14. Kantor I.I. Vysokoskorostnye zheleznodorozhnye magistrali: trassa, podvizhnoi sostav, magnitnyi podves: ucheb. posob. dlya vuzov zh.-d. transporta [High-Speed railway lines: track, rolling stock, magnetic suspension: studies: a handbook for universities of railway transport]. Moscow: Marshrut Publ., 2004, 51 p.

15. Spetsial'nye tekhnicheskie usloviya «Proektirovanie uchastka «Moskva – Kazan'» vysokoskorostnoi zheleznodorozhnoi magistrali «Moskva – Kazan' – Ekaterinburg» so skorostyami dvizheniya do 400 km/ch» [Special standard specifications “Design of the section “Moscow – Kazan” of the high-speed railway “Moscow –Kazan–Yekaterinburg” with speeds up to 400 km / h”]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2016, 70 p.

Информация об авторах

Егорова Ирина Николаевна – доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, e-mail: egorova_irina01@mail.ru

Information about the authors

Irina Nikolaevna Egorova – Associate Professor of the Subdepartment of Operating Business Management, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, e-mail: egorova_irina01@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.1(65).92-101 **УДК** 656.021.2:004

Особенности применения кольцевых пересечений различного типа при большой разнице в интенсивностях движения пересекающихся дорог

А. А. Ветрогон✉, М. Н. Крипак, С. В. Огрызков

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация

✉ vetrogon@sevsu.ru

Резюме

В статье рассматриваются основные проблемы организации дорожного движения в городах и причины их возникновения. Выполнен анализ решений задач в организации и управлении дорожным движением. Более подробно исследованы основные аспекты применения автоматизированной системы управления дорожным движением, как наиболее оптимального, но и более сложного пути решения имеющихся проблем. Отмечено, что в связи со сложностями внедрения подобной системы, продолжают оставаться актуальными процессы совершенствования схем организации дорожного движения на отдельно взятых участках улично-дорожной сети городов, важное место среди которых занимают кольцевые пересечения. Возможность использования различных видов кольцевых пересечений рассмотрена на примере одного из проблемных участков улично-дорожной сети г. Севастополь. На данном участке произведены замеры потоков транспорта. Для анализа транспортной ситуации в среде имитационного моделирования разработана цифровая модель улично-дорожной сети, смоделированы и проанализированы четыре варианта изменения схемы организации дорожного движения, в частности, применение как обычных кольцевых пересечений, так и турбоколец. Показано, как дальнейшее возрастание интенсивности транспортного потока повлияет на пропускную способность рассматриваемого пересечения и прилегающих к нему участков. Выявлено, что если по сравнению с нерегулируемым перекрестком на кольцевом пересечении увеличится пропускная способность и средняя скорость проезда, то с применением турбоколец в условиях города существенно затруднится проезд исследуемого пересечения.

Ключевые слова

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

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ No 18-410-920016 в рамках инициативного проекта, проводимого совместно с Правительством Севастополя на тему: «Исследование социально-экономических и экологических процессов города Севастополя с ростом индустриального, транспортно-транзитного и туристического потенциалов».

Для цитирования

Ветрогон А. А. Особенности применения кольцевых пересечений различного типа при большой разнице в интенсивностях движения пересекающихся дорог / А. А. Ветрогон, М. Н. Крипак, С. В. Огрызков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 65 № 1. – С. 92–101. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.1(65).92-101

Информация о статье

поступила в редакцию: 05.12.2019, поступила после рецензирования: 14.01.2020, принята к публикации: 04.02.2020

Features of application of different types of roadabouts in conditions of large difference in traffic intensities of crossing roads

 © А. А. Ветрогон, М. Н. Крипак, С. В. Огрызков, 2020

A. A. Vetrogon✉, M. N. Kripak, S. V. Ogryzkov
Sevastopol State University, Sevastopol, the Russian Federation
✉ vetrogon@sevsu.ru

Abstract
The article considers main problems of road traffic organization in cities and the main reasons for these problems. The analysis of the main solutions to problems in the organization and traffic management has been completed. The main aspects of the automated traffic control system have been studied in more detail. This solution is the most optimal, but is also the most complex. This system is difficult to implement, so the processes of improving road traffic management schemes continue to be relevant. The use of roundabouts holds a prominent place among these processes. For example, the possibility of using different types of roundabouts is considered by the example of one of the problematic sections of the street-road network of the city of Sevastopol. Traffic flows have been measured at the site under consideration, and the digital model of the street-road network necessary for the analysis of the transport situation has been developed. The imitational simulation was used for this purpose. Four variants of changing the road traffic management scheme were simulated. Among these variants, a roundabout and a turbo roundabout were used. It is shown how the increase in traffic intensity will affect the throughput capacity of the crossing and neighboring areas in question. It was found that the roundabout showed an increase in throughput capacity and average speed of passage. The turbo roundabout made the studied road crossing passage more difficult.

Keywords
traffic flow, transportational modeling, traffic management, roundabouts

Acknowledgements
This work was done with support from the Russian Foundation for Basic Rrsearch grant No. 18-410-920016 as part of an initiative project conducted jointly with the Government of Sevastopol on the subject of “Research on the socio-economic and environmental processes of the city of Sevastopol with the growth of industrial, transport and tourist potentials”.

For citation
Vetrogon A. A., Kripak M. N., Ogryzkov S. V. Osobennosti primeneniya kol'tsevykh peresechenii razlichnogo tipa pri bol'shoi raznitse v intensivnostyakh dvizheniya peresekayushchikhsya dorog [Features of application of different types of roadabouts in conditions of large difference in traffic intensities of crossing roads] *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [*Modern Technologies. System Analysis. Modeling*], 2020, Vol. 65, No. 1, pp. 92–101. 10.26731/1813-9108.2020.1(65).92-101

Article info
Received: 05.12.2019, Revised: 14.01.2020, Accepted: 04.02.2020

Введение

Условия дорожного движения в большинстве городов характеризуются сложной ситуацией на дорогах, значительным снижением средних скоростей движения, участившимися заторами и пробками, увеличением аварийности, ухудшением целого ряда экологических показателей, что в отдельных случаях может быть обусловлено неоптимальным регулированием транспортных потоков [1].

Одной из главных причин сложившейся ситуации является постоянно растущий уровень автомобилизации. Согласно данным Росстата, средний уровень автомобилизации в российской Федерации составляет около 300 автомобилей на 1 000 человек [2]. В связи с такой ситуацией возникает потребность в разработке мер по организации управления дорожным движением [3].

Существует несколько решений проблем в организации и управлении дорожным движением: создание парковочного пространства, строительство объектов улично-дорожной сети, совершенствование организации дорожного движения путем внедрения автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД) [4, 5].

В условиях исторически сложившейся стихийной застройки городов, в случае, когда пропускную способность сети невозможно увеличить за счет расширения проезжей части, частично решить сложившуюся проблему может автоматизация транспортных процессов.

Внедрение АСУДД является технологичным способом повышения эффективности использования улично-дорожной сети города. Базовый функционал такого рода систем – это видеонаблюдение за дорожной обстановкой, централизованное управление светофорными объектами, автоматический мониторинг параметров транспортного потока и состояния периферийных объектов системы [6, 7].

К недостаткам такого решения можно отнести специфику различного рода, связанную с внедрением автоматизированных систем в условиях городского хозяйства.

Достоинствами данного способа являются достижение быстрого эффекта, поддержание высокой эффективности в течение долгого времени и существенно меньший объем затрат по сравнению с капитальным строительством дорог и сооружений.

В типовой состав АСУДД, как правило, входят системы:

– управления светофорными объектами (контролируемая работа светофоров);

– мониторинга транспортных потоков (сбор и анализ данных о скорости, интенсивности транспортного потока);

– видеонаблюдения (контроль дорожной обстановки посредством видеокамер);

– фото- и видеофиксации нарушений правил дорожного движения (система тройного назначения – автоматическая фиксация нарушений административного законодательства в области дорожного движения, дополнительный источник данных о параметрах транспортного потока, а также проведение специальных мероприятий);

– информирования участников дорожного движения (косвенное управление транспортным потоком посредством предоставления водителям оперативной информации о дорожном движении).

АСУДД предполагает использование как проводных, так и беспроводных каналов связи, наличие собственного центра обработки данных, центра управления дорожным движением и профильных специалистов в области организации дорожного движения. К ним относятся операторы и диспетчеры центра управления.

Для управления объектом необходимо знать его основные характеристики, поэтому ключевой функцией АСУДД является мониторинг параметров транспортного потока. Источниками данных могут быть результаты регулярных натурных обследований, специализированные детекторы транспорта, информация, полученная в результате трекинга транспорта в смежных системах, транспортные математические модели и т. п. Например, система фото- и видеофиксации может выступить в качестве поставщика данных о параметрах транспортных потоков. Знание средней скорости, интенсивности, плотности транспортного потока, а также характера изменения этих параметров во времени формирует базу данных для оперативного управления и реагирования на изменение транспортных потоков.

Внедрение подобной системы, во-первых, процесс весьма дорогостоящий, во-вторых, достаточно длительный, а, в-третьих, как сказано было ранее, ограничивающим фактором может послужить специфика того или иного города. В связи с этим продолжают оставаться актуальными процессы совершенствования схем организации дорожного движения на отдельно взятых участках улично-дорожной сети городов, особое место среди которых занимает применение кольцевых пересечений.

Практика применения кольцевых пересечений

Практика проектирования и эксплуатации автомобильных дорог за рубежом указывает на широкое применение кольцевых пересечений с приоритетом движения по кольцу в качестве основного типа пересечений в одном уровне, что обусловлено обеспечением существенно более высокого уровня безопасности движения и большей пропускной способностью по сравнению с другими типами пересечений в одном уровне. В отдельных случаях пропускная способность кольцевых пересечений может быть сопоставима с транспортными развязками в разных уровнях.

Кольцевые пересечения имеют следующие преимущества по сравнению с другими типами пересечений в одном уровне:

– позволяют обеспечить безопасные и удобные условия движения на пересечении дорог, которые заключаются в существенном сокращении конфликтных точек и исключении конфликтных точек пересечения транспортных потоков;

– не требуют расходов на организацию светофорного регулирования движения;

– повышают безопасность движения при проезде пересечения за счет того, что обеспечивается рассредоточение конфликтных точек, снижается скорость движения, слияние и разделение транспортных потоков осуществляется под небольшими углами переплетения, что в комплексе способствует не только снижению аварийности, но и тяжести дорожно-транспортных происшествий;

– способствуют сокращению потери времени из-за остановок, которые неизбежны на регулируемых пересечениях, что также снижает отрицательное воздействие на окружающую среду от выбросов автомобилей.

– имеют простую и понятную для водителей схему движения, лучшие условия для выполнения левых поворотов;

– не требуют больших капитальных затрат на устройство.

В то же время планировка и организация движения на кольцевых пересечениях могут быть причинами ухудшения целого ряда транспортно-эксплуатационных показателей:

– водители вынуждены снижать скорость даже в свободных условиях движения;

– для устройства пересечения требуется большая площадь земельного участка по сравнению с регулируемыми и нерегулируемыми перекрестками;

– усложняется организация движения пешеходов и велосипедистов, а также возникает ряд сложностей с размещением пешеходных переходов.

При проектировании кольцевых пересечений автомобильных дорог основное внимание должно уделяться геометрическим элементам плана и вертикальной планировке пересечения.

От правильности выбора размеров элементов плана, зависят:

– условия видимости на пересечении;

 © А. А. Ветрогон, М. Н. Крипак, С. В. Огрызков, 2020

– правильность восприятия водителем всего пересечения и направления пересекающихся дорог;

– условия взаимодействия между автомобилями;

– скорость движения.

Все эти факторы оказывают решающее влияние на уровень аварийности и пропускную способность всего пересечения. От правильности выбора вертикальной планировки зависит степень устойчивости движения автомобиля, время и скорость проезда пересечения [8].

В зарубежной практике организации движения кольцевые пересечения являются одним из самых эффективных приемов снижения аварийности [9]. Эффективность применения кольцевых пересечений подтверждается снижением всех показателей аварийности, особенно тяжести ДТП и уменьшением количества ДТП с погибшими. Отдельные виды кольцевых пересечений постепенно находят свое место и в российской практике. Одним из таких пересечений является часто встречающееся в Великобритании мини-кольцо (рис. 1), радиус центрального островка которого не превышает 4 м [10]. При этом центральный островок может не обустраиваться бортовым камнем. Транспортные средства, движущиеся по мини-кольцу, имеют приоритет движения

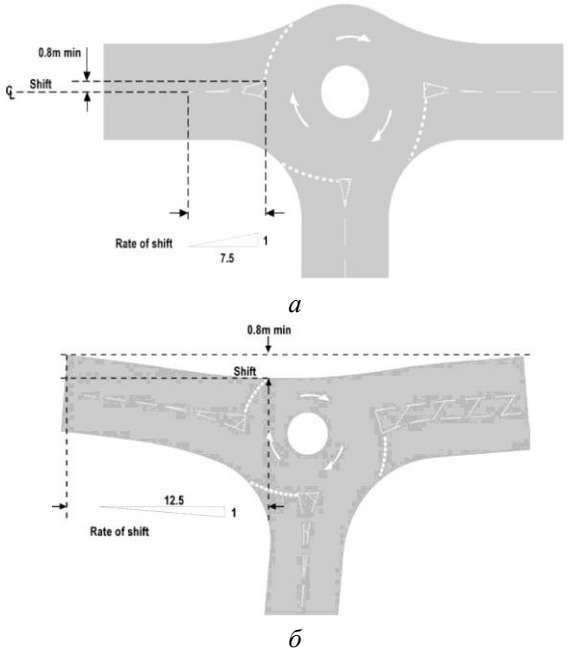

Рис. 1. Мини-кольца в Великобритании: *а* – кольцо со «смещением во внешнюю сторону» (рекомендуемый минимальный сдвиг оси входа на пересечение q = 0,8 м); *б* – кольцо «со смещением во внутрь» (минимальная линия бортового камня – 0,8 м)

Fig. 1. Mini-rings in the UK: *a* - the ring with an “offset to the outside” (recommended minimum shift of the entry axis at the intersection q = 0.8 m); *b* – the ring "with an inward shift" (the minimum line of the border stone is 0.8 m)

Другим примером является практика использования кольцевых регулируемых пересечений (рис. 2, 3). Считается, что на таких регулируемых пересечениях осуществляется более эффективный контроль скорости движения [10].

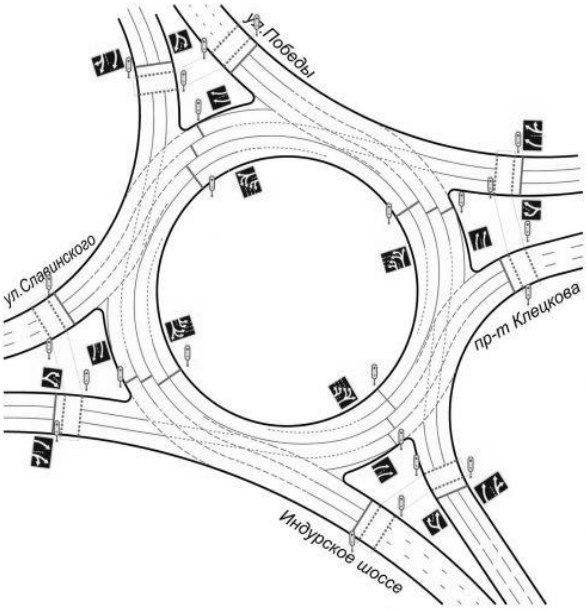

Рис. 2. Пример регулируемого кольца (Россия)

Fig. 2. An example of an adjustable ring (Russia)

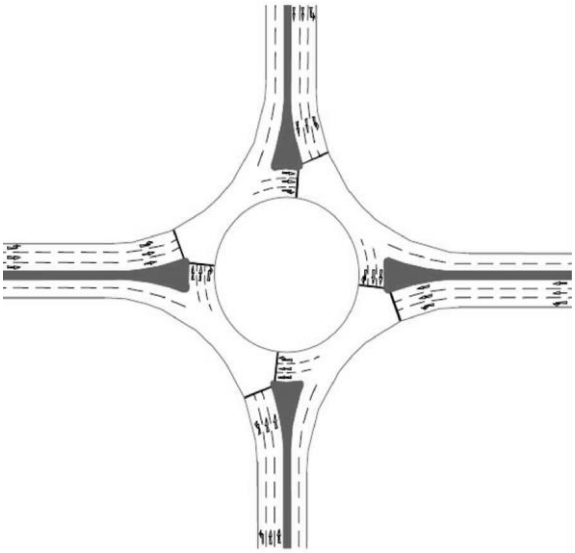

Рис. 3. Пример регулируемого кольца (Великобритания)

Fig. 3. An example of an adjustable ring (the United Kingdom)

Сравнительно новый вид пересечений – так называемое «турбо-кольцо» (рис. 4) – получил широкое распространение сначала в Нидерландах, а потом и в других странах Западной Европы [8, 11, 12].

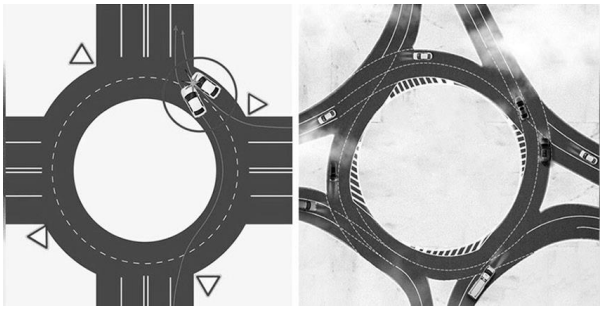

Рис. 4. Турбо-кольцевое пересечение слева, обычное – справа
Fig. 4. Turbo-circular intersection is on the left, normal is on the right

В настоящее время в Российской Федерации все чаще используется опыт применения данного вида кольцевых пересечений, что, впрочем, обычно сопряжено с негативным опытом.

Тем не менее зарубежный опыт применения современных видов кольцевых пересечений убедительно доказывает их высокую эффективность как средства повышения безопасности движения.

Транспортное моделирование

Возможность применения различных видов кольцевых пересечений была рассмотрена на примере одного из проблемных участков улично-дорожной сети г. Севастополь. Ниже показана характерная для утренних и вечерних часов пятницы дорожная ситуация в районе пересечения Столетовского проспекта, ул. Шевченко, ул. Вакуленчука и проспекта Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе (рис. 5) [13–15].

Эта ситуация вызвана высоким уровнем автомобилизации и подтверждает необходимость совершенствования схемы организации дорожного движения на данном участке улично-дорожной сети.

а

б

Рис. 5. Дорожная ситуация:
а – 9:30 утра; *б* – 18:00 вечера
Fig. 5. Driving situation:
a - 9:30 a.m., *b* - 18:00 p.m.

Для моделирования транспортной ситуации на рассматриваемом участке в дневные часы (интервал 11:00–12:00) были произведены замеры потоков транспорта. В утренние и вечерние часы замеры не производились, так как в это время образуются заторы, что не дает объективной картины об интенсивности транспортного потока. Для моделирования транспортных потоков в часы их наибольшей интенсивности (интервалы времени 9:00–10:00 и 18:00–19:00) предполагалось пропорционально увеличивать интенсивности движения транспортных средств с разных направлений. Представлены картограммы исследуемых узлов (рис. 6–8).

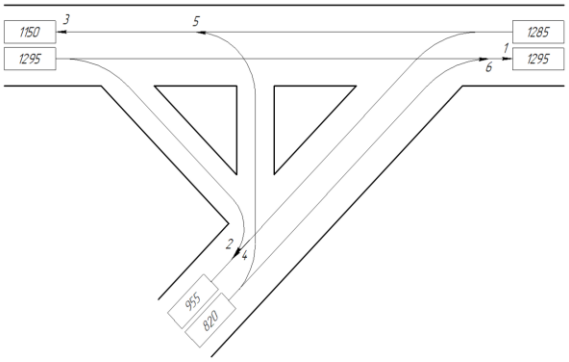

Рис. 6. Картограмма интенсивности транспортных потоков на пересечении ул. Вакуленчука и проспекта Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе
Fig. 6. A cartogram of the intensity of traffic flows at the intersection of Vakulenchuk Str. and October Revolution Avenue with Fiolentovsky highway

© А. А. Ветрогон, М. Н. Крипак, С. В. Огрызков, 2020

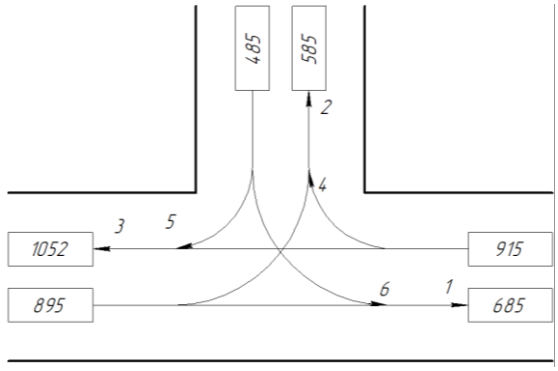

Рис. 7. Картограмма интенсивности транспортных потоков на пересечении Столетовского проспекта с Фиолентовским шоссе
Fig. 7. A cartogram of the intensity of traffic flows at the intersection of Stoletovsky Prospekt with Fiolentovsky Highway

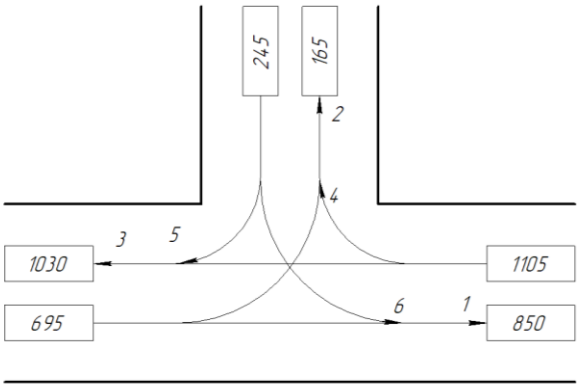

Рис. 8. Картограмма интенсивности транспортных потоков на пересечении ул. Шевченко с Фиолентовским шоссе
Fig. 8. The diagrammatic map of the intensity of traffic flows at the intersection of Shevchenko Str. With Fiolentovsky highwa

По итогам замеров, состав транспортных потоков: в среднем около 98 % легковые автомобили и 2 % грузовые автомобили и автобусы.

Для анализа транспортной ситуации в среде имитационного моделирования была разработана модель улично-дорожной сети в районе пересечения Столетовского проспекта, ул. Шевченко, ул. Вакуленчука и проспекта Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе.

Для замера параметров движения в имитационной модели были установлены измерительные счетчики времени в пути на участках дорог, примыкающих к исследуемым узлам по пересечению. Отрезки расположены так, чтобы конечная точка замера располагалась до разделения потока транспорта по различным маршрутам движения (рис. 9).

Рис. 9. Участки измерения времени
Fig. 9. Plots of time measurement

Далее приведены результаты моделирования транспортной ситуации при существующей схеме организации дорожного движения и полученных замерах (табл. 1).

Таблица 1. Результаты моделирования транспортной ситуации при существующей схеме организации дорожного движения
Table 1. The results of modeling the transport situation with the existing traffic management scheme

Участок	N_a, *авт/час*	*Время, t (с)*	*L, м*	$V_{ср}$, *км/ч*
1	1 218	13,6	75	19,8
2	558	7,5	75	36,2
3	234	9,6	75	28,0
4	684	6,5	75	41,5
5	870	6,9	75	39,2
6	1 386	5,3	75	51,0

При выборе предложений по совершенствованию схемы организации дорожного движения были проанализированы генеральный план Севастополя 2005 г. и проект генплана Севастополя 2017 г. Также была проанализирована кадастровая карта с целью оценки земельных участков, пригодных для строительства развязок.

Анализ этих документов показал, что в генплане 2005 г. на пересечении Столетовского проспекта, ул. Вакуленчука и проспекта Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе планировалось кольцевое пересечение неправильной формы, но проект генплана 2017 г. не предполагает кольцевого пересечения в этом месте. Тем более с 2005 г. существенно изменилась застройка в этом районе, что подтверждает кадастровая карта.

Так как на настоящий момент генплан г. Севастополя не утвержден, и, более того, находится на доработке, рассмотрим несколько альтернативных

вариантов изменения схемы организации дорожного движения на интересующем участке.

Были рассмотрены и смоделированы четыре варианта изменения схемы организации дорожного движения:

– кольцевое пересечение в районе пересечения ул. Вакуленчука и проспекта Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе (рис. 6, *а*);

– кольцевое пересечение в районе пересечения ул. Вакуленчука и проспекта Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе (рис. 10, *а*) плюс кольцевое пересечение в районе пересечения Столетовского проспекта с Фиолентовским шоссе (рис. 10, *б*);

а *б*

Рис. 10. Проектируемые кольцевые пересечения: *а* – ул. Вакуленчука и проспект Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе; *б* – Столетовский проспект с Фиолентовским шоссе

Fig. 10. Designed ring intersections: a - Vakulenchuk Str. and October Revolution Avenue with Fiolentovsky highway; b - Stoletovsky Avenue with Fiolentovsky highway

– турбокольцо с одинаковым количеством полос в районе пересечения ул. Вакуленчука и проспекта Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе (рис. 11);

Рис. 11. Турбокольцо с одинаковым количеством полос в районе пересечения ул. Вакуленчука и проспекта Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе

Fig. 11. The turbo-ring with the same number of lanes in the intersection of Vakulenchuk Str. and October Revolution Avenue with Fiolentovsky highway

– турбокольцо с разным количеством полос в районе пересечения ул. Вакуленчука и проспекта Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе (рис. 12).

Рис. 12. Турбокольцо с разным количеством полос в районе пересечения ул. Вакуленчука и проспекта Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе

Fig. 12. The turbo ring with a different number of bands in the intersection of Vakulenchuk Str. and October Revolution Avenue with Fiolentovsky highway

Результаты моделирования предложенных вариантов (средняя скорость на участках и пропускная способность) представлены далее (табл. 2, 3).

Таблица 2. Средняя скорость на участке, км/ч
Table 2. The average speed at the section, km / h

Участок	*Исходный вариант*	*Кольцевое пересечение*		*Турбокольцо с количеством полос*	
		Одно	*Два*	*Одинаковое*	*Разное*
1	19,8	39,2	29,0	45,6	43,1
2	36,2	29,0	34,3	46,8	26,1
3	28,0	18,3	47,2	38,9	30,2
4	41,5	45,6	35,2	50,5	51,7
5	39,2	42,8	36,3	34,7	45,5
6	51,0	50,1	50,3	12,4	50,8

Таблица 3. Пропускная способность участка, автомоб./ч
Table 3. The throughput capacity of the section, car / h

№ участка	*Исходный вариант*	*Одно кольцевое пересечение*	*Два кольцевых пересечения*	*Турбокольцо с одинаковым количеством полос*	*Турбокольцо с разным количеством полос*
1	1 218	1 242	1 224	1 254	1 254
2	558	558	558	558	540
3	234	234	234	234	234
4	684	732	996	504	480
5	870	870	870	870	870
6	1 386	1 386	1 386	1 152	1 386

© А. А. Ветрогон, М. Н. Крипак, С. В. Огрызков, 2020

По результатам более предпочтительным оказался вариант кольцевого пересечения в районе пересечения ул. Вакуленчука и проспекта Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе. Данный вариант для этого узла не является наилучшим, но не вызывает заторов в двух соседних узлах [16, 17].

Для анализа того, как изменится ситуация в узлах в утренние и вечерние часы, интенсивность транспортных потоков с разных направлений увеличена сначала на 10, а потом на 20 %. Затем были произведены повторные расчеты. Распределение по статическим маршрутам при этом не изменялось.

Для наглядности покажем, как возрастание интенсивности транспортного потока влияет на пропускную способность участков, примыкающих к пересечению ул. Вакуленчука и проспекта Октябрьской революции с Фиолентовским шоссе (участки 1, 4, 6) (см. рис. 9). Характер изменения данных параметров представлен в виде графиков (рис. 13–15).

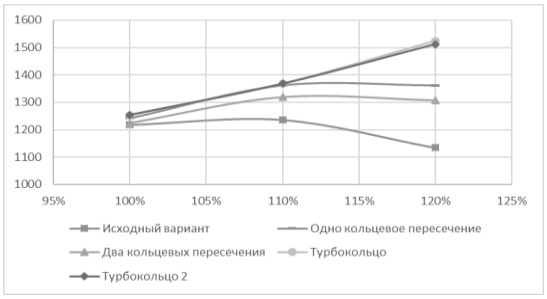

Рис. 13. График изменения пропускной способности на участке 1 при возрастании интенсивности транспортного потока
Fig. 13. The graph of the throughput capacity in section 1 with increasing traffic intensity

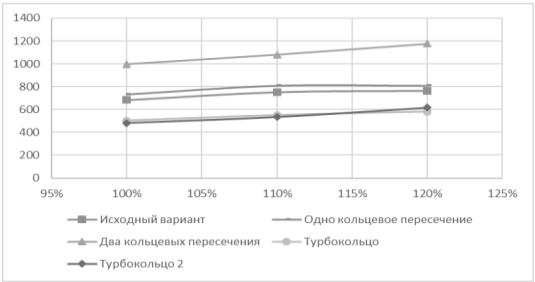

Рис. 14. График изменения пропускной способности на участке 4 при возрастании интенсивности транспортного потока
Fig. 14. The graph of the throughput capacity at section 4 with increasing traffic intensity

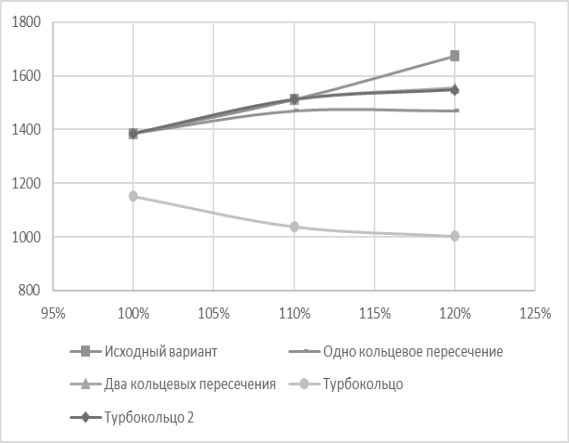

Рис. 15. График изменения пропускной способности на участке 6 при возрастании интенсивности транспортного потока
Fig. 15. The graph of the throughput capacity at section 6 with increasing traffic intensity

Анализ приведенных графиков показал (см. рис. 13–15), что с увеличением интенсивности транспортных потоков существенно падает пропускная способность на отдельных направлениях. Это подтверждают полученные ранее результаты, что для рассматриваемого перекрестка более предпочтителен вариант обычного кольцевого пересечения по сравнению с различными вариантами турбоколец.

Заключение

В работе на практическом примере были исследованы особенности применения некоторых видов кольцевых пересечений при большой разнице в интенсивностях движения пересекающихся дорог. Рассмотрены как обычное кольцо, так и разные конфигурации турбоколец. Также изучено, как влияет изменение схемы организации дорожного движения на ситуацию в смежных узлах.

Если по сравнению с нерегулируемым перекрестком кольцевое пересечение показало увеличение пропускной способности и средней скорости проезда, то применение турбоколец в условиях города существенно затруднило бы проезд исследуемого пересечения [18–22]. На отдельных направлениях наблюдалось уменьшение пропускной способности на 17 %, а при возрастании транспортного потока на 40 %.

Список литературы

1. 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/ (дата обращения: 30.10.2019).
2. Немирович Я. Е., Анисимов И. А. Планирование экспериментальных исследований в рамках обоснования применения технических средств организации дорожного движения // Организация и безопасность дорожного движения: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. - С. 219–223.

3. Число собственных легковых автомобилей по субъектам Российской Федерации на 1000 человек населения — URL http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/trans-sv/t3-4.xls (дата обращения: 30.10.2019).

4. 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.

5. АСУДД. Методы разгрузки транспортной сети. — URL https://softline.ru/about/blog/asudd--metodyi-razgruzki-transportnoy-seti (дата обращения: 30.10.2019).

6. Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. В. Организация дорожного движения. - М.: Транспорт, 2001. — 247 с.

7. Roundabouts: An Informational Guide// Publication No FHWA-RD-00-67, June 2000, 277 p.

8. Юсупова, Ю. Х. Эволюция проектирования дорожных кольцевых пересечений / Ю. Х. Юсупова // История науки и техники. — 2012. - № 10. — С. 61–66

9. Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections//Finnra Reports, 2004, 214 p.

10. Cowan R. J. Adams' formula revised//Traffic Engineering and Control, 1984, vol. 25, no. 5, pp. 272–274.

11. Якимов М.Р. Транспортные системы крупных городов. - Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. - 184 с.

12. Сафронов Э.А. Транспортные системы городов и регионов: Учебное пособие. - М.: АСВ. 2005.

13. Карты Google. [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://maps. google. com (дата обращения: 15.02.2016г).

14. Яндекс. Карты, Яндекс-Пробки. [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://yandex.ua/maps/959/sevastopol/?ncrnd=7819 (дата обращения: 04.05.2016г.)

15. Кухаренок Г.М., Капский Д.В. Повышение безопасности дорожного движения на основе оценки аварийности на конфликтных объектах // Вестник Белорусско-Российского университета. - Могилев: Издательство Белорусско-Российского университета, 2006. - № 3. - С. 33-38.

16. Шатов 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: Издательство Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, 2016. - Т. 3. - С. 336-340.

17. Шевцова А.Г.. Медведева М.В. Обзор существующих методов исследования интенсивности движения // Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященной 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова 2013. С. 1307-1312.

18. Левашев А.Г. Михайлов А.Ю. Головных И.М. Проектирование регулируемых пересечений: Уч. пос. Иркутск: Изд-во ИрГТУ. 2007 - 208 с.

19. Lebedeva O., Kripak M., Gozbenko V. Increasing Effectiveness of the Transportation Network by Using the Automation of a Voronoi Diagram. Transportation Research Procedia, vol. 36, pp. 427-433, https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.118 (2018)

20. Куфтинова Н.Г. Моделирование транспортных потоков на регулируемом перекрестке с помощью программных средств // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 23 апр. 2018 г.) / редкол.: О.Н. Широков [и др.] - Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2018. - С. 170-172.

21. Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А., Палкина Е.С., Ложкина О.В. Исследование транспортной системы и процессов транспортной мобильности города Севастополя // Вестник транспорта Поволжья. – Изд. Самарский государственный университет путей сообщения, 2018. – С. 78-88.

22. Гозбенко В.Е., Иванков А.Н., Колесник М.Н., Пашкова А.С. Методы прогнозирования и оптимизации транспортной сети с учетом мощности пассажиро и грузопотоков. Депонированная рукопись № 330-В2008 17.04.2008.

References

1. Dautkina A. K., Shelepova A. S. Upravlenie transportnymi potokami na ulichno-dorozhnoi 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/ (access date: 30.10.2019).

2. Nemirovich Ya. E., Anisimov I. A. Planirovanie eksperimental'nykh issledovanii v ramkakh obosnovaniya primeneniya tekhnicheskikh sredstv organizatsii dorozhnogo dvizheniya [Planning of experimental studies as part of the rationale for the use of technical means of traffic management]. *Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: materialy VIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [*Organization and safety of traffic: materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference*]. Tyumen': TyumGNGU Publ., 2015, pp. 219–223.

3. Chislo sobstvennykh legkovykh avtomobilei po sub"ektam Rossiiskoi Federatsii na 1000 chelovek naseleniya [The number of own cars in the constituent entities of the Russian Federation per 1000 population]. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/trans-sv/t3-4.xls (access date: Oct 30, 2019).

4. Martynova E. S., Gusev S. A. K voprosu ob upravlenii transportnymi potokami na ulichno-dorozhnoi 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.

5. ASUDD. Metody razgruzki transportnoi seti [ATCS. Methods of unloading the transport network]. URL: https://softline.ru/about/blog/asudd--metodyi-razgruzki-transportnoy-seti (access date: 30.10.2019).

6. Klinkovshtein G. I., Afanas'ev M. V. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya [Organization of traffic]. Moscow: Transport Publ., 2001, 247 p.

7. Roundabouts: An Informational Guide. Publication No. FHWA-RD-00-67, June 2000, 277 p.

8. Yusupova Yu. Kh. Evolyutsiya proektirovaniya dorozhnykh kol'tsevykh peresechenii [volution of the design of road roundabouts]. *Istoriya nauki i tekhniki* [*History of dcience and technology*], 2012, No. 10, pp. 61–66

9. Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections. Finnra Reports, 2004, 214 p.

 © А. А. Ветрогон, М. Н. Крипак, С. В. Огрызков, 2020

10. Cowan R. J. Adams' formula revised. *Traffic Engineering and Control*, 1984, Vol. 25, No. 5, pp. 272–274.

11. Yakimov M.R. Transportnye sistemy krupnykh gorodov [Transport systems of large cities]. Perm': Perm' State Techn. Unty Publ., 2008, 184 p.

12. Safronov E.A. Transportnye sistemy gorodov i regionov: Uchebnoe posobie [Transport systems of cities and regions: a textbook]. Moscow: ASV Publ., 2005.

13. Karty Google [Google Maps]. URL: http://maps.google.com (access date: Feb 15, 2016).

14. Yandeks. Karty, Yandeks-Probki [Yandex.Maps, Yandex.Tailbacks]. URL: https://yandex.ua/maps/959/sevastopol/?ncrnd=7819 (access date: May 04, 2016).

15. Kukharenok G.M., Kapskii D.V. Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na osnove otsenki avariinosti na konfliktnykh ob"ektakh [Improving road safety on the basis of accident assessment at conflict facilities]. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta* [*The bulletin of Belarusian-Russian University*]. Mogilev: Belarusian-Russian University Publ., 2006, No. 3, pp. 33-38.

16. Shatov I.A., Murav'eva N.A. Ispol'zovanie programmnogo kompleksa PTV VISSIM dlya analiza effektivnosti vnedreniya krugovogo dvizheniya [Using the PTV VISSIM software package to analyze the implementation of circular motion]. *Al'ternativnye 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.

17. 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.

18. Levashev A.G., Mikhailov A.Yu., Golovnykh I.M. Proektirovanie reguliruemykh peresechenii: a textbook [Design of adjustable cross-sections: a textbook]. Irkutsk: IrGTU Publ., 2007, 208 p.

19. Lebedeva O., Kripak M., Gozbenko V. Increasing Effectiveness of the Transportation Network by Using the Automation of a Voronoi Diagram. *Transportation Research Procedia*, vol. 36, pp. 427-433, https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.118 (2018)

20. Kuftinova N.G. Modelirovanie transportnykh potokov na reguliruemom perekrestke s pomoshch'yu programmnykh sredstv [Modeling of traffic flows at a regulated intersection using software]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovanii: perspektivy razvitiya: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Cheboksary, 23 apr. 2018 g.)* [*Actual directions of scientific research: development prospects: materials of the V Intern. scientific-practical conf. (Cheboksary, April 23, 2018)*]. In Shirokov O.N. et al. (ed.board). Cheboksary: TsNS Interaktiv Plyus Publ., 2018, pp. 170-172.

21. Seliverstov S.A., Seliverstov Ya.A., Palkina E.S., Lozhkina O.V. Issledovanie transportnoi sistemy i protsessov transportnoi mobil'nosti goroda Sevastopolya [*Study of the transport system and processes of transport mobility of the city of Sevastopol*]. *Vestnik transporta Povolzh'ya* [*The bulletin of the Volga Transport*]. Samara State Transport University Publ., 2018, pp. 78-88.

22. Gozbenko V.E., Ivankov A.N., Kolesnik M.N., Pashkova A.S. Metody prognozirovaniya i optimizatsii transportnoi seti s uchetom moshchnosti passazhiro- i gruzopotokov. Deponirovannaya rukopis' No. 330-V2008 17.04.2008 [Methods of forecasting and optimizing the transport network, taking into account the capacity of passenger and cargo flows. The deposited manuscript No. 330-V2008 04.17.2008].

Информация об авторах

Ветрогон Александр Анатольевич - к. т. н., доцент, заведующий кафедрой автомобильного транспорта, Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, e-mail: vetrogon@sevsu.ru

Крипак Марина Николаевна - к. т. н., доцент кафедры автомобильного транспорта, Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, e-mail: marikol@yandex.ru

Огрызков Сергей Витальевич – старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта, Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, e-mail: ogrizkov@sevsu.ru

Information about the authors

Aleksandr A. Vetrogon – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, head of the Subdepartment of Automobile Transport, Sevastopol State University, Sevastopol, e-mail: vetrogon@sevsu.ru

Marina N. Kripak – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Automobile Transport, Sevastopol State University, Sevastopol, e-mail: marikol@yandex.ru

Sergei V. Ogryzkov – Senior Lecturer of the Subdepartment of Automobile Transport, Sevastopol State University, Sevastopol, e-mail: ogrizkov@sevsu.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.1(65).101-111 **УДК** 621.331:621.336

Анализ энергетической эффективности асинхронного электропривода электровозов

Т. Л. Алексеева✉, Н. Л. Рябченок, Л. А. Астраханцев, В. В. Немыкина

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ talecseeva843@gmail.com