

ПЛАНИРОВАНИЕ ДОРОЖНОГО ТРАФИКА В КОНТЕКСТЕ СИСТЕМЫ «УСТОЙЧИВЫЙ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТ»

В.Д. Шепелев, З.В. Альметова, М.А. Корзан, И.Г. Чарбадзе

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Одним из факторов, оказывающих влияние на пропускную способность узлов улично-дорожной сети (УДС), является наличие грузовых транспортных средств (ТС) в транспортных потоках. Существующие методы оценки воздействия движения грузового транспорта на параметры дорожного трафика основываются на статистических данных. Наше исследование построено на применении нейронных сетей с целью обработки больших данных (BIG DATA) в режиме реального времени, поступающих от камер уличного видеонаблюдения.

В результате интерпретации и анализа больших данных, были установлены закономерности изменения трафика грузовых ТС в течение суток и его влияние на пропускную способность узлов УДС. Представленное исследование позволяет повысить эффективность принятия решений в задачах оптимизации организации дорожного движения.

Ключевые слова: пропускная способность перекрестка, ограничение движения, машинное зрение, мониторинг дорожного трафика.

Введение

С ростом автомобилизации населения города нагрузки на транспортные сети увеличиваются, что приводит к увеличению транспортных заторов, количества ДТП ~~аварий~~, расхода топлива, выбросов CO₂ и задержек в поездках. Доля загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу автомобилями может достигать 65–70 %. Кроме того, ежегодно количество выбросов возрастает примерно на 3 % [1].

Классические методы по решению вопросов с заторами, такие как увеличение ширины проезжей части, увеличение платных парковок, строительство подземных (надземных) переходов, практически исчерпали свой ресурс.

Вопросами обеспечения эффективной пропускной способности узлов улично-дорожной сети и исследованиями транспортных потоков в городах занимается большое ученых со всего мира.

Одним из значимых факторов, влияющих на динамические параметры транспортных потоков, является его структура. Авторы [2] в ходе исследования установили, что оценку влияния весогабаритных параметров АТС на пропускную способность УДС следует проводить комплексно, учитывая взаимное влияние всех составляющих системы ВАДС.

В ходе проведенного аналитического обзора современной научно-технической, нормативной, методической литературы, группой авторов [3] получены результаты научно-исследовательской работы по обследованию улично-дорожной сети г. Орла. Также авторами предложена и апробирована новая методика проведения исследования и предложены организационно-технические с использованием средств транспортной телематики и организационно-архитектурные мероприятия по увеличению пропускной способности дорожной сети.

Исследователями [4] с целью предотвращения транспортных заторов предлагается такая модель движения транспортных средств в потоке, которая позволяет осуществлять ограничение доступа транспортных средств к месту возникновения затора путем снижения скорости движения на подходе к перекрестку.

В работе [5] выявлено, что самое большое влияние на движение транспортного потока оказывают грузовые автомобили большой грузоподъемности, и возможным решением для повышения пропускной способности УДС является необходимость регулирования длительности разрешающего сигнала светофора.

С целью повышения пропускной способности элементов УДС города в условиях движения ТП высокой плотности автором [6] предложен метод динамического управления скоростью движения транспортных средств, и оценку пропускной способности УДС предложено проводить методом таксономического анализа.

В работе [7] авторами в ходе исследовательской работы предложена возможность повышения пропускной способности сечения «стоп» регулируемых пересечений с разными схемами организации движения путем изменения продолжительности цикла регулирования

Зарубежными исследователями [8] была применена программа VISSIM (разработанная для микросимуляций дорожного движения) при проектировании и тестировании модели перекрестка со светофорным управлением. В ходе проведенных модификаций было получено значительное сокращение количества ТС, ожидающих в направлении наибольшего их скопления.

В работе [9] для оптимизации синхронизации сигналов светофора при изолированном пересечении предложен новый метод, основанный на под-

ходе нечеткого программирования. Этот метод и традиционный метод были сопоставлены и проанализированы с помощью программного обеспечения для моделирования.

В исследовании [10] для управления очередью трафика был реализован метод моделирования. В качестве инструмента для моделирования линии очереди трафика было использовано программное обеспечение Aena Simulation.

Авторами [11] обсуждается необходимость двунаправленного сопряжения сетевого моделирования и микросимуляции дорожного движения. Они разработали гибридную симуляционную платформу Veins (Vehicles in Network Simulation), состоящую из сетевого симулятора OMNeT++ и симулятора дорожного движения SUMO.

Исследователи в работе [12] предложили решение для моделирования близлежащих транспортных потоков на основе встроенных датчиков киберфизической системы автономных транспортных средств. Их модель позволяет выбрать оптимальную скорость, оптимальное расстояние для торможения и безопасное расстояние от других транспортных средств. Мезоскопическое моделирование трафика используется для решения крупномасштабных динамических транспортных задач.

В работе [13] авторы представляют обобщенный алгоритм интеллектуального регулирования трафика (G-STRA), который будет учитывать плотность трафика в реальном времени с использованием обработки изображений на каждой полосе, чтобы сократить время ожидания и улучшить общую пропускную способность.

В статье [14] определен целевой функционал на основе аналитических выражений для пропускной способности трафика, заторов и времени ожидания водителей на перекрестке, представлен алгоритм, основанный на принципе оптимальности по Беллману. Авторы считают, что эта динамическая модель будет потенциально применима для адаптивной системы управления движением в реальном времени.

Авторами [15] предложен алгоритм, который корректирует фазы и длительность сигналов светофора в зависимости от состояния дороги в реальном времени на местных и соседних перекрестках. С помощью моделирования SUMO продемонстрирована эффективность предложенного алгоритма с точки зрения пропускной способности и среднего времени в пути.

Целью данного исследования является повышение пропускной способности узлов УДС и планирование дорожного трафика в контексте «умный город» с использованием интеллектуальной системы мониторинга транспортных потоков и дорожно-транспортной инфраструктуры AIMS (Artificial Intelligence Monitoring System)».

Нейронные сети

Умный город включает в себя систему нейро-

сетей, которая позволяет распознавать образ ТС в дорожном потоке и на основе этого вести системный мониторинг дорожного трафика, регулировать движение транспорта посредством регулирования работы светофора и взаимодействия с инфраструктурой. Применение данной технологии является дополнительной возможностью повысить пропускную способность с минимальными затратами и воздействием на окружающую среду.

Для проведения исследования был выбран перекресток пр. Победы и ул. Молодогвардейцев (г. Челябинск), движение ТС «прямо» в связи с тем, что данное направление всегда самое нагруженное и обладает наибольшей пропускной способностью транспортных средств.

Использование нейронных сетей глубокого обучения позволяет в режиме реального времени осуществлять сбор, интерпретацию и агрегацию данных по интенсивности и классификации дорожного трафика.

Для выбранной модели был создан собственный датасет, собрано 1000 размеченных изображений. Размечался весь транспорт по 5 категориям: Car, Truck, Tram, Minibus, Bus. Разметка производилась с помощью Yolo_mark [16].

Для обучения нейронной сети:

- была развернута инфраструктура Darknet (инфраструктура нейронной сети с открытым исходным кодом, написанная на C и CUDA);

- установлена CV2 – (Open Computer Vision Library) – библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым исходным кодом;

- установлены стандартные библиотеки NumPy, Randommath; установлены Cuda и Cudnn – архитектуры параллельных вычислений от NVIDIA, позволяющие существенно увеличить вычислительную производительность, благодаря использованию GPU (графических процессоров);

- использована сеть с архитектурой YOLOv3.

На рис. 1 представлено изображение, как нейронная сеть распознает ТС.

Машинным зрением была определена интенсивность движения всех видов транспорта за каждый разрешающий такт. С помощью метода сбора данных установлено, что на перекрестке одним из ключевых факторов, влияющих на пропускную способность, является наличие грузового транспорта в общем потоке ТС. Полученные данные суточной интенсивности грузовых ТС по полосам с разрешенным движением «прямо» для каждого направления перекрестка показывают, что наибольшее количество грузового транспорта приходится на западное и восточное направление перекрестка – 51 и 29 %, соответственно.

На рис. 2 представлен график изменения суточной интенсивности грузовых ТС по полосам с разрешенным движением «прямо» для каждого направления перекрестка.



Рис. 1. Снимок с камеры видеонаблюдения

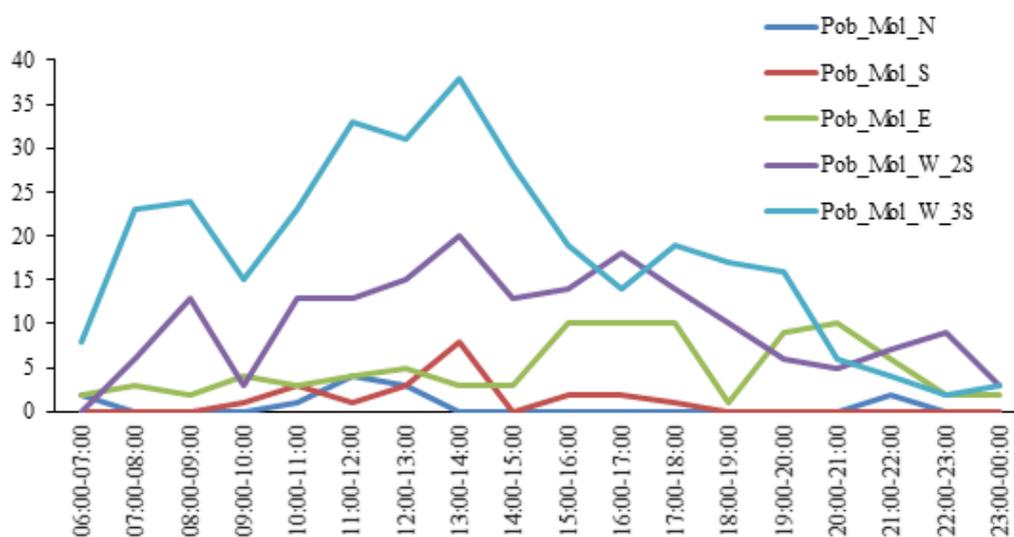


Рис. 2. Интенсивность грузовых ТС по полосам

Анализ графиков рис. 2 позволяет сделать вывод, что максимальный поток грузовых ТС приходится на утреннее и дневное время, что в свою очередь также оказывает влияние и на пропускную способность в соответствующие часы пиковой нагрузки перекрёстка.

Установлена зависимость интенсивности движения от количества грузовых ТС на полосе с разрешённым движением «прямо».

На рис. 3 представлены графики зависимостей интенсивности движения от количества грузового транспорта в восточном направлении перекрёстка (первая полоса).

Изменение интенсивности за час в состоянии затора, при котором было выявлено минимальное количество грузовых ТС (8:00–9:00), показано на рис. 3а, а рис. 3б показывает изменение интенсивности за час в состоянии затора, при котором было выявлено максимальное количество грузового транспорта (15:00–16:00). Красная линия характеризует максимальное количество легковых ТС при наибольшем количестве грузового транспорта.

Таким образом, согласно установленным зависимостям, наличие грузового транспорта в часы пик в восточном направлении перекрёстка на полосе с разрешённым движением «прямо» влияет на

интенсивность легковых транспортных средств, сокращая ее за час – до 9,5 %.

Наличие грузового транспорта в часы «пик» при движении в западном направлении по второй полосе с разрешённым движением «прямо» влияет на снижение количества пропускной способности узла до 30 % (рис. 4).

При движении по третьей полосе проезжей части с разрешённым движением «прямо» в западном направлении рост количества грузового транспорта снижает пропускную способность – до 36 % (рис. 5).

Поток насыщения

Математическая основа задачи оптимизации пропускной способности полос «прямо» на перекрёстке сводится к тому, что необходимо минимизировать (ограничить) проезд грузовых транспортных средств в часы «пик».

Влияние грузового транспорта на пропускную способность рассчитывается по формуле:

$$\beta_{ca} = 1 - \frac{N_{ca}}{N_{la}}, \quad (1)$$

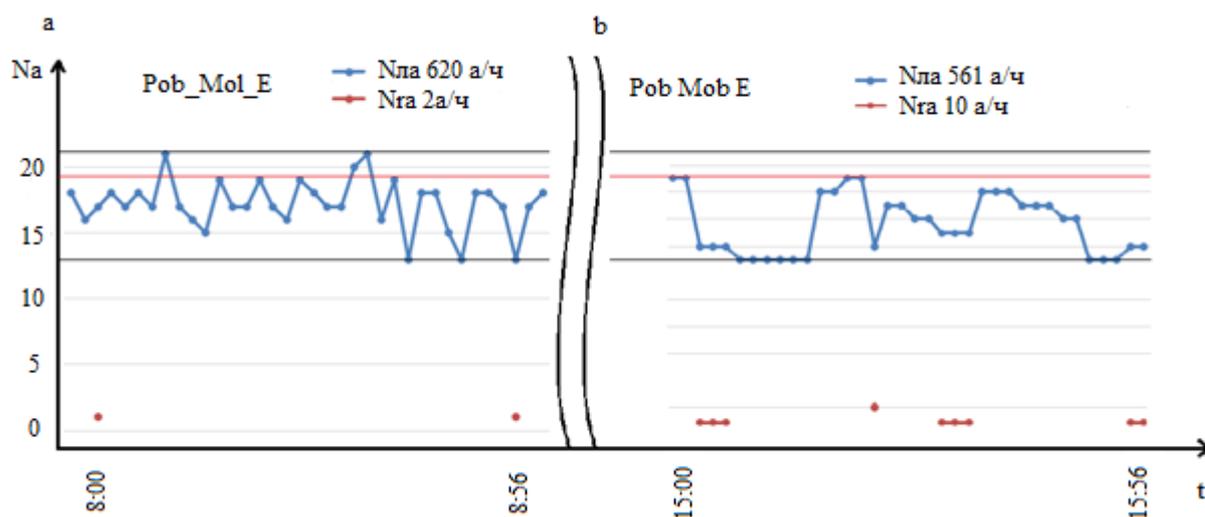


Рис. 3. Зависимости пропускной способности от количества грузовых ТС (первая полоса):
 а) состояние затора, при котором наблюдается минимальное количество грузовых ТС;
 б) состояние затора, при котором наблюдается максимальное количество грузовых ТС

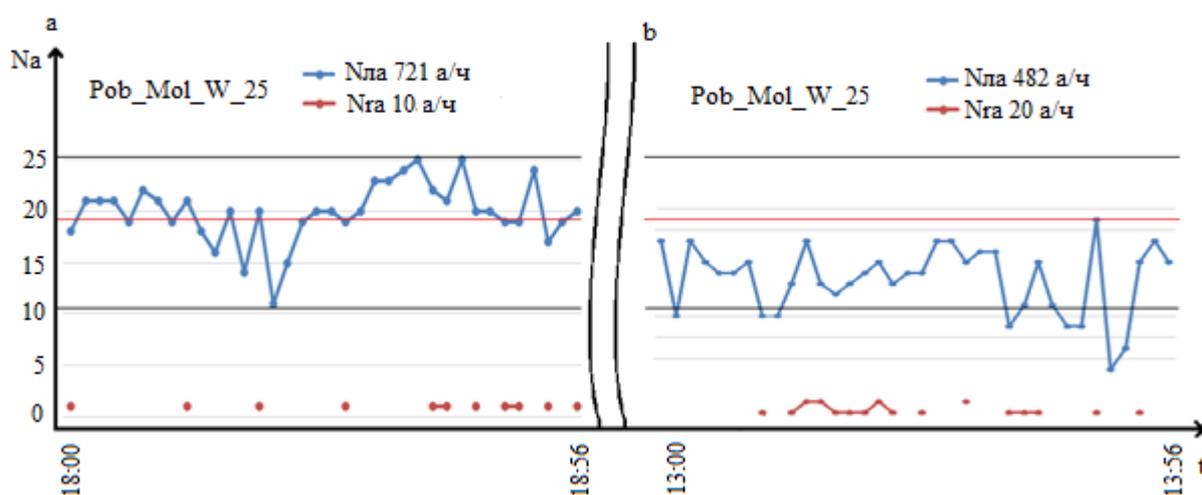


Рис. 4. Зависимости пропускной способности от количества грузовых ТС (вторая полоса):
 а) состояние затора, при котором наблюдается минимальное количество грузовых ТС;
 б) состояние затора, при котором наблюдается максимальное количество грузовых ТС

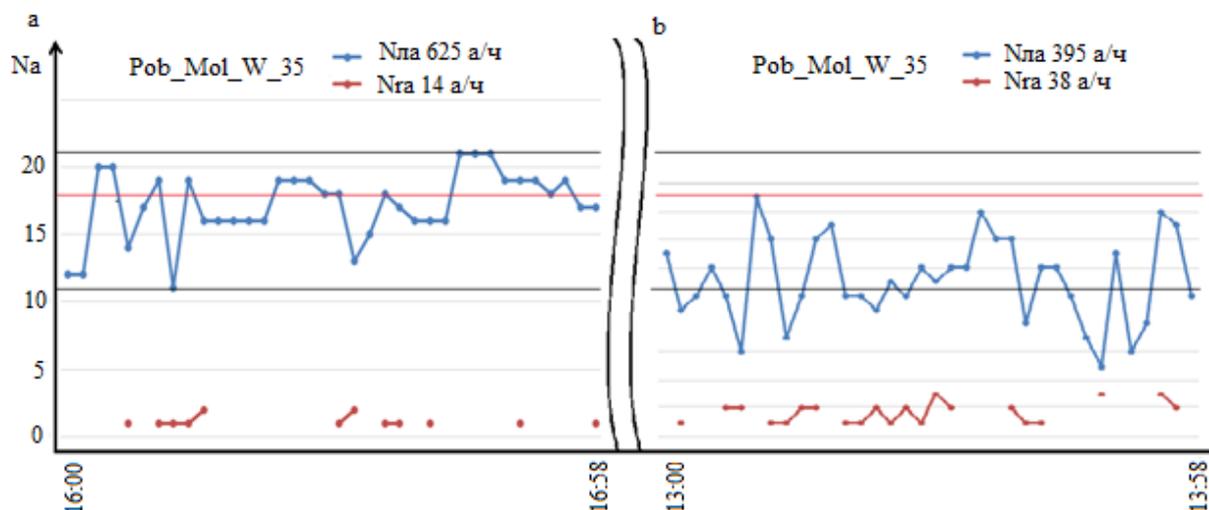


Рис. 5. Зависимости пропускной способности от количества грузовых ТС (третья полоса):
а) состояние затора, при котором наблюдается минимальное количество грузовых ТС;
б) состояние затора, при котором наблюдается максимальное количество грузовых ТС

где $N_{га}$ – количество грузовых транспортных средств, ед; $N_{ла}$ – количество легковых транспортных средств, ед.

$$\beta_{ca} = 1 - \frac{318}{7359} = 0,96.$$

Ширина полосы:

$$f_w = \frac{S_n - 3,6}{9} + 1, \quad (2)$$

где S_n – ширина полосы, м.

$$f_w = \frac{3,5 - 3,6}{9} + 1 = 0,98.$$

Продольный уклон:

$$f_g = 1 - \frac{G}{200}, \quad (3)$$

где G – процент уклона.

$$f_g = 1 - \frac{0}{200} = 1.$$

Поток насыщения:

$$S_o = S_i * f_a * f_g * f_w * \beta_{ca}, \quad (4)$$

где S_i – идеальный поток насыщения, прив.ед/ч (1900); f_a – тип территории (0,9); f_g – продольный уклон; f_w – ширина полосы; β_{ca} – влияние грузового транспорта

$$S_o = 1900 * 0,9 * 1 * 0,98 * 0,96 = 1603.$$

Расчетами получена величина потока насыщения – 1603 прив. ед./ч. Согласно [17], идеальный поток насыщения для одной полосы с шириной от 3,5 м и более составляет 1900 прив. ед./ч (с нулевым количеством грузовых транспортных средств).

Таким образом, полученный в расчетах поток насыщения почти на 20 % ниже, чем должен быть.

На основе полученных данных спрогнозировано возможное увеличение пропускной способности легковых ТС (без учета грузовых ТС).

На рис. 6 показано увеличение пропускной способности 3-й полосы при движении в западном направлении.

Ограничение движения грузового транспорта позволяет увеличить пропускную способность на 240 приведенных автомобилей в час.

В западном направлении при ограничении проезда грузовых ТС по 2-й полосе пропускная способность узла возрастает до 50 %.

На рис. 8 показан график увеличения пропускной способности встречного направления, на «восток».

Таким образом, ограничение на проезд грузовых ТС позволяет существенно увеличить пропускную способность узлов, снизить глубину затора и уменьшит негативное воздействие транспорта на окружающую среду.

На основе полученных данных составлен прогноз влияния грузовых ТС на пропускную способность узла (рис. 9).

На рис. 10 показан график фактической и теоретической глубины затора (при ограничении движения грузового транспорта) по направлениям в часы «пик».

Глубина заторов, при исключении движения грузовых ТС, может уменьшиться на 10–37 %, в зависимости от направления движения. При движении в северном и южном направлениях влияние грузовых ТС на пропускную способность узлов незначительна.

В качестве варианта повышения интенсивности движения в данных условиях можно предложить введение ограничения движения грузовых ТС в часы «пик». Это позволит снизить величину затора на 25–30 % и повысить пропускную способность узлов до 30 %.

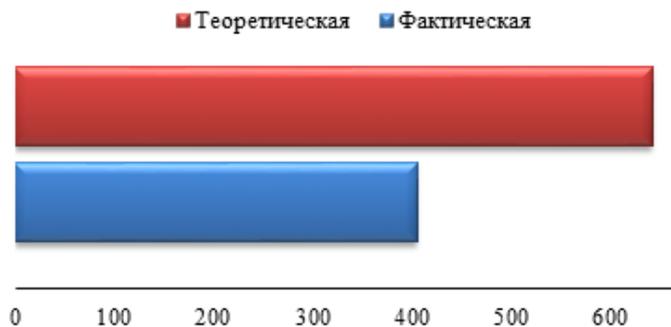


Рис. 6. Значения фактической и теоретической пропускной способности (третья полоса)

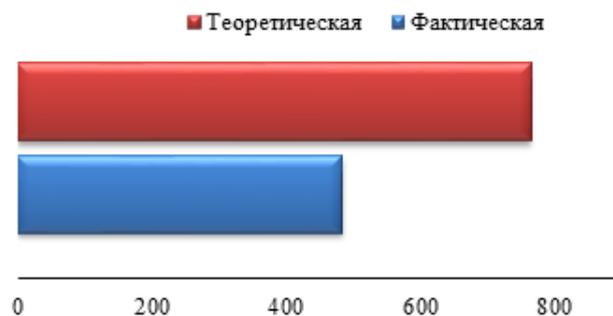


Рис. 7. График фактической и теоретической пропускной способности (вторая полоса)



Рис. 8. График фактической и теоретической пропускной способности (встречное направление)

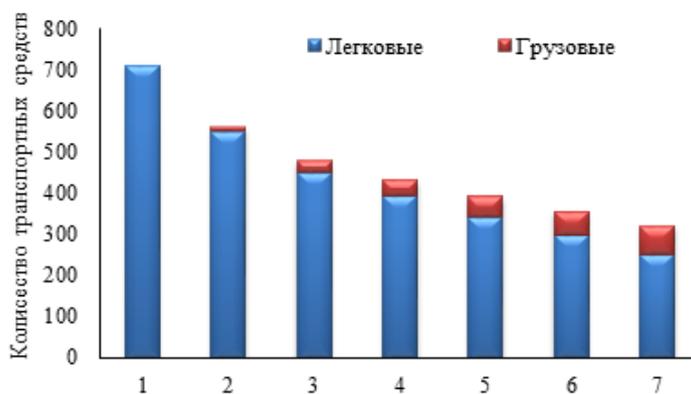


Рис. 9. Прогноз пропускной способности при увеличении количества грузовых ТС

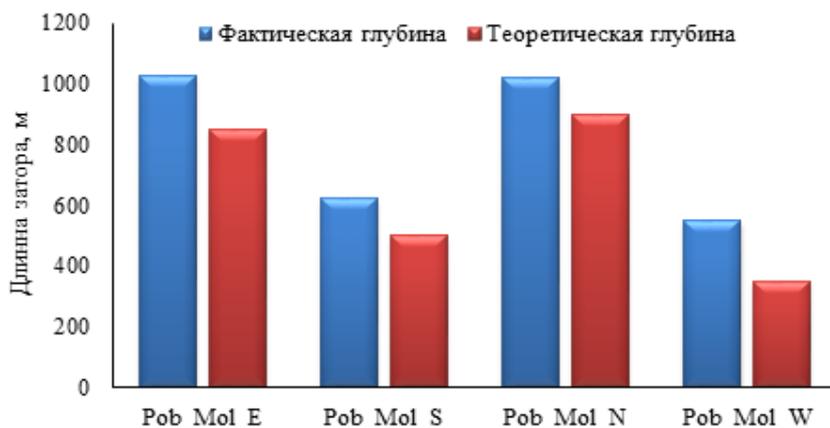


Рис. 10. Фактическая и теоретическая глубина затворов

Второй вариант включает в себя строительство дополнительных полос для движения «прямо». Данное решение обойдётся в 9 0631 921 руб., что приведёт к снижению глубины затвора на 20–25 %.

Анализ вариантов рассмотренных затрат свидетельствует в пользу введения ограничения на движение грузовых ТС, так как на это потребуются меньше в значительной степени временных и финансовых затрат.

Обсуждение и выводы

Разработаны предложения по увеличению пропускной способности УДС и снижению глубины затвора.

Использование разработанной интеллектуальной системы мониторинга транспортных потоков и дорожно-транспортной инфраструктуры AIMS (Artificial Intelligence Monitoring System) позволяет оценить эффективность решений по организации дорожного движения в режиме реального времени, прогнозировать суммарные выбросы токсичных выхлопных газов от автотранспорта с учетом атмосферных и климатических условий. Также программа предупредит о превышении предельно допустимых концентраций вредных веществ в УДС.

Установлена зависимость влияния грузовых ТС на пропускную способность УДС. При использовании данной зависимости становится возможным формирование мониторинга снижения пропускной способности от перспективного роста количества грузовых ТС.

Оценка эффективности внедрения предложения по увеличению пропускной способности и снижению глубины затвора произведена путём сравнения с моделью, применяемой до оптимизации, которая отображает реальную ситуацию на перекрёстке.

Результаты исследования могут быть использованы при имитационном моделировании для проведения исследований транспортных потоков,

а также при проектировании и организации дорожного движения.

Литература

1. Экология и экономика: динамика загрязнения атмосферы страны в преддверии ратификации Парижского соглашения // Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. – Август 2019. – № 52. – <https://ac.gov.ru/files/publication/a/23719.pdf>
2. Басков, В.Н. Оценка влияния весогабаритных параметров авт на пропускную способность уличной дорожной сети / В.Н. Басков, А.В. Игнатов // Вестник СГТУ. – 2013. – № 2 (71).
3. Новиков, А.Н. Совершенствование дорожной сети для повышения их пропускной способности с использованием средств транспортной телематики / А.Н. Новиков, В.А. Голенков, Ю.Н. Баранов, А.А. Катунин, А.С. Бодров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 6. – С. 128–139.
4. Абрамова, Л.С. Способ повышения пропускной способности регулируемых перекрестков / Л.С. Абрамова, В.В. Ширин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Т. 4, № 3 (46). – С. 62–65.
5. Боровской, А.Е. Влияние состава транспортного потока на пропускную способность пересечения / А.Е. Боровской, М.И. Медведев, А.Г. Шевцова // Проблемы функционирования систем транспорта (Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (с международным участием)) Тюмень, Тюменский индустриальный университет, 5–7 ноября. – 2014. – С. 88–95.
6. Ширин, В.В. Повышение пропускной способности улично-дорожной сети города / В.В. Ширин // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2010. – № 50. – С. 40–47.

7. Исаков, К. Влияние параметров цикла светофорного регулирования на пропускную способность регулируемых пересечений / К. Исаков, Л.Н. Стасенко, А.Ш. Алтыбаев, Д. Дайырбеков // *Вестник СибАДИ*. – 2019. – № 16(2). – С. 146–155.
8. Fabianova, J. Design and Evaluation of a New Intersection Model to Minimize Congestions Using VISSIM Software / J. Fabianova, P. Michalik, J. Janekova, M. Fabian // *Open Engineering*, – 2020. – V. 10(1). – P. 48–56. DOI: 10.1515/eng-2020-0019
9. Yu, D. Signal Timing Optimization Based on Fuzzy Compromise Programming for Isolated Signalized Intersection / D. Yu, X. Tian, X. Xing // *Math. Probl. Eng.* – 2016. – P. 1–12
10. Yuniawan, D. Traffic Queue Modeling Using Arena Simulation Software (a case study of Mergan 4-Way intersection in Malang City) / D. Yuniawan, P.P. AangFajar, S. Hariyanto, R. Setiawan // *International Mechanical and Industrial Engineering Conference (IMIEC 2018)* 30–31 August 2018. DOI: 10.1051/mateconf/201820402009
11. Sommer, C. Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis / C. Sommer, R. German, F. Dressler // *IEEE Transactions on Mobile Computing*. – 2011. – V. 10. – P. 3–15. DOI: 10.1109/TMC.2010.133
12. Chen, B. Cyber-Physical System Enabled Nearby Traffic Flow Modelling for Autonomous Vehicles // B. Chen, Z. Yang, S. Huang // *2017 IEEE 36th International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC)*. – 2017. – P. 1–6.
13. Narnolia, V. Generalized Smart Traffic Regulation Framework with Dynamic Adaptation and Prediction Logic Using Computer Vision / V. Narnolia, U. Jana, S. Chattopadhyay, S. Roy // *1st International Conference on Emerging Technology in Modelling and Graphics (IEMGraph 2018)* 6–7 September 2018. DOI: 10.1007/978-981-13-7403-6_24
14. Wang, S. Optimum management of urban traffic flow based on a stochastic dynamic model / S. Wang, N.U. Ahmed, T.H. Yeap // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2019. – V. 20(12). – P. 4377–4389.
15. Lee, S. Dynamic Local Vehicular Flow Optimization Using Real-Time Traffic Conditions at Multiple Road Intersections / S. Lee, M. Younis, A. Murali, M. Lee // *IEEE Access*. – 2019. – V. 7. – P. 28137–28157.
16. https://github.com/AlexeyAB/Yolo_mark
17. *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board. – Washington: D.C. 2000.

Шепелев Владимир Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), shepelevvd@susu.ru

Альметова Злата Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), almetovazv@susu.ru

Корзан Михаил Алексеевич, магистрант кафедры автомобильного транспорта, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), www.mishutka.ru@mail.ru

Чарбадзе Иракли Геронтиевич, магистрант кафедры прикладной математики и программирования, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), irakli.charbadze174@gmail.com

Поступила в редакцию 9 февраля 2020 г.

DOI: 10.14529/em200218

ROAD TRAFFIC PLANNING IN THE CONTEXT OF THE SUSTAINABLE URBAN TRANSPORT SYSTEM

V.D. Shepelev, Z.V. Almetova, M.A. Korzan, I.G. Charbadze

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

One of the factors affecting the intersection capacity of nodes in the street-road network are cargo transport vehicles in the traffic flows. The existing methods for assessing the impact of cargo transport vehicles on the road traffic parameters are based on statistical data. The research is based on the use of neural networks to process big data (BIGDATA) from CCTV cameras in real time mode.

As a result of the interpretation and analysis of big data, the patterns of changes in cargo transport vehicles during the day and its impact on the intersection capacity of nodes in the street-road network were established. The presented study allows to improve the decision-making efficiency while optimizing the road traffic planning.

Keywords: intersection capacity, traffic restriction, computer vision, road traffic monitoring.

References

1. [Ecology and Economics: Dynamics of the country's air pollution ahead of the ratification of the Paris Agreement]. *Byulleten' o tekushchikh tendentsiyakh rossiyskoy ekonomiki* [Bulletin on current trends in the Russian economy], August 2019, no. 52. Available at: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/23719.pdf>. (in Russ.)
2. Baskov V.N., Ignatov A.V. [Evaluation of the influence of weight and size parameters of automatic telephone exchanges on the throughput of a street road network]. *Vestnik SGTU* [Bulletin of SSTU], 2013, no. 2 (71). (in Russ.)
3. Novikov A.N., Golenkov V.A., Baranov Yu.N., Katunin A.A., Bodrov A.S., Novikov A.N. [Improving the road network to increase their throughput using means of transport telematics]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Tula State University. Technical Science], 2014, no. 6, pp. 128–139. (in Russ.)
4. Abramova L.S., Shirin V.V. [A method of increasing the capacity of regulated intersections]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [East European Journal of Advanced Technology], 2010, vol. 4, no. 3 (46), pp. 62–65. (in Russ.)
5. Borovsky A.E., Medvedev M.I., Shevtsova A.G. [Influence of the composition of the traffic flow on the crossing capacity]. *Problemy funktsionirovaniya sistem transporta (Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (s mezhdunarodnym uchastiem)) Tyumen', Tyumenskiy industrial'nyy universitet, 5–7 noyabrya* [Problems of the functioning of transport systems: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of students, graduate students and young scientists (with international participation)]. Tyumen, 2014, pp. 88–95. (in Russ.)
6. Shirin V.V. [Increasing the capacity of the city's road network]. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University], 2010, no. 50, pp. 40–47. (in Russ.)
7. Isakov K., Stasenko L.N., Altybaev A.S., Dayyrbekov D. [Influence of the parameters of the traffic light control cycle on the throughput of regulated intersections]. *Vestnik SibADI*, 2019, no. 16(2), pp. 146–155. (in Russ.)
8. Fabianova J., Michalik P., Janekova J., Fabian M. Design and Evaluation of a New Intersection Model to Minimize Congestions Using VISSIM Software. *Open Engineering*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 48–56. DOI: 10.1515/eng-2020-0019
9. Yu D., Tian X., Xing X. Signal Timing Optimization Based on Fuzzy Compromise Programming for Isolated Signalized Intersection. *Math. Probl. Eng.* 2016, pp. 1–12. DOI: 10.1155/2016/1682394
10. Yuniawan D., AangFajar P.P., Hariyanto S., Setiawan R. Traffic Queue Modeling Using Arena Simulation Software (a case study of Mergan 4-Way intersection in Malang City). *International Mechanical and Industrial Engineering Conference*. Malang, Indonesia, 2018. DOI: 10.1051/mateconf/201820402009
11. Sommer C., German R., Dressler F. Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2011, vol. 10, pp. 3–15. DOI: 10.1109/TMC.2010.133
12. Chen B., Yang Z., Huang S. Cyber-Physical System Enabled Nearby Traffic Flow Modelling for Autonomous Vehicles. *2017 IEEE 36th International Performance Computing and Communications Conference*. San Diego, United States, 2017, pp. 1–6. DOI: 10.1109/PCCC.2017.8280498
13. Narnolia V., Jana U., Chattopadhyay S., Roy S. Generalized Smart Traffic Regulation Framework with Dynamic Adaptation and Prediction Logic Using Computer Vision. *1st International Conference on Emerging Technology in Modelling and Graphics* 2018. DOI: 10.1007/978-981-13-7403-6_24
14. Wang S., Ahmed N. U., Yeap T.H. Optimum management of urban traffic flow based on a stochastic dynamic model. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2019, vol. 20(12), pp. 4377–4389. DOI: 10.1109/TITS.2018.2884463
15. Lee S., Younis M., Murali A., Lee M. Dynamic Local Vehicular Flow Optimization Using Real-Time Traffic Conditions at Multiple Road Intersections. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 28137–28157. DOI: 10.1109/TITS.2018.2884463
16. Available at: https://github.com/AlexeyAB/Yolo_mark
17. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, Washington, D.C. 2000.

Логистика и управление транспортными системами

Vladimir D. Shepelev, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Automobile and Tractor Engineering Faculty, South Ural State University, Chelyabinsk, shepelevvd@susu.ru

Zlata V. Almetova, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Automobile and Tractor Engineering Faculty, South Ural State University, Chelyabinsk, almetovazv@susu.ru

Mikhail A. Korzan, Master's degree student of the Department of Automobile and Tractor Engineering Faculty, South Ural State University, Chelyabinsk, www.mishutka.ru@mail.ru

Irakli G. Charbadze, Master's degree student of the Department of Applied Mathematics and Programming, South Ural State University, Chelyabinsk, irakli.charbadze174@gmail.com

Received February 6, 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Планирование дорожного трафика в контексте системы «Устойчивый городской транспорт» / В.Д. Шепелев, З.В. Альметова, М.А. Корзан, И.Г. Чарбадзе // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2020. – Т. 14, № 2. – С. 177–186. DOI: 10.14529/em200218

FOR CITATION

Shepelev V.D., Almetova Z.V., Korzan M.A., Charbadze I.G. Road Traffic Planning in the Context of the Sustainable Urban Transport System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2020, vol. 14, no. 2, pp. 177–186. (in Russ.). DOI: 10.14529/em200218
