

Проектирование кольцевых пересечений с различными приоритетами направлений движения с учетом распределения транспортных потоков

А. А. Ветрогон✉, М. Н. Крипак, М. В. Дружинина

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация

✉ vetrogon@sevsu.ru

Резюме

В статье исследуются проблемы и аварийные ситуации на улично-дорожной сети г. Севастополя, причины их возникновения. Проведен анализ дорожно-транспортных происшествий в городе, выявлены пути снижения аварийности. Рассмотрена статистика увеличения личного и общественного транспорта в Севастополе. Было выполнено сравнение простых и кольцевых пересечений, приведены аргументы для выбора приоритетности проезда кольцевых пересечений. Также перечислены виды моделирования, а именно, эмпирический и аналитический, дана их характеристика. Предложены программные продукты для компьютерного моделирования дорожных ситуаций. В связи с исторической застройкой города, изменения транспортной сети в большинстве случаев невозможны, но благодаря моделированию можно провести анализ и предложить вариации изменения движения на загруженном участке дороги. При изменении схем движения на улично-дорожной сети городов важное место отведено кольцевым развязкам различного уровня и вида приоритетного движения. На примере одного из кольцевых пересечений г. Севастополя была собрана и проанализирована информация по автомобильным транспортным потокам. Для оценки транспортной ситуации в имитационной среде моделирования была разработана цифровая модель улично-дорожной сети. Смоделированы варианты организации движения с существующими схемами движения транспорта и при их изменении. Учитывался и дальнейший рост транспортного потока. Результат сравнительных измерений показал, что при организации кольцевого пересечения с приоритетным движением по кольцу, среднее время проезда со стороны ул. Фадеева уменьшается.

Ключевые слова

транспортные потоки, транспортное моделирование, организация дорожного движения, кольцевые пересечения

Для цитирования

Ветрогон А. А. Проектирование кольцевых пересечений с различными приоритетами направлений движения с учетом распределения транспортных потоков / А. А. Ветрогон, М. Н. Крипак, М. В. Дружинина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 4 (72). – С. 132–142. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.4(72).132-142

Информация о статье

поступила в редакцию: 18.09.2021, поступила после рецензирования: 07.10.2021, принята к публикации: 13.10.2021

Designing of turnarounds with different traffic direction priorities taking into account traffic flow distribution

А. А. Vetrogon✉, М. N. Kripak, М. V. Druzhinina

Sevastopol State University, Sevastopol, the Russian Federation

✉ vetrogon@sevsu.ru

Abstract

The article studies the problems and accidents on the street and road network of Sevastopol, the reasons for their occurrence. The analysis of traffic accidents in the city was carried out, the ways to reduce the number of accidents revealed. The statistics of personal and public transport growth in Sevastopol is considered. Comparison of simple and circle crossroads was carried out, arguments for the choice of priority passage of traffic circles were given. Also types of modeling were considered, namely empirical and analytical, their characteristics are given. Software products for computer modeling of traffic situations is proposed. Due to the complexity associated with the historical development of the city of Sevastopol, changes in the transport network in most cases are not possible, but thanks to the modeling, it is possible to analyze and propose variations of traffic changes on a busy road section. When changing traffic patterns on the street and road network of cities, an important place is given to traffic circles of different level and type of traffic priority. With an example of one of the traffic circles of the city of Sevastopol the collection and analysis of traffic flow information was performed. Traffic flows were measured in this area. To assess the traffic situation in the simulation environment, a digital model of the street and road network was developed. Traffic models with both existing and modified traffic patterns were simulated. Further growth of traffic flow was also taken into account. Comparative measurements showed that on the circle intersection with circle flow priority the mean passing time from Fadeev street is reduced. Application of traffic circles, in comparison with unregulated t- and cross-road intersections, is more relevant in application because they allow to reduce congestion, increase throughput capacity and speed of passage of the road section.

Keywords

traffic flow, transportation modeling, traffic management, roundabouts

For citation

Vetrogon A. A., Kripak M. N., Druzhinina M. V. Proektirovanie kol'tsevykh peresechenii s razlichnymi prioritetami napravlenii dvizheniya s uchedom raspredeleniya transportnykh potokov [Design of roundabouts with different priorities of traffic directions taking into account distribution of traffic flows]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 4 (72), pp. 132–142. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.4(72).132-142

Article info

Received: 18.09.2021, Revised: 07.10.2021, Accepted: 13.10.2021

Введение

С увеличением количества личного транспорта остро встает проблема пропускной способности автомобильных городских дорог. В городах с исторической застройкой этот вопрос усложняется своим решением. В г. Севастополе достаточно много узловых развязок и есть места, где при реконструкции развязок необходимо применять развязки такого типа, при которых будет максимальная пропускная способность. Темп жизни не прерывно растет, а с ним и необходимость использования личного транспорта. Загруженность дорог и дорожно-транспортные происшествия (ДТП) растут с большой скоростью.

Для того чтобы была возможность отслеживать дорожную обстановку и внедрять новшества, необходимо использовать различного рода моделирования. Департаментом транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры г. Севастополя ведется реализация регионального проекта «Дорожная сеть» и национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» [1]. В планах отремонтировать 15 объектов капитального ремонта и 57 объектов улично дорожной сети. Общая протяженность объектов капитального ремонта и ремонта дорог в 2021 г. составила около 90 км. Благодаря реализации национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» в Севастополе в течение нескольких лет к нормативному состоянию планируется привести более 85 % городских и 50 % пригородных дорог, сократить количество мест концентрации ДТП [2].

При ДТП количество погибших лиц в расчете на 100 тыс. населения («социальный риск») по итогам 2020 г. составляет 5 чел., 2019 г. – 4,1 чел., 2018 г. – 8,2 чел., 2017 г. – 10,9 чел. Приведенные статистические данные свидетельствуют о положительной динамике сокращения количества лиц, погибших в результате ДТП. По ито-

гам 2019 г. Севастополь занял третье место по уровню социального риска, связанного с ДТП, после Чукотского автономного округа и г. Москвы. Специалисты говорят о том, что за три последних года количество автомобилей в Севастополе увеличилось как минимум на 30 %. Сотрудники «НИИПИ градостроительства» предсказывают, что количество частных автомобилей к 2035 г. достигнет 500 автомобилей на 1 000 жителей [3]. Севастополь входит в пятерку регионов с самым высоким уровнем автомобилизации.

Из данных статистики [4] видно, что число личного транспорта (на 1 000 чел. населения) на 2020 г. составляет 269,2 ед. При этом число автобусов общего пользования, находящихся в эксплуатации, на 100 000 чел. населения, на конец 2020 г. составило 165 ед. В 2014 г. число автомобилей составило 89,2, автобусов – 162. Видно, что вырос спрос на личный транспорт. Так как автобусный парк не сокращается, а автомобилей личного использования становится все больше, чаще возникают заторы и ДТП. Следствием этих сложных транспортных проблем является повышения интенсивности движения на улично-дорожной сети (УДС) в условиях города с исторической застройкой [5]. Строительство и модернизация УДС дорогой и трудноизменяемый элемент инфраструктуры города. Наиболее сложное в УДС это – проектирование транспортной планировки города [6]. Изменение УДС начинается с четкой аргументации решений градостроения. Правильная и достоверная оценка УДС ведет к принятию решения по виду градостроительного проектирования, разработке регламента и зонированию городской территории.

Большой уровень автомобилизации несет необходимость изменения УДС, так как при первичной постройке эксплуатируемых дорог не было расчета на нынешнее количество личного и общественного транспорта. При тенден-

ции роста личного транспорта необходимо совершенствовать имеющиеся дорожные развязки и по возможности выбирать такой тип развязок, где пропускная способность и скорость проезда будут максимальными, но при этом безопасными. Так пересечения в одном уровне считаются опасными участками дороги, на которых сосредотачиваются ДТП (18 % всех ДТП в соответствии со статистическими данными). В свою очередь кольцевые развязки автомобильных дорог снижают аварийность, сокращают задержки и увеличивают пропускную способность перекрестка [7]. Также преимуществами кольцевых развязок являются:

- возможность организации движения при пересечении большого количества направлений;
- минимизация числа конфликтных точек;
- более понятная и простая схема проезда пересечения;
- менее затратные в строительстве по сравнению с пересечениями в разных уровнях;
- обеспечение непрерывной пропускной способности транспорта со всех направлений;
- простое регулирование;
- удобство въезда и съезда с кольцевого пересечения [8].

Из зарубежной практики эксплуатации автомобильных дорог видно, что кольцевое движение с приоритетным движением является основным типом кольцевых пересечений. Использование такого типа кольцевых пересечений приводит к повышению уровня безопасности и интенсивной пропускной способности в сравнении с другими типами пересечений в одном уровне [9, 10]. При вводе в эксплуатацию кольцевого пересечения необходимо выбрать правильную организацию движения.

Движение на кольцевых пересечениях организовываются исходя из интенсивности движения на въездах, затраченного времени преодоления кольцевой развязки, а также времени ожидания въезда с неприоритетного направления, вида кольца (круглое, продолговатое и т. д.), интенсивности движения, распределения потоков по направлениям. Существует несколько видов организации движения по кольцевому перекрестку:

1. Кольцо считается равнозначным, если установлен знак 4.3 (рис. 1) [11], регламентируемый правилами дорожного движения. Согласно этому знаку, водители, находящиеся на

кольце, имеют преимущество, а въезжающие – уступают дорогу.



Рис. 1. Знак 3.4 «Круговое движение»
Fig. 1. Sign 3.4 “Circular motion”

2. При неравнозначности перекрестка, дополнительно к знаку 3.4 устанавливаются знаки приоритета: 2.1 – «Главная дорога»; 2.4 «Уступи дорогу»; 2.5 «Движение без остановки запрещено» (рис. 2). В дополнение к этим можно установить знак 8.13 «Направление главной дороги» (рис. 3).

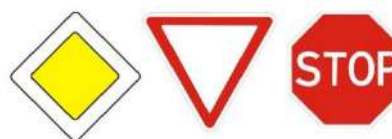


Рис. 2. Знаки 2.1 «Главная дорога», 2.4 «Уступи дорогу», 2.5 «Движение без остановки запрещено»

Fig. 2. Signs 2.1 “Main road”, 2.4 “Give way”, 2.5 “Non-stop traffic is prohibited”

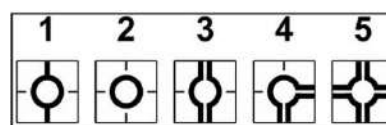


Рис. 3. Знак 8.13 «Направление главной дороги»

Fig. 3. Sign 8.13 “Direction of the main road”

При такой организации водители, подъезжающие со второстепенной дороги, уступают водителям, находящимся на главной дороге. При пересечении траектории автомобилей, находящихся на главной дороге, уступает водитель, к которому другая машина приближается справа. Одним из вариантов организации коль-

цевого пересечения являются турбо-кольца. Они представляют собой пересечение с несколькими полосами движения, размеченными по спирали [12]. Их применение обусловлено необходимостью исключения дополнительных конфликтных точек при пересечении траектории движения транспортных средств при двухполосной кольцевой проезжей части. Пропускная способность колец такого типа составляет от 3 до 5 тыс. ед./ч. Особенностью таких колец является то, что при приближении к кольцевому перекрестку наносится четкое разделение полос. В пределах узла не допускается перестроение транспортных средств. Применение приоритетного движения на кольцевом перекрестке дает возможность уменьшить граничные интервалы, нежели при предоставлении приоритета вливающемуся на кольцевую проезжую часть потоку. Граничные интервалы в зависимости от приоритета движения на кольцевом пересечении при интенсивности авт./ч 400, 500, 600, 700, 800 соответственно:

- приоритетное движение по кольцевой проезжей части 6,19; 5,95; 5,73; 5,55; 5,48 с.;
- приоритетное движение при въезде на кольцо 6,50; 6,22; 6,00; 5,84; 5,80 с. [13].

Благодаря этому водителям вливающих автомобилей предоставляется наилучший обзор для въезда. Появляется возможность наиболее оперативно и детально дать оценку скорости, траектории передвижения транспорта уже движущегося по приоритету. Водителям, находящимся на въезде на кольцевое пересечение, перед выполнением маневра въезда приходится оценивать характеристики движения транспортного потока автомобилей, движущихся справа.

Моделирование движения на кольцевых пересечениях

Сравнивая крестообразные пересечения и Т-образные примыкания в одном уровне, можно сказать, что кольцевые пересечения более эффективны и имеют меньшее число конфликтных точек. При моделировании движения кольцевых пересечений используют два основных методологических подхода – эмпирический и аналитический.

Эмпирический метод заключается в установлении регрессионных зависимостей по имеющимся экспериментальным данным [14]. Один из таких методов разработан Транспорт-

ной и дорожной исследовательской лабораторией (Transport and Road Reserch Laboratory, TRRL) еще в 70-х гг. прошлого столетия и применяется в Великобритании.

Аналитический метод заключается в установлении вида статистического распределения интервалов между транспортными средствами, применении методов теории вероятностей и теории случайных процессов для определения некоторых показателей эффективности организации движения на кольцевом пересечении. В качестве основных показателей эффективности организации движения на пересечениях в одном уровне компания Highway Capacity Manual (HCM) называет задержки транспортных средств, с учетом которых классифицируется уровень обслуживания (level of service). Для этого использовали теорию массового обслуживания исследователи Поллажек (Pollaczek), Кинчин (Khintchine), Траутбек (Troutbeck), Хейдман (Heidemann) и Вегман (Wegmann) и др. [15, 16].

Программные продукты (Corsim, Integration, Simtraffic, Paramics, Vissim) используются при имитационном моделировании движения транспортных потоков по сети как аналитические модели отдельных изолированных кольцевых пересечений. Благодаря использованию этих программ достигается более точный расчет времени движения по отдельным участкам сети, прогнозируется интенсивность движения, учитывается вероятность образования заторов, длины очередей транспортных средств, а также расчет расхода топлива, эмиссии вредных веществ и уровня шума.

Для более детального моделирование кольцевых пересечений с учетом геометрических параметров возможно использовать программные пакеты Arcady, Rodel, Sidra, Kreisel или GGrabase [17, 18].

Результаты моделирования

Площадь Комбата Неустроева в г. Севастополе, представляющая собой пересечение просп. Героев Сталинграда, просп. Октябрьской революции, ул. Летчиков и ул. Адмирала Фадеева (рис. 4, а) стала объектом исследования.

Пересечение имеет четыре входящих потока. Первый поток приходит с просп. Героев Сталинграда, второй с ул. Адмирала Фадеева, третий с просп. Октябрьской революции, четвертый с ул. Летчиков.



Рис. 4. Развязка на площади Комбата Неустроева, г. Севастополь:
a – снимок со спутника; *б* – дорожная ситуация
Fig. 4. Interchange at the Kombat Neustroev Square, Sevastopol:
a – satellite image; *b* – traffic situation

Проведя анализ статистики средних скоростей и используя программный сервис Яндекс Пробки, выявлено, что наименьшая скорость движения на участке по ул. Адмирала Фадеева (рис. 1, б). Вероятная причина этого – высокая интенсивность входящих потоков по просп. Октябрьской революции, а кроме того, особенности организации движения на этом участке – для автомобилей, въезжающих на кольцо с просп. Героев Сталинграда и просп. Октябрьской революции установлен приоритет.

Расположение технических средств организации дорожного движения представлено на рис. 5 и 6.



Рис. 5. Расположение технических средств организации дорожного движения (въезд со стороны ул. Адмирала Фадеева и ул. Летчиков)
Fig. 5. Location of technical means of traffic management (entrance from Admiral Fadeev Street and Pilots Street)



Рис. 6. Расположение технических средств организации дорожного движения (въезд со стороны просп. Героев Сталинграда и просп. Октябрьской Революции)
Fig. 6. Location of technical means of traffic management (entrance from Heroes of Stalingrad Avenue and October Revolution Avenue)

В течение семи дней были проведены исследования по часам суток. В результате были определены пиковые часы. Временными интервалами с максимальной интенсивностью движения являются отрезки времени с 8 до 9 утра и с 17 до 19 вечера в будние дни.

Для того чтобы увидеть более полную картину, также были произведены замеры в утреннее, обеденное и вечернее время: 9.00–10.00, 14.00–15.00 и 18.00–19.00. Фиксация производилась с помощью онлайн-камеры, а именно, сервиса Севстар.Дорога (рис. 7). Анализ транспортных потоков проводился в соответствии со схемой потоков (рис. 8).



Рис. 7. Использование сервиса Севстар (дорога для замера транспортных потоков)
Fig. 7. Using the Sevstar service (road for measuring traffic flows)

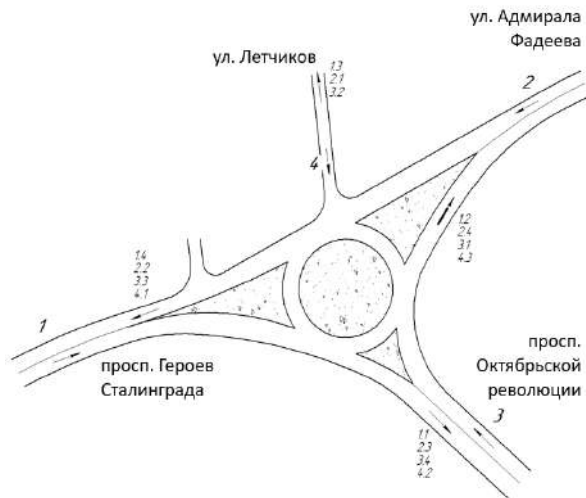


Рис. 8. Маршруты движения транспортных средств на площади Комбата Неустроева
Fig. 8. Routes of vehicles on the square of the Battalion Commander Neustroev

Данные по интенсивности входящих потоков с просп. Героев Сталинграда (направление 1), ул. Адмирала Фадеева (направление 2), с просп. Октябрьской революции (направление 3) и с ул. Летчиков (направление 4) представлены в виде графиков на рис. 9–11.

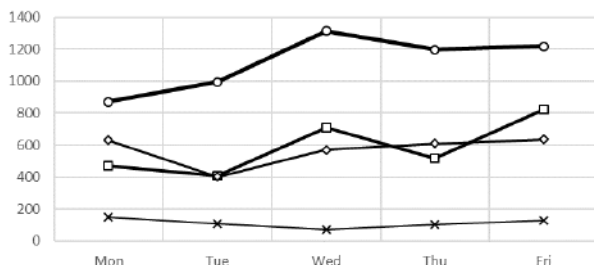


Рис. 9. Результаты замеров интенсивности входящих потоков по рабочим дням недели (утро)
Fig. 9. The results of incoming flow intensity measurements on week days (morning)

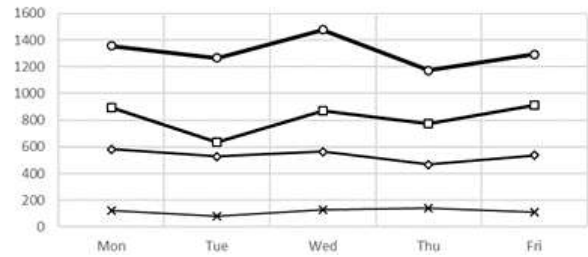


Рис. 10. Результаты замеров интенсивности входящих потоков по рабочим дням недели (день)
Fig. 10. The results of incoming flow intensity measurements on week days (noon)

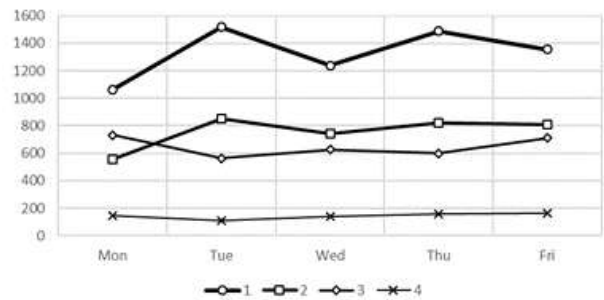


Рис. 11. Результаты замеров интенсивности входящих потоков по рабочим дням недели (вечер)
Fig. 11. The results of incoming flow intensity measurements on week days (evening)

Для последующего моделирования были взяты средние и максимальные значения интенсивности входящих потоков транспорта. Данные для каждого направления представлены в виде диаграммы на рис. 12.

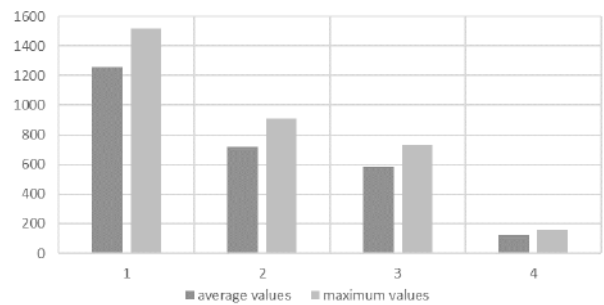


Рис. 12. Интенсивность входящих потоков по результатам замеров (средняя и максимальная)
Fig. 12. The intensity of incoming flows according to the results of measurements (average and maximum)

Состав транспортного потока (разделение производилось только на легковые, грузовые и автобусы) для каждого направления показаны на рис. 13–16. Для диаграмм были взяты средние значения за все пять рабочих дней недели.

Также по результатам замеров в соответствии со схемами маршрута и распределением потока (см. рис. 8) получен ряд данных (табл. 1).

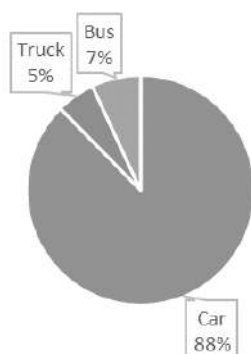


Рис. 13. Средние значения состава входящих потоков № 1

Fig. 13. Mean values of the composition of incoming flows No. 1

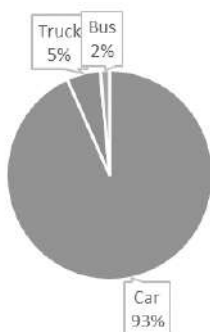


Рис. 14. Средние значения состава входящих потоков № 2

Fig. 14. Mean values of the composition of incoming flows No. 2

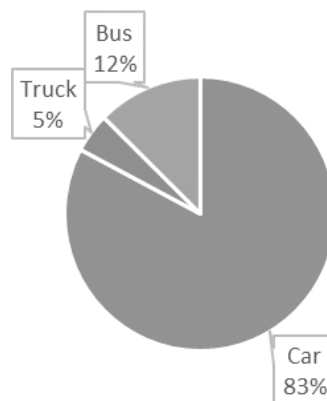


Рис. 15. Средние значения состава входящих потоков № 3

Fig. 15. Mean values of the composition of incoming flows No. 3

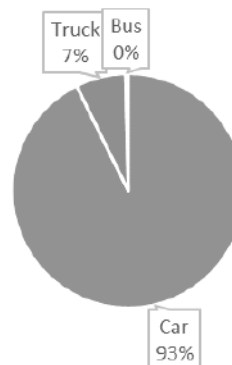


Рис. 16. Средние значения состава входящих потоков № 4

Fig. 16. Mean values of the composition of incoming flows No. 4

Таблица 1. Распределение потока по направлениям

Table 1. Distribution of the flow by directions

№	Направление	Распределение, средние значения (%)	Интенсивность, средние значения (авт/ч)	Интенсивность, максимальные значения (авт/ч)
	Маршрут			
1	1,1	60	1 255	1 518
	1,2	23		
	1,3	2		
	1,4	15		
2	2,1	5	719	910
	2,2	42		
	2,3	19		
	2,4	33		
3	3,1	80	584	732
	3,2	7		
	3,3	3		
	3,4	10		
4	4,1	65	123	131
	4,2	26		
	4,3	9		

Транспортная ситуация проанализирована в пакете программ PTV Vissim [19]. Также проведено пошаговое построение перекрестка на площади Комбата Неустроева. В первую очередь была спроектирована проезжая часть с учетом ширины и количества полос движения. Были установлены приоритеты проезда транспортных средств в конфликтных зонах.

Затем созданы соответствующие каждому направлению (см. рис. 8) статические маршруты транспортных средств. Распределение входящего потока по статическим маршрутам было задано в соответствии с табл. 2. Также были предусмотрены знаки «Движение без остановки запрещено» со стороны ул. Адмирала Фадеева (рис. 2).

Для замера параметров движения были установлены измерительные счетчики времени в пути на участках дорог, примыкающих к площади. Длины участков, соответствующих счетчикам, приняты одинаковыми и равными 100 м.

Результатом моделирования перекрестка стала имитационная модель перекрестка (рис. 17), дающая возможность оценить, изменения пропускной способности узла и средней скорости транспортных средств при изменении схемы организации дорожного движения.

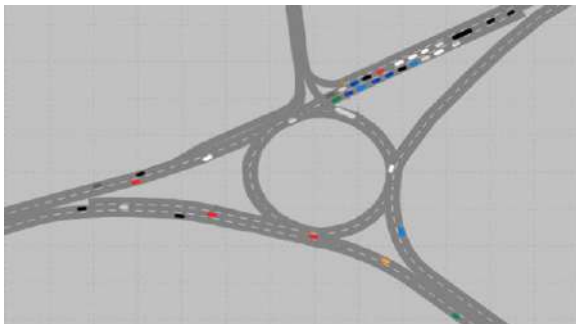


Рис. 17. Результаты моделирования транспортной ситуации при существующей организации дорожного движения

Fig. 17. The results of modeling the transport situation under the existing organization of traffic

Далее была произведена оценка сложности перекрестка по числу конфликтных точек. За основу взята методика пятибалльной системы оценки узла, основанная на том, что точка отклонения оценивается одним условным баллом, слияния – тремя и пересечения – пятью баллами. Сложность пересечения определяется как

$$m = N_o + 3N_c + 5N_n,$$

где N_o , N_c , N_n – число отклонений, слияний и пересечений соответственно.

Конфликтные точки рассматриваемого перекрестка представлены на рис. 18.

Согласно рис. 10, $N_o = 7$, $N_c = 7$, $N_n = 12$. Соответственно показатель m будет равен 88, т. е. данный перекресток можно отнести к сложным ($m = 80–150$).

Вариантом совершенствования организации движения на перекрестке является:

- организация кругового движения с приоритетным движением по кольцу;
- смена знака «Движение без остановки запрещено» на знак «Уступи дорогу».

Данный показатель у кольцевого пересечения с двухполосным главным кольцом равен 72, т. е. рассматриваемый перекресток при такой организации движения станет перекрестком средней сложности ($m = 40–80$).

Данные изменения отражены на рис. 19.

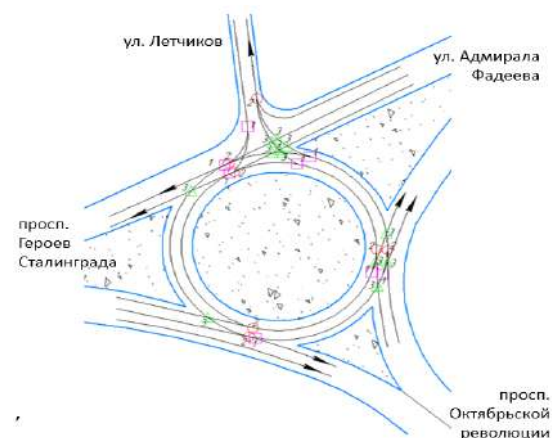


Рис. 18. Конфликтные точки на пересечении дорог: 1 – отклонения; 2 – слияния; 3 – пересечения

Fig. 18. Conflict points at the road intersection: 1 – deviations; 2 – merges; 3 – intersections

Сравнение существующей и проектной схемы осуществлялось измерением среднего времени в пути на заданных участках. Измерения проведем в три этапа. Первый этап – входящие потоки по результатам замеров (средние значения). Второй и третий этап заключались в том, что интенсивность входящего потока была увеличена на 10 и 20 % соответственно. Это сделано для того, чтобы учесть увеличение интенсивности потока транспорта.

Результаты измерений приведены в табл. 2–3.

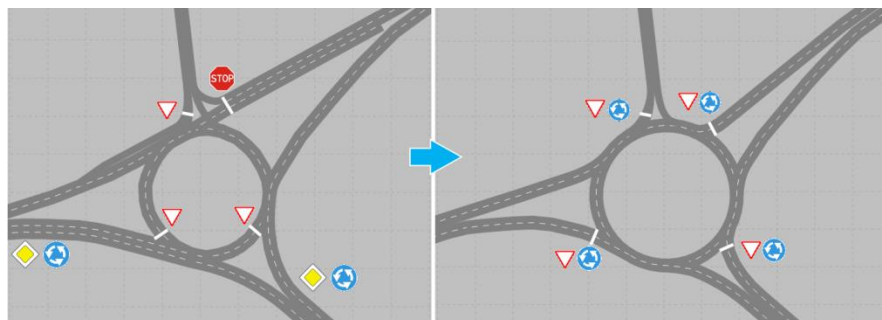


Рис. 19. Предлагаемые изменения в схеме движения на площади Комбата Неустроева

Fig. 19. Proposed changes in the traffic pattern on the square of the Battalion Commander Neustroyev

Таблица 2. Среднее время проезда перекрестка при исходной схеме организации дорожного движения
Table 2. The mean travel time in the intersection with the original traffic management scheme

Направление	Среднее время в пути, с		
	Исходное значение интенсивности	Увеличение интенсивности на 10 %	Увеличение интенсивности на 20 %
1	62,2	80,04	112,4
2	7,0	7,09	7,1
3	7,0	7,37	8,6
4	6,9	6,96	7,0

Таблица 3. Среднее время проезда перекрестка при проектной схеме организации дорожного движения
Table 3. The mean travel time in the intersection With the proposed scheme of the traffic organization

Направление	Среднее время в пути, с		
	Исходное значение интенсивности	Увеличение интенсивности на 10 %	Увеличение интенсивности на 20 %
1	27,9	46,9	65,1
2	10,6	12,1	17,3
3	14,6	23,6	18,4
4	7,0	7,2	7,0

Заключение

Моделирование организации движения, основанное на достаточном количестве статистических данных о составе и интенсивности транспортных потоков, является важным элементом проектирования современной УДС.

Методы организации приоритетного движения в узлах с круговой системой движения должны выбираться исходя из наличия или отсутствия, а также расположения обособленных полос для движения автобусов и троллейбусов на перегонах до и после узла; геометрических характеристик пересечения; направлений движения транспортных средств общего пользования по территории кольцевого пересечения; наличия или отсутствия в узле светофорной сигнализации; уровня загрузки пересечения движением.

Результаты сравнительных измерений показали, что при организации кольцевого пересечения с приоритетным движением по кольцу, среднее время проезда со стороны ул. Фадеева значительно уменьшается.

Список литературы

1. Постановление Правительства Севастополя от 17.11.2016 N 1090-ПП (ред. от 16.12.2019) «Об утверждении государственной программы города Севастополя «Развитие транспорта и дорожно-транспортной инфраструктуры города Севастополя».
2. Дауткина А.К., Шелепова А.С. Управление транспортными потоками на улично-дорожной сети города // Молодой ученый. 2018. № 20. С. 144–147. URL: <https://moluch.ru/archive/206/50363>.
3. Автомобилизация Севастополь. URL: <https://110km.ru/art/sevastopol-avtomobilnyu-v-cifrah-i-faktah-122888.html>.
4. Число собственных легковых автомобилей по субъектам Российской Федерации на 1000 человек населения. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455?print=1>.
5. Мартынова Е.С., Гусев С.А. К вопросу об управлении транспортными потоками на улично-дорожной сети города // Техническое регулирование в транспортном строительстве. Саратов: Электронный научный журнал, 2018. С. 1.
6. АСУДД. Методы разгрузки транспортной сети. URL: <https://softline.ru/about/blog/asuddmetodyi-razgruzkitransportnoy-seti>.
7. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.В. Организация дорожного движения. М.: Транспорт, 2001. 247 с.
8. Джавадов А.А. Анализ организации дорожного движения на кольцевом пересечении улиц Рокоссовского, Землячки и Покрышкина / А.А. Джавадов, Ю.Я. Комаров // Молодой ученый. 2016. № 28 (132). С. 70–74. URL: <https://moluch.ru/archive/132/37118/>.
9. Nikitin N., Patskan V., Savina I. Efficiency Analysis of Roundabout with Traffic Signals // Transportation Research Procedia. 2017. Vol. 20. P. 443–449.

10. Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. ОДМ 218.2.071-2016.
11. Дорожные знаки. URL: https://www.driver-helper.ru/pdd/dorozhnye-znaki/predpisyvayushhie_znaki/4.3.
12. Юсупова Ю.Х. Эволюция проектирования дорожных кольцевых пересечений / Ю.Х. Юсупова // История науки и техники. 2012. № 10. С. 61–66.
13. Обзор различных видов организации дорожного движения на пересечении. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-razlichnyh-vidov-organizatsii-dorozhnogo-dvizheniya-na-peresechenii>.
14. Сильянов В.В., Каюмов Б.К. Методические указания по проектированию кольцевых пересечений автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1980. 69 с.
15. Шевцова А.Г. Медведева М.В. Обзор существующих методов исследования интенсивности движения: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященной 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова 2013. С. 1307–1312.
16. Homburger W.S., Hall J.W., William R.R., Edward C.S., Michelle D., Loretta H., John J.L., Matthew R., Vernon H.W. (2007). *Fundamentals of traffic engineering*. University of California, Berkeley, Institute of Transportation Studies.
17. Kesting A., Treiber M., Helbing D. Agents for Traffic Simulation // *Multi-Agent Systems: Simulation and Applications*, Chapter 11, 2008. P. 325–356.
18. Яндекс. Карты, Яндекс. Пробки. URL: https://yandex.ua/maps/959/sevastopol/?ll=33.451906%2C44.595730&mode=whatshere&utm_source=main_stripe_big&whatshere%5Bpoint%5D=33.451932%2C44.595674&whatshere%5Bzoom%5D=18&z=18.
19. Шагов И.А. Муравьева Н.А. Использование программного комплекса PTV VISSIM для анализа эффективности внедрения кругового движения // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, 2016. Т. 3. С. 336–340.

References

1. Decree of the Government of Sevastopol dated 17.11.2016 N 1090-PP (as amended on 16.12.2019) “On approval of the state program of the city of Sevastopol “Development of transport and road transport infrastructure of the city of Sevastopol”.
2. Dautkina A.K., Shelepova A.S. Upravlenie transportnymi potokami na ulichno-dorozhnoy seti goroda [Traffic control on the street-road network of the city]. *Molodoi uchenyi [Young scientist]*, 2018, No. 20, pp. 144–147. URL: <https://moluch.ru/archive/206/50363>.
3. Motorization Sevastopol. URL: <https://110km.ru/art/sevastopol-avtomobilniy-v-cifrakh-i-faktakh-122888.html>.
4. Chislo sobstvennykh legkovykh avtomobiley po sub"ektam Rossiiskoy Federatsii na 1000 chelovek naseleniya [The number of own cars in the constituent entities of the Russian Federation per 1000 population]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455?print=1> (access date: Oct 24, 2021).
5. Martynova E.S., Gusev S.A. K voprosu ob upravlenii transportnymi potokami na ulichno-dorozhnoy seti goroda [On the issue of traffic management on the street-road network of the city]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve [Technical regulation in transport construction]*. Saratov: Electronic research journal Publ., 2018, p. 1.
6. ASUDD. Metody razgruzki transportnoy seti [ATCS. Methods of unloading the transport network]. URL: <https://softline.ru/about/blog/asudd--metodyi-razgruzki-transportnoy-seti>.
7. Klinkovshstein G.I., Afanas'ev M.V. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya [Organization of traffic]. Moscow: Transport Publ., 2001, 247 p.
8. Dzhavadov A.A., Komarov Yu.Ya. Analysis of the organization of road traffic at the circular intersection of Rokossovsky, Zemlyachka and Pokryshkina streets. *Young scientist*, 2016. No. 28 (132). pp. 70–74. URL: <https://moluch.ru/archive/132/37118/>.
9. Nikitin N., Patskan V., Savina I. Efficiency Analysis of Roundabout with Traffic Signals. *Transportation Research Procedia*, 2017. Vol. 20. pp. 443–449.
10. Methodological recommendations for the design of ring intersections during the construction and reconstruction of roads. ODM 218.2.071-2016.
11. Road signs. URL: https://www.driver-helper.ru/pdd/dorozhnye-znaki/predpisyvayushhie_znaki/4.3.
12. Yusupova Yu.Kh. Evolyutsiya proektirovaniya dorozhnykh kol'tsevykh peresecheniy [Evolution of the design of road roundabouts]. *Istoriya nauki i tekhniki [History of science and technology]*, 2012, No. 10, pp. 61–66.
13. Overview of various types of traffic management at the intersection. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-razlichnyh-vidov-organizatsii-dorozhnogo-dvizheniya-na-peresechenii>.
14. Silyanov B.V., Kayumov B.K. Methodological guidelines for the design of traffic circles of highways. Moscow: Transport, 1980. 69 с.
15. Shevtsova A.G., Medvedeva M.V. Obzor sushchestvuyushchikh metodov issledovaniya intensivnosti dvizheniya [A review of existing methods for studying the intensity of traffic]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova, posvyashchennoi 160-letiyu so dnya rozhdeniya V.G. Shukhova [Materials of the International scientific and technical conference of young scientists Shukhov BSTU, dedicated to the 160th anniversary of the birth of V.G. Shukhov]*, 2013, pp. 1307–1312.
16. Homburger W.S., Hall J.W., William R.R., Edward C.S., Michelle D., Loretta H., John J.L., Matthew R., Vernon H.W. (2007). *Fundamentals of traffic engineering*. University of California, Berkeley, Institute of Transportation Studies.
17. Kesting A., Treiber M., Helbing D. Agents for Traffic Simulation. *Multi-Agent Systems: Simulation and Applications*, Chapter 11, 2008. pp. 325–356.

18. Yandex. Karty, Yandex. Probki [Yandex.Maps, Yandex.Tailbacks]. URL: https://yandex.ua/maps/959/sevastopol/?ll=33.451906%2C44.595730&mode=whatshere&utm_source=main_stripe_big&whatshere%5Bpoint%5D=33.451932%2C44.595674&whatshere%5Bzoom%5D=18&z=18 7819.

19. Shatov I.A., Murav'eva N.A. Ispol'zovanie programmnoy kompleksa PTV VISSIM dlya analiza effektivnosti vnedreniya krugovogo dvizheniya [Using the PTV VISSIM software package to analyze the implementation of circular motion]. *Alternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskom komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya* [Alternative energy sources in the transport and technological complex: problems and prospects of rational use]. Voronezh: G.F. Morozov Voronezh State Forestry Technical University Publ., 2016, Vol. 3, pp. 336–340.

Информация об авторах

Ветрогон Александр Анатольевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта, Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, e-mail: vetrogon@sevsu.ru.

Крипак Марина Николаевна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта, Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, e-mail: marikol@yandex.ru.

Дружинина Мария Валерьевна – магистрант кафедры автомобильного транспорта, Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, e-mail: druzininamasha97@gmail.com.

Information about the authors

Alexander A. Vetrogon – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Associate Professor, the Sub department of Automobile transport, Sevastopol State University, Sevastopol, e-mail: vetrogon@sevsu.ru.

Marina N. Kripak – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Associate Professor, the Sub department of Automobile transport, Sevastopol State University, Sevastopol, e-mail: marikol@yandex.ru.

Maria V. Druzhinina – Graduate Student the Sub department of Automobile transport, Sevastopol State University, Sevastopol, e-mail: druzininamasha97@gmail.com.