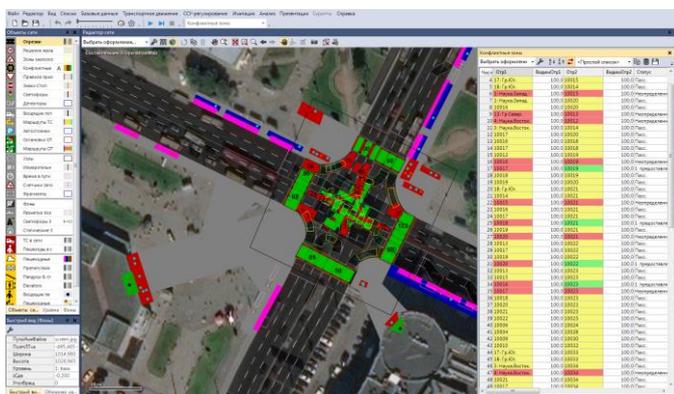


Рис. 3. Настройка "конфликтных зон". Этап 2

3. Ввод в модель светофоров и режимов работы циклов работы секций светофоров.

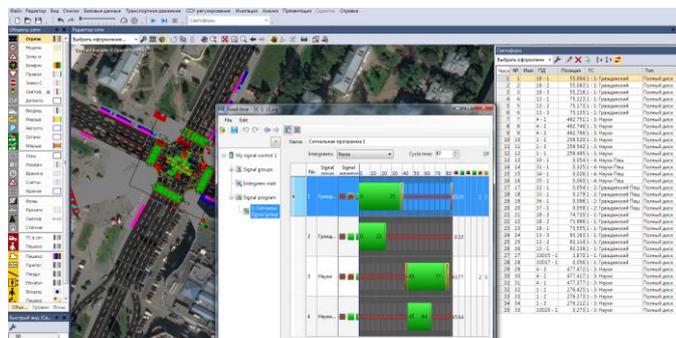


Рис. 4. Ввод в модель светофоров и режимов их работы. Этап 3

4. Ввод в модель маршрутного и общественного транспорта, с учетом расписаний их работы, рис. 5.

Ввод в модель данных о пешеходах согласовывался с данными метрополитена м. Академическая. Скорость пешеходов задавалась программным комплексом PTV VISSIM – «по умолчанию».

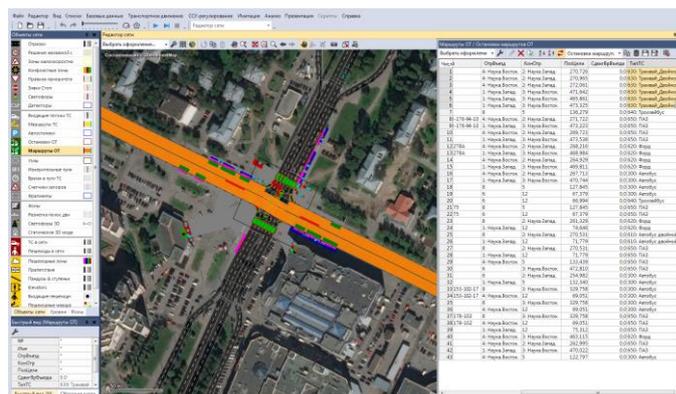


Рис. 5. Ввод в модель данных о движении общественного транспорта. Этап 4

В результате была создана микроскопическая транспортная модель перекрестка, отражающая существующую транспортную ситуацию.

VI. МОДЕЛИРОВАНИЕ. РЕЗУЛЬТАТЫ

Имитационный прогон модели показал высокую степень достоверности модели и качество движения, рис. 6.



Рис. 6. Имитационный прогон модели

Результаты имитационного моделирования представлены в табл. 2, табл. 3.

Значение показателей «QLEN» и «QLENMAX» указывают на серьезную загруженность перекрестка (транспортными средствами и пешеходными потоками). По данным результата прогона модели, можно сделать вывод, что оптимизацией работы светофорного регулирования, при существующей загрузке данного участка улично-дорожной сети достичь улучшения транспортной ситуации невозможно.

Расшифровка обозначений к табл. 2

SIMRUN – имитационный прогон; TIMEINT – временной интервал измерения; DCM – DATA COLLECTION MEASUREMENT – измерения по направлениям сети; NAME – имя участка сети; AA – ACCELERATION(ALL) – ускорение всех транспортных средств на интервале измерения; DIST(ALL) – общее расстояние, расстояние, охваченное сетью всех транспортных средств на интервале измерения сбора данных; LENGTH(ALL) – общая длина всех транспортных средств на интервале сбора данных; VEHS(ALL) – количество транспортных средств на интервале сбора данных; PERS(ALL) – общее количество человек в транспортных средствах; QUEUEDELAY(ALL) – общая задержка очереди, задержка в очереди всех транспортных средств на интервале измерения сбора данных; SAAA – SPEEDAVGHARM(ALL) – среднее арифметическое скорости всех транспортных средств на интервале измерения этого сбора данных; SAHA – SPEEDAVGHARM(ALL) – гармоническая средняя (для всех), среднее значение гармоник скорости всех транспортных средств на интервале измерения для этого сбора данных; OCCUPRATE(ALL) уровень заполняемости (для всех), доля [0..100 %] последнего шага моделирования, где была занята хотя бы одна точка сбора данных.

ТАБЛИЦА II РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

SIMRUN	1	1	1	1
TIMEINT, [c]	0-3600	0-3600	0-3600	0-3600
DCM	1	2	3	4
NAME	Наука. Восток	Наука. Запад	Гр.Запад	Гр.Юг
AA, [м / с ²]	0,69	1,55	0,64	0,76
DIST(ALL) [м]	320,82	384,13	308,52	370,65
LENGTH(ALL) [м]	4,61	4,68	4,81	4,62
VEHS(ALL)	260	291	294	358
PERS(ALL)	413	351	739	516
QUEUEDELAY (ALL), [c]	119,16	138,66	156,54	92,95
SAAA, [км / ч]	44,35	40,02	45,17	45,39
SAHA, [км / ч]	36,62	36,5	40,39	41,27
OCCUPRATE (ALL)	7,49%	3,57%	4,33%	4,16%

Расшифровка обозначений к табл. 3.

SIMRUN – имитационный прогон; TIMEINT – интервал измерения; QUEUECOUNTER – счетчик очереди; QLEN – средняя длина очереди: на каждом временном шаге текущая длина очереди измеряется вверх

по потоку счетчиком очереди, и поэтому среднее арифметическое рассчитывается за промежутков времени; QLENMAX – максимальная длина очереди, на каждом временном шаге текущая длина очереди измеряется вверх по течению от счетчика очереди, и поэтому максимум рассчитывается за промежутков времени; QSTOPS – количество остановок очереди; NAME – имя участка сети.

ТАБЛИЦА III РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

SIMRUN	1	1	1	1
TIMEINT, [c]	0-3600	0-3600	0-3600	0-3600
QUEUECOUNTER	1	2	3	4
QLEN [м]	411,8	435,1	443,37	436,33
QLENMAX	512,72	506,29	513,03	506,28
QSTOPS [м]	2088	2575	2590	997
NAME	Гр.Юг	Наука.Восток	Наука.Запад	Гр.Север

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная имитационная модель перекрестка Таким образом, решение задачи повышения качества эффективности транспортного процесса движения на данном перекрестке преимущественно лежит в методах развития транспортной инфраструктуры перекрестка и применения современных интеллектуальных технологий [24–28].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Cirianni F., Monterosso C., Panuccio P., Rindone C. (2018) A Review Methodology of Sustainable Urban Mobility Plans: Objectives and Actions to Promote Cycling and Pedestrian Mobility. In: Bisello A., Vettorato D., Laconte P., Costa S. (eds) Smart and Sustainable Planning for Cities and Regions. SSPCR 2017. Green Energy and Technology. Springer, Cham
- [2] Seliverstov, S., & Seliverstov, Y. (2018). Developing principles for building transport networks of conflict-free continuous traffic. Transportation Research Procedia, 36, 689–699. doi:10.1016/j.trpro.2018.12.122
- [3] Malygin I., Seliverstov Ya., Seliverstov S., Silnikov M., Muksimova R., Gergel G., Chigur V., Fahmi Sh. (2020). Mobile Technologies in Intelligent Transportation Systems. In: Sukhomlin V., Zubareva E. (eds) Convergent Cognitive Information Technologies. Convergent 2018. Communications in Computer and Information Science, vol 1140. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-37436-5_33
- [4] Schrage A., 2006. Traffic congestion and accidents. Regensburger Diskussionsbeiträge zur Wirtschaftswissenschaft, Working Paper No. 419.
- [5] Lozhkin V., Lozhkina O., & Dobromirov V. (2018). A study of air pollution by exhaust gases from cars in well courtyards of Saint Petersburg. Transportation Research Procedia, 36, 453–458. DOI:10.1016/j.trpro.2018.12.124
- [6] Lozhkina O., Lozhkin V., Ntziachristos L. Estimation and prediction of the effect of alternative engine technologies and policy measures on the air quality in St. Petersburg in 2010-2030 Architecture and Engineering. 2018. Т. 3. № 4. С. 31-35.
- [7] Asaul A., Malygin I., & Komashinskiy V. (2017). The Project of Intellectual Multimodal Transport System. Transportation Research Procedia, 20, 25–30. DOI:10.1016/j.trpro.2017.01.006
- [8] Perkins S.R., Harris J.L., 1967. Criteria for traffic conflict characteristics signalized intersection. Research Publication No. GMR-632. General Motors Corporation, Warren, Michigan.
- [9] Malygin I., Komashinskiy V., Asaul A. The project of intellectual multimodal transport system. В сборнике: Transportation Research Procedia 2017. С. 25-30
- [10] Marchesini P., Weijermars W., 2010. The relationship between road safety and congestion on motorways. A literature review of potential

- effects. SWOV Institute for Road Safety Research, the Netherlands. SWOV, Leidschendam. <https://www.swov.nl/sites/default/files/publicaties/rapport/r-2010-12.pdf> (accessed 2 February 2018).
- [11] Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А., Лукомская О.Ю., Фахми Ш.С., Выдрина Е.О., Фирстов А.А. Применение тринейной модели в задачах повышения качества управления внутренними водными пассажирскими перевозками. // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 1-1 (39). С. 174-184
- [12] Lownes N.E. and Machemehl R.B. (2006). "Sensitivity of simulated capacity to modification of VISSIM driver behaviour parameters." *Transportation Research Record // Journal of the Transportation Research Board, TRB, Vol. 1988, pp. 102–110, DOI: 10.3141/1988-15.*
- [13] Seliverstov Y.A., Malygin I.G., Komashinskiy V.I., Tarantsev A.A., Shatalova N.V., Petrova V.A. The St. Petersburg transport system simulation before opening new subway stations // In: Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017. p. 284-287. DOI:10.1109/scm.2017.7970562
- [14] Seliverstov Ya.A., Seliverstov Sv.A., Komashinskiy V.I., Tarantsev A. A., Shatalova N.V., Grigoriev V.A. Intelligent systems preventing road traffic accidents in megalopolises in order to evaluate // In: Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017. pp.489-492, doi:10.1109/SCM.2017.7970626
- [15] Fellendorf M., & Vortisch P. Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM. In *Fundamentals of Traffic Simulation* (1 ed., Vol. 145, pp. 63-94). (International Series in Operations Research & Management Science). New York: Springer Science+Business Media. DOI 10.1007/978-1-4419-6142-6_2
- [16] Yang Y., Yang G. Study of Intersection Optimization Near Transportation Hub. Based on VISSIM. // *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition* Vol.9, No.6 (2016), pp.323-332 <http://dx.doi.org/10.14257/ijsp.2016.9.6.28>
- [17] Menneni S, Sun C, Vortisch P (2008) Microsimulation calibration using speed-flow relationships. // *Transportation research board, vol 2088. Washington, pp 1–9.*
- [18] Hossain MJ. Calibration of the microscopic traffic flow simulation model VISSIM for urban conditions in Dhaka city. Master thesis, 2004. University of Karlsruhe, Germany
- [19] M. Saidallah, A. El Fergougui, A.E. Elaloui. A Comparative Study of Urban Road Traffic Simulators. 2016 5th International Conference on Transportation and Traffic Engineering (ICTTE 2016). 6 pp. DOI: 10.1051/0 (2016) mateconf/20168105002
- [20] Chitturi M.V. and Benekohal R.F. (2008). "Calibration of VISSIM for freeway." *Proc. of 87th TRB Annual Meeting, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.*
- [21] Lin D., Yang X.K. and Gao C., "Road Network of CBD in Beijing, China", *Procedia-Social and Behavioral Science*, vol. 96, (2013), pp. 461-472.
- [22] Seliverstov S.A., Malygin I.G., Starichenkov A.L., Muksimova R.R., Grigoriev V.A., & Asaul A.N. (2017). Modeling of megalopolis traffic flows with the introduction of a new line of water intercity passenger transport. // 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). doi:10.1109/scm.2017.7970560
- [23] Chandra S., Mehar A. & Velmurugan S. Effect of traffic composition on capacity of multilane highways. // *KSCE Journal of Civil Engineering*. July 2016, Volume 20, Issue 5, pp 2033–2040. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0479-9>
- [24] Seliverstov Y.A., Seliverstov S.A., Lukomskaya O.Y., Nikitin K.V., Grigoriev V.A., & Vydrina E.O. (2017). The method of selecting a preferred route based on subjective criteria. // 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS). DOI: 10.1109/ctsys.2017.8109506
- [25] Селиверстов С.А., Яковенко О.Л., Селиверстов Я.А., Никитин К.В., Черемисина А.А., Выдрина Е.О. Имитационное моделирование нагруженного перекрестка улично-дорожной сети с использованием программных комплексов управления интеллектуальной транспортной системой. *Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2019. № 2. С. 28-40*
- [26] Seliverstov S.A., Seliverstov Y.A., Tarantsev A.A., Grigoriev V.A., Elyashevich A.M., Muksimova R.R. Elaboration of intelligent development system of megalopolis transportation // In: Proceedings of 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS), CTS 2017. 2017. p.211-215. DOI: 10.1109/CTSYS.2017.8109528
- [27] Seliverstov Y.A., Seliverstov S.A., Malygin I.G., Tarantsev A.A., Shatalova N.V., Lukomskaya O.Y., Tishchenko I.P., Elyashevich A.M. Development of management principles of urban traffic under conditions of information uncertainty. *Communications in Computer and Information Science* 2017. 754. p. 399-418. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-65551-2_29
- [28] Seliverstov Ya., Skorokhodov D., Seliverstov S., Burov I., Vydrina E., Podoprigora N., Shatalova N., Chigur V., Cheremisina A.. Using Augmented Reality Convergent Cognitive Information Technologies. *Convergent* 2018, CCIS 1140, pp. 1–10, 2020. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-37436-5_30