

DOI: 10.15593/24111678/2016.03.03

УДК 656.11

**И.О. Бурдин, А.А. Минзуренко**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

**ИМИТАЦИОННОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
КРИТИЧЕСКИХ ПЕРЕКРЕСТКОВ НА ПРИМЕРЕ РАЗВЯЗКИ  
УЛИЦЫ ЦИМЛЯНСКОЙ И ВОСТОЧНОГО ОБХОДА  
В ГОРОДЕ ПЕРМИ**

Представлено исследование существующей и проектируемой транспортных развязок примыкания ул. Цимлянкой к Восточному обходу г. Перми. Данное пересечение на сегодняшний день является одним из самых проблемных на территории города. В связи с постоянно растущей интенсивностью пересечение требует реконструкции. Актуальность данного исследования обусловлена индустриализацией городов России и повышением роста автомобилизации, вследствие чего имитационное моделирование становится сильным инструментом для решения транспортных проблем, возникающих в улично-дорожной сети. Целями данного исследования являются построение модели движения транспортных потоков при существующей схеме организации движения, а также подбор такой схемы организации движения, которая будет работать как при существующей, так и при перспективной транспортной нагрузке на расчетный срок службы. Исследования проводились путем создания цифровых моделей существующей и проектируемой транспортных развязок с существующей и перспективной интенсивностью движения транспорта в программе «Дорожный менеджер». При использовании данной программы становится возможным не только глобальное изучение улично-дорожной сети города, но и локальное исследование наиболее проблемных участков. Показано решение выявленных проблем существующей транспортной развязки. При проектировании новой транспортной развязки учитывались планируемая реконструкция участка Восточного обхода в месте пересечения, а также увеличение интенсивности при строительстве и введении в эксплуатацию второй очереди моста через р. Чусовую.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, матрица корреспонденций, реконструкция, улично-дорожная сеть, критический перекресток.

**I.O. Burdin, A.A. Minzurenko**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**COMPUTER SIMULATION OF CRITICAL CROSSROADS  
ON THE EXAMPLE TRANSPORT INTERCHANGE  
OF TSIMLYANSKAYA STREET AND EASTERN BYPASS  
OF PERM CITY**

The article presents a description and study of the existing and projected traffic interchange junction street Tsimlyanskaya the Eastern bypass of the city of Perm. This crossing at the moment is one of the most problem in the territory of the city. Due to constantly growing intensity crossing demands reconstruction. The relevance of this study is due to the industrialization of cities in Russia and

increase the growth of motorization, thus simulation becomes a powerful tool for solving traffic problems on the road network. Objective of this research is creation of model of the movement of transport streams at the existing scheme of the organization of the movement, and also selection of such scheme of the organization of the movement which will work, both at existing, and at perspective transport load of settlement service life. Research carried out by creating digital models of existing and projected traffic interchange with the existing and prospective intensity of traffic in the program "Road Manager". When using the program "Road Manager", it is possible not only to the global study and research of the road network of the city, but also the local study the most problematic areas of the road network. Displaying issues identified in the existing transport interchange: a high level of congestion and road accidents and their solution by building a two-level road interchange of the type "tube". At design of the road interchange the planned reconstruction of the site of Eastern bypass in the place of crossing, and also increase in intensity at construction and putting into operation of the second turn of the bridge through the river Chusovaya was considered.

**Keywords:** computer simulation, the matrix of correspondence, reconstruction, road network, critical crossroad.

## Введение

Восточный обход является одной из важнейших транспортных артерий г. Перми. Он служит для связи районов города, проходит по территории Свердловского, Мотовилихинского и Орджоникидзевского районов, а также обеспечивает выход на федеральные трассы Пермь – Екатеринбург и Пермь – Березники.

Восточный обход берет свое начало от конца трассы Пермь – Березники и имеет преимущественно южное направление. В самом начале к нему примыкает в одном уровне ул. Цимлянская (продолжение Соликамского тракта), далее Восточный обход пересекает в разных уровнях Лядовский и Бордовский тракты, а также к нему примыкает ул. Старцева. Заканчивается Восточный обход в месте начала федеральной трассы Р-242 Пермь – Екатеринбург (Е22). Общая протяженность данной дороги составляет 32 км.

В соответствии с генеральным планом г. Перми Восточный обход относится к дорогам объездным (подъездным). В соответствии с паспортом участок автомобильной дороги относится к внегородским дорогам II технической категории (до реконструкции) с двумя полосами движения.

Эта дорога очень важна для жителей, муниципальных организаций и властей города, так как обеспечивает быстрое и беспрепятственное движение от отдаленных районов Перми до центра. Помимо этого, она необходима для транзитного транспорта, так как обеспечивает объезд города без пересечения наиболее загруженных улиц.

Другой артерией города является автомобильная дорога по ул. Цимлянской. Ее значение также трудно переоценить, так как она является продолжением Соликамского тракта, который очень значим

для города (связывает практически центр города с одним из наиболее отдаленных районов – Орджоникидзевским, свое начало берет от площади Восстания и заканчивается на примыкании к Восточному обходу).

В административном отношении в соответствии с генеральным планом г. Перми ул. Цимлянская относится к улицам общегородского значения регулируемого движения. В ее пределах проходят три городских автобусных маршрута, а также ряд пригородных.

Стоит отметить, что в ближайшее время должно начаться строительство второй очереди моста через р. Чусовую. Это означает увеличение пропускной способности, что должно повлечь за собой увеличение транспортной нагрузки как по ул. Цимлянской, так и по Восточному обходу.

В данный момент наблюдается затрудненное движение в пиковые часы на данной развязке, а учитывая вышесказанное, можно легко предположить, что это примыкание, вероятно, осложнит движение транспортных средств как по рассматриваемым улицам, так и по всей транспортной сети города.

Учитывая тот факт, что все основные улицы примыкают к Восточному обходу в разных уровнях, можно сделать вывод о том, что на рассматриваемом примыкании наиболее рациональным решением транспортной проблемы будет строительство двухуровневой развязки.

Для оценки пропускной способности существующего пересечения дорог, а также проектного предложения использовалась методика имитационного компьютерного моделирования, выполненная с применением программного комплекса «Дорожный менеджер» от компании Mallenom Systems [1, 2], являющегося аналогом программного комплекса PTV Vision [3].

В табл. 1, 2 приведены технические характеристики Восточного обхода и ул. Цимлянской.

Имитационное моделирование – это построение модели реальной системы дорожной сети с использованием достоверных статистических данных [4–8]. Модель, созданная в программе «Дорожный менеджер», с высокой точностью описывает реальные ситуации и процессы, позволяет наглядно увидеть дорожную обстановку, а также отследить ее динамику при изменении различных параметров [9, 10]. С помощью этой программы возможно решение даже самых сложных задач в области движения транспортных потоков.

Таблица 1

Техническая характеристика Восточного обхода (существующая)

№ п/п	Основные параметры	Единицы измерения	Показатели
1	Категория дороги	–	II
2	Общее число полос движения	шт	2
3	Ширина земляного полотна	м	15
4	Ширина полосы движения	м	3,75
5	Ширина проезжей части	м	7,50
6	Общая ширина обочины	м	3,75
7	Ширина укрепленной части обочины	м	0,75
8	Тип дорожной одежды	–	Капитальный
9	Материал покрытия	–	Асфальтобетон
10	Расчетная скорость движения	км/ч	120
11	Разрешенная скорость	км/ч	90

Таблица 2

Техническая характеристика ул. Цимлянкой (существующая)

№ п/п	Основные параметры	Единицы измерения	Показатели
1	Категория дороги	–	ДРД
2	Общее число полос движения	шт.	2
3	Ширина земляного полотна	м	11,0
4	Ширина полосы движения	м	3,5
5	Ширина проезжей части	м	7,0
6	Общая ширина обочины	м	2,0
7	Ширина укрепленной части обочины	м	0,5
8	Тип дорожной одежды	–	Капитальный
9	Материал покрытия	–	Асфальтобетон
10	Расчетная скорость движения	км/ч	80
11	Разрешенная скорость	км/ч	60

«Дорожный менеджер» [1] позволяет моделировать транспортные потоки на мезоуровне, что дает возможность получать наибольшую адекватность транспортных потоков в модели. В этой программе моделирование сложнейших динамических систем основано на применении дискретно-событийного метода, позволяющего выполнять си-

муляцию движения и взаимодействия большого количества транспортных средств на участке дорожной сети.

Цели данного исследования – построение модели движения транспортных потоков при существующей схеме организации движения, а также подбор такой схемы организации движения, которая будет работать как при существующей, так и при перспективной транспортной нагрузке на расчетный межремонтный срок службы.

Исходные данные для моделирования следующие: текущая схема организации дорожного движения на примыкании ул. Цимлянской к Восточному обходу, интенсивность движения по Восточному обходу, интенсивность движения по ул. Цимлянской, перспективная интенсивность движения по Восточному обходу, перспективная интенсивность движения по ул. Цимлянской, график распределения транспортных потоков на примыкании ул. Цимлянской к Восточному обходу (см. ниже), информация о затруднении движения.

График распределения транспортных потоков  
(матрица корреспонденций)

	Центр г. Перми	Мкр. Левшино	Чусовской мост
Центр г. Перми	–	365	1270
Мкр. Левшино	204	–	818
Чусовской мост	891	745	–

## 1. Исследование существующей развязки

Существующая развязка ул. Цимлянская – Восточный обход представляет собой пересечение в одном уровне по типу 3-А-2 с устройством переходно-скоростных полос для осуществления правых и левых поворотов.

На данный момент имеется много проблем, вызванных тем, что существующая развязка не справляется с транспортной нагрузкой. Из-за осложненного левого поворота с ул. Цимлянской на Восточный обход возникают заторные ситуации вдоль ул. Цимлянской, зачастую это приводит к невозможности проезда по правоповоротному съезду (рис. 1, 2). В связи с этим, а также плохой организацией движения на этом примыкании случаются ДТП, часто приводящие к тяжелым последствиям из-за высокой скорости движения по Восточному обходу [10].



Моделирование существующей ситуации подтвердило вышеизложенные проблемы, а также дало следующие результаты (рис. 3–5):

- 1) среднее время проезда по сети – 3 мин 20 с;
- 2) время движение одного автомобиля в пробке – 13 мин;
- 3) средняя интенсивность движения из расчета на полосу движения показывает, что из-за данной развязки значительно снижается дальнейшая интенсивность движения транспортных средств;
- 4) средняя скорость движения по полосе – всего 3,7 км/ч;
- 5) средняя плотность потока в заторной ситуации – 174,1 авт./км.



Рис. 3. Тепловая карта средней интенсивности по полосе

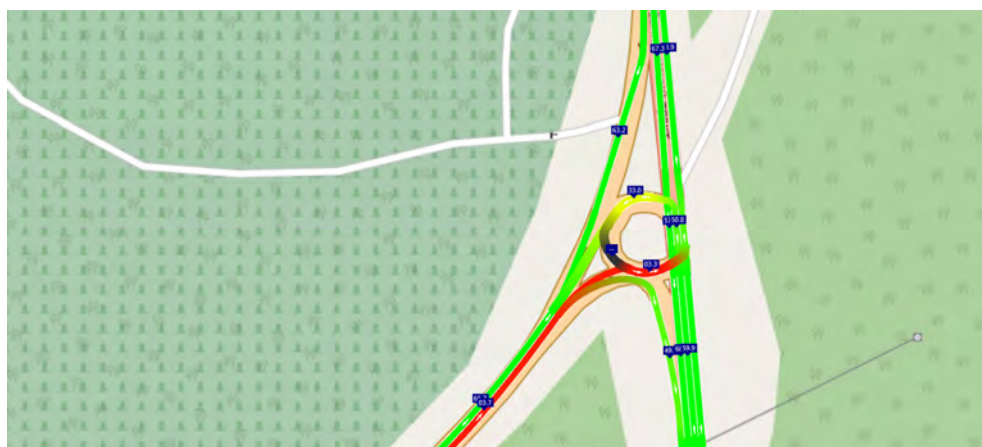


Рис. 4. Тепловая карта средней скорости движения по полосе



Рис. 5. Тепловая карта средней плотности потока

Из анализа данных исследования следует, что при существующей развязке образуется значительный затор, который значительно осложняет движение транспортных средств, а схема организации дорожного движения небезопасна и не может быть улучшена. Следовательно, данная развязка требует реконструкции.

## 2. Исследование проектной развязки

Учитывая проблемы на существующей развязке, а также высокую интенсивность движения транспортных средств, наиболее целесообразным решением будет организация дорожного движения с помощью двухуровневой развязки, которая была бы спроектирована с учетом требований действующих нормативных документов (ВСН 103-74, ОДМ 218.4.005–2010) и местных условий.

В качестве проектного варианта был рассмотрен вариант устройства развязки в двух уровнях по типу трубы [11, 12]. При этом учитывалась перспективная реконструкция участка Восточного обхода от моста через р. Чусовую до Лядовского тракта с двух полос движения без разделительной полосы при существующей схеме организации до четырех полос с разделительной полосой после реконструкции. Проектирование развязки проводилось с применением программного комплекса «Топоматик Robur» [13].

Технические характеристики ул. Цимлянской и Восточного обхода приведены в табл. 3, 4.



Таблица 3

Технические характеристики Восточного обхода  
после реконструкции

№ п/п	Технические характеристики	Единицы измерения	Показатель
1	Расчетная скорость	км/ч	120
2	Число полос движения	шт.	4
3	Ширина полосы движения	м	3,75
4	Ширина проезжей части	м	15
5	Ширина обочины	м	3,75
6	Наименьшая ширина укрепленной полосы обочины	м	0,75
7	Ширина земляного полотна	м	27,5
	Ширина разделительной полосы	м	5
8	Поперечный уклон проезжей части	‰	20
9	Поперечный уклон обочины	‰	40
10	Рекомендуемый продольный уклон	‰	30
	Предельный продольный уклон	‰	40
12	Рекомендуемые радиусы кривых: – в плане	м	3000
	– в продольном профиле: • выпуклых	м	70 000
	• вогнутых	м	8000
13	Наименьшие радиусы кривых: – в плане	м	800
	– в продольном профиле: • выпуклых	м	15 000
	• вогнутых	м	5000
15	Наименьшее расстояние видимости: – для остановки	м	250
	– встречного автомобиля	м	350
	– при обгоне	м	800
17	Наибольшая длина прямых участков в плане	м	3500–5000
18	Наименьшая длина прямых участков в плане	м	700

Таблица 4

Технические характеристики ул. Цимлянской после реконструкции

№ п/п	Технические характеристики	Единицы измерения	Показатель
1	Расчетная скорость	км/ч	80
2	Число полос движения	шт.	2
3	Ширина полосы движения	м	3,5
4	Ширина проезжей части	м	7
5	Ширина обочины	м	2
6	Наименьшая ширина укрепленной полосы обочины	м	0,5
7	Ширина земляного полотна	м	11
8	Поперечный уклон проезжей части	‰	20
9	Поперечный уклон обочины	‰	40
10	Рекомендуемый продольный уклон	‰	30
	Предельный продольный уклон	‰	60
12	Рекомендуемые радиусы кривых: – в плане	м	3000
	– в продольном профиле: • выпуклых	м	70 000
	• вогнутых	м	8000
13	Наименьшие радиусы кривых: – в плане	м	250
	– продольном профиле: • выпуклых	м	4000
	• вогнутых	м	1600
15	Наименьшее расстояние видимости: – поверхности дороги	м	100
	– встречного автомобиля	м	200

Организация примыкания ул. Цимлянской к Восточному обходу предусмотрена в двух уровнях путем устройства путепровода над автомобильной дорогой Восточный обход под углом, близким к существующему углу пересечения дорог. Проектное решение выбрано с учетом существующей организации дорожного движения, а также с возможностью предотвращения попадания на существующие капитальные строения и земельные участки, отведенные в постоянное частное пользование.

Ввиду того что существующая полоса отвода имеет небольшую ширину (стесненные условия), радиусы для левоповоротных съез-

дов [14] принимались на основе расчетов (Свод правил по проектированию геометрических элементов транспортных пересечений автомобильных дорог).

Расчет минимального радиуса левоповоротного съезда выполнен по формуле

$$R_{\text{в}} = \frac{v^2}{127(\mu + i_{\text{в}})} = \frac{30^2}{127(0,15 + 0,04)} = 37,3 \text{ м},$$

где  $\mu$  – коэффициент поперечной силы, равный 0,15;  $i_{\text{в}}$  – поперечный уклон виража, принимаемый 0,04.

Было смоделировано движение того же потока по тому же графику распределения (см. табл. 1), что и при существующей ситуации, но с новой организацией движения [8].

Моделирование движения по проектной развязке дало следующие данные (рис. 6–8):

- 1) среднее время проезда по сети – 1 мин 14 с;
- 2) средняя интенсивность движения из расчета на полосу движения показывает, что не возникает никаких заторных ситуаций, а интенсивность движения по полосе равна данным об интенсивности согласно графику распределения транспортных потоков;
- 3) средняя скорость движения по полосе показывает, что скорость движения равна максимально разрешенной;
- 4) средняя плотность потока показывает, что плотность движения по полосам в среднем равна менее 10 авт./км.

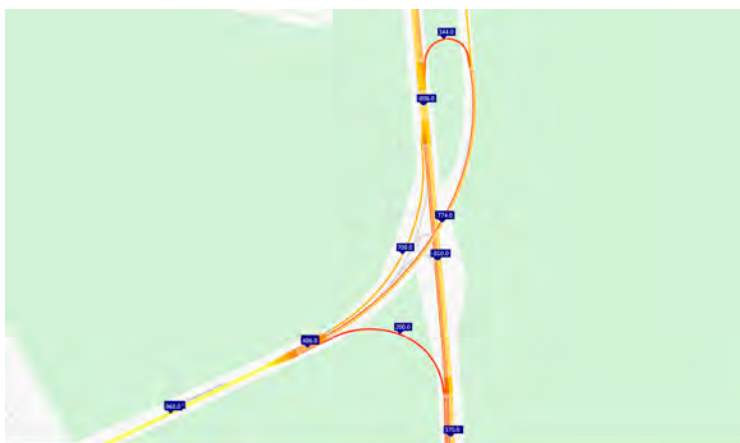


Рис. 6. Тепловая карта средней интенсивности по полосе

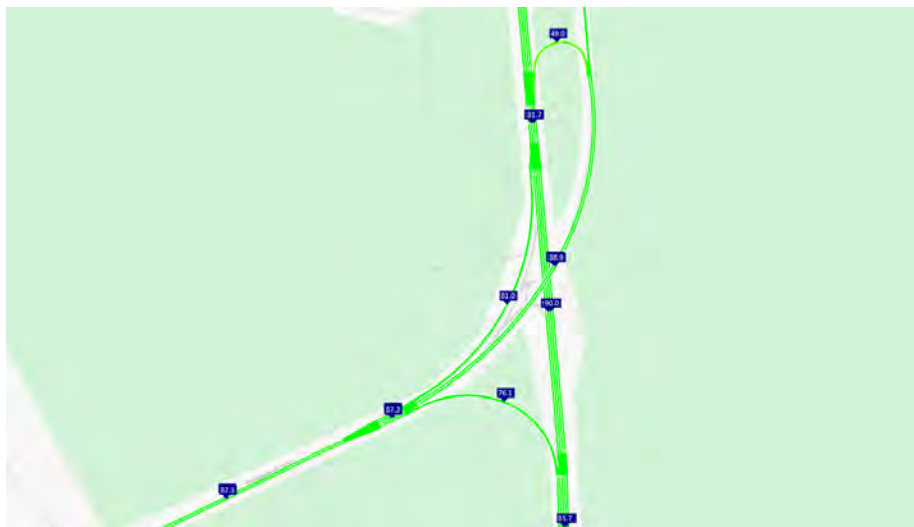


Рис. 7. Тепловая карта средней скорости движения по полосе

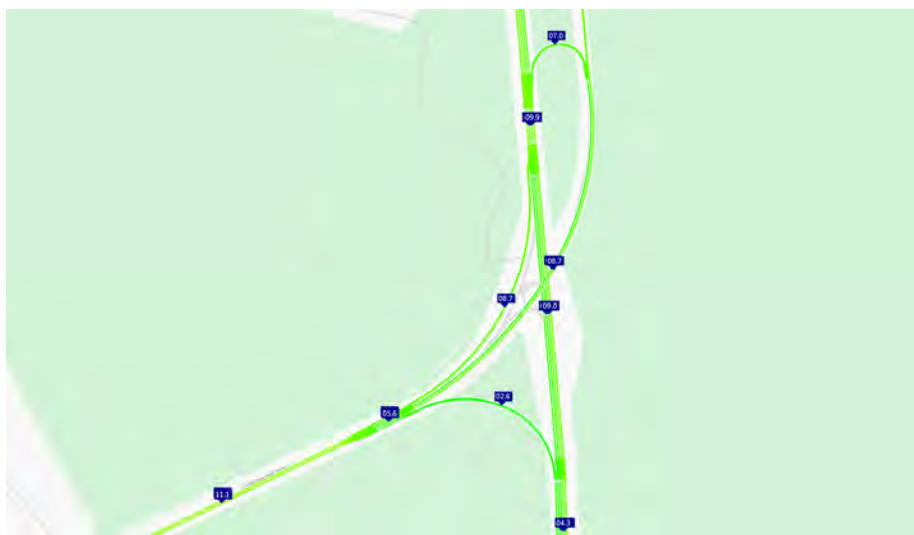


Рис. 8. Тепловая карта средней плотности потока

Таким образом, исследование проектной организации дорожного движения дает возможность наглядно убедиться в том, что все статистические данные удовлетворяют комфортному и безопасному движению автомобилей на данной развязке. Следовательно, проектное решение значительно улучшит и облегчит движение транспортных средств на примыкании.

### 3. Исследование работы проектируемой развязки при перспективной интенсивности

Исследование проектного предложения показало, что проектируемая развязка актуальна, но также следует сказать о том, что интенсивность движения транспортных средств продолжает возрастать, что означает увеличение транспортной нагрузки в будущем. Следовательно, необходимо проверить, сможет ли эта развязка справиться с перспективной интенсивностью движения.

При моделировании движения на перспективную интенсивность принимались следующие данные:

- срок службы – 15 лет;
- перспективный прирост интенсивности движения – 4 % в год.

Моделирование движения по проектной развязке дало следующие данные (рис. 9–11):

- 1) среднее время проезда по сети – 1 мин 20 с;
- 2) средняя интенсивность движения из расчета на полосу движения показывает, что не возникает заторных ситуаций, а интенсивность движения по полосе так же, как и при сегодняшней интенсивности, равна данным об интенсивности согласно графику распределения транспортных потоков;
- 3) средняя скорость движения по полосе свидетельствует о том, что скорость движения и при перспективной интенсивности будет равна максимально разрешенной;

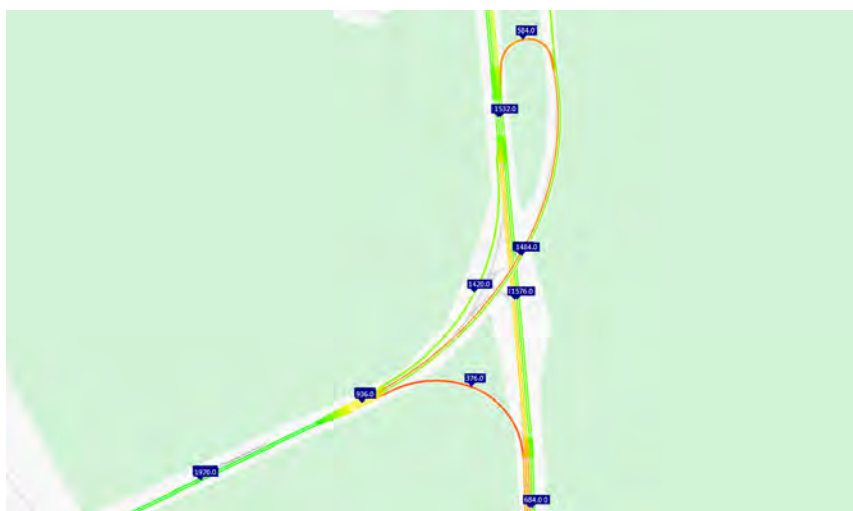


Рис. 9. Тепловая карта средней интенсивности по полосе

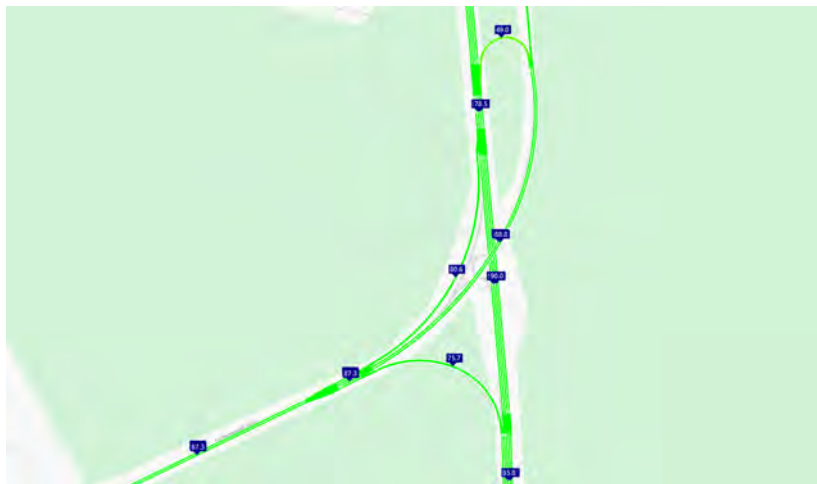


Рис. 10. Тепловая карта средней скорости движения по полосе

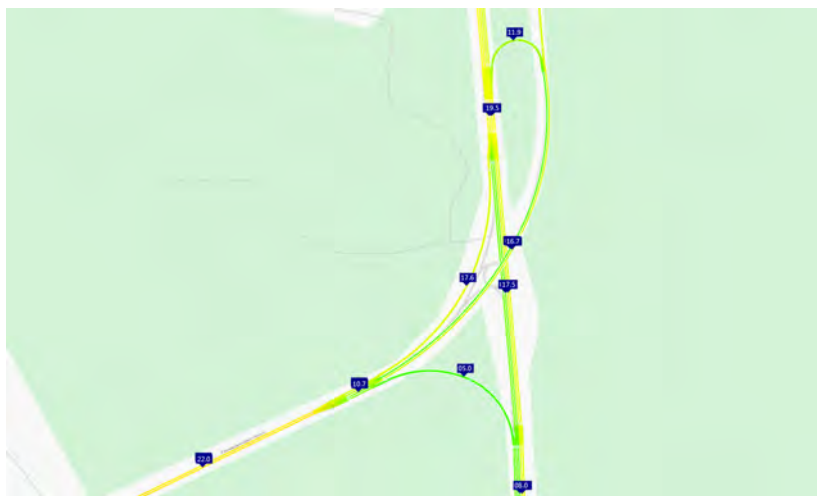


Рис. 11. Тепловая карта средней плотности потока

4) средняя плотность потока показывает, что плотность движения по полосам в среднем равна менее 20 авт./км.

Таким образом, исследование проектной организации дорожного движения при перспективной интенсивности приводит к выводу, что характеристики движения транспортного потока не потерпят значительных перемен. Следовательно, проектируемая развязка будет справляться с нагрузкой в будущем.

Для наглядности в табл. 5 представлено сравнение данных по каждому исследованию. В ней представлены наихудшие показатели.

Таблица 5

## Сравнение данных исследований

Показатель	Исследование		
	№ 1	№ 2	№ 3
Среднее время проезда по сети, мин	3,2	1,14	1,2
Средняя интенсивность движения из расчета на полосу движения, авт./ч	144	200	376
Средняя скорость движения по полосе, км/ч	3,3	49,0	49,0
Средняя плотность потока, ТС/км	174,1	11,1	22

**Заключение**

Подводя итог сказанному, отметим, что реконструкция примыкания ул. Цимлянской к Восточному обходу в г. Перми путем устройства двухуровневой развязки по типу трубы позволит увеличить пропускную способность пересечения, в том числе с учетом постоянно растущей интенсивности на перспективный срок службы, а также снизить в разы аварийность пересечения [15].

**Список литературы**

1. «Дорожный менеджер» – моделирование транспортных потоков [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mallenom.ru/products/modelirovanie-i-iskusstvennyi-intelekt/dorozhnyi-menedzher> (дата обращения: 20.05.2016).

2. Адаптивное управление дорожным движением на городском перекрестке на базе микроскопической дискретно-событийной модели транспортных потоков и оптоэлектронного метода контроля [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mallenom.ru/old/Docs/AdaptiveControl.pdf> (дата обращения: 20.05.2016).

3. PTV Vision – транспортное планирование [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ptv-vision.ru> (дата обращения: 20.05.2016).

4. Гаврилов А.А. Моделирование дорожного движения. – М.: Транспорт, 1980. – 189 с.

5. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография. – М.: Логос, 2013. – 188 с.

6. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.

7. Пушкина Н.Б., Горбатов А.В. Подходы к имитационному моделированию при моделировании дорожного движения // Науч. вестник Моск. гос. горн. ун-та. – 2011. – № 6. – С. 56–68.

8. Долгушин Д.Ю., Мызникова Т.А. Применение имитационного моделирования к оценке альтернативных схем организации дорожного движения // Динамика систем, механизмов и машин. – 2012. – № 1. – С. 250–254.

9. Бадалян А.М., Еремин В.М. Имитационное моделирование движения автомобилей для оценки пропускной способности дорог и коэффициентов приведения автомобилей разных типов к легковому автомобилю // Транспорт: наука, техника, управление. – 2004. – № 1. – С. 18–21.

10. Петров В.Ю., Петухов М.Ю., Якимов М.Р. Анализ режимов работы улично-дорожной сети крупных городов на примере города Перми. – Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2003. – 304 с.

11. Гохман В.А., Визгалов В.М., Поляков М.П. Пересечения и примыкания автомобильных дорог. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989. – 319 с.

12. Дубровин Е.Н. Пересечения в разных уровнях на городских магистралях. – М.: Высшая школа, 1977. – 429 с.

13. Проектирование развязок в программном комплексе «Топоматик Robur» [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.cadgis.ru/2015/5/CADGIS-2015-2\(5\)-14.Ovchinnikov-Vershkov\(Intersection-design\).pdf](http://www.cadgis.ru/2015/5/CADGIS-2015-2(5)-14.Ovchinnikov-Vershkov(Intersection-design).pdf) (дата обращения: 20.05.2016).

14. Обоснование размеров геометрических элементов транспортных развязок / Л.С. Морозова [и др.] // Архитектура, строительство, транспорт: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (к 85-летию СибАДИ). – Омск, 2015. – С. 107–116.

15. Сарабаев В.И., Еремин В.М., Королев П.Н. Оценка уровня безопасности дорожного движения методом математического моделирования // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – № 3 (66). – С. 9–11.

## References

1. "Dorozhnyi menedzher" – modelirovanie transportnykh potokov [Road manager – modeling of transport streams], available at: <http://www.mallenom.ru/products/modelirovanie-i-iskusstvennyi-intelekt/dorozhnyi-menedzher> (accessed 20 May 2016).

2. Adaptivnoe upravlenie dorozhnym dvizheniem na gorodskom perekrestke na baze mikroskopicheskoi diskretno-sobytiinoi modeli transportnykh



potokov i optoelektronnogo metoda kontroliia [Adaptive traffic control at the intersection of the city on the basis of microscopic discrete-event model of traffic flows and optoelectronic control method], available at: <http://www.mallenom.ru/old/Docs/AdaptiveControl.pdf> (accessed 20 May 2016).

3. PTV Vision – transportnoe planirovanie [PTV Vision – transport planning], available at: <http://www.ptv-vision.ru> (accessed 20 May 2016).

4. Gavrilov A.A. Modelirovanie dorozhnogo dvizheniia [Modeling traffic]. Moscow: Transport, 1980. 189 p.

5. Iakimov M.R. Transportnoe planirovanie: sozdanie transportnykh modelei gorodov [Transport planning: creation of transport models of cities]. Moscow: Logos, 2013. 188 p.

6. Karpov Iu.G. Imitatsionnoe modelirovanie sistem. Vvedenie v modelirovanie s AnyLogic 5 [Imitating modeling of systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5]. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg, 2006. 400 p.

7. Pushkina N.B., Gorbatov A.V. Podkhody k imitatsionnomu modelirovaniu pri modelirovanii dorozhnogo dvizheniia [The approaches to simulation for modeling traffic]. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 2011, no. 6, pp. 56-68.

8. Dolgushin D.Iu., Myznikova T.A. Primenenie imitatsionnogo modelirovaniia k otsenke al'ternativnykh skhem organizatsii dorozhnogo dvizheniia [The use of simulation in the evaluation of alternative schemes of traffic management]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin*, 2012, no. 1, pp. 250-254.

9. Badalian A.M., Eremin V.M. Imitatsionnoe modelirovanie dvizheniia avtomobilei dlia otsenki propusknoi sposobnosti dorog i koeffitsientov privedeniia avtomobilei raznykh tipov k legkovomu avtomobiliiu [Simulation modeling of movement of vehicles to assess the capacity of roads and factors bringing cars to the different types of cars]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, 2004, no. 1, pp. 18-21.

10. Petrov V.Iu., Petukhov M.Iu., Iakimov M.R. Analiz rezhimov raboty ulichno-dorozhnoi seti krupnykh gorodov na primere goroda Permi [Analysis of modes of operation of the road network of major cities on the example of the city of Perm]. Perm: Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2003. 304 p.

11. Gokhman V.A., Vizgalov V.M., Poliakov M.P. Peresecheniia i primykaniia avtomobil'nykh dorog [Crossings and junctions of roads: second edition, revised and enlarged]. Moscow: Vysshiaia shkola, 1989. 319 p.

12. Dubrovin E.N. Peresecheniia v raznykh urovniakh na gorodskikh magistraliakh [The intersections in different levels on urban highways]. Moscow: Vysshiaia shkola, 1977. 429 p.

13. Proektirovanie razviazok v programmnom komplekse "Topomatik Robur" [Design of interchanges in the software package Topomatic Robur], available at: [http://www.cadgis.ru/2015/5/CADGIS-2015-2\(5\)-14.Ovchinnikov-Vershkov\(Intersection-design\).pdf](http://www.cadgis.ru/2015/5/CADGIS-2015-2(5)-14.Ovchinnikov-Vershkov(Intersection-design).pdf) (accessed 20 May 2016).

14. Morozova L.S. [et al.]. Obosnovanie razmerov geometricheskikh elementov transportnykh razviazok [Justification of the sizes of geometrical elements of traffic intersections]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (k 85-letiiu SibADI) "Arkhitektura, stroitel'stvo, transport*. Omsk, 2015, pp. 107-116.

15. Sarabaev V.I., Eremin V.M., Korolev P.N. Otsenka urovnia bezopasnosti dorozhnogo dvizheniia metodom matematicheskogo modelirovaniia [Assessment of the level of road safety by mathematical modeling]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli*, 2013, no. 3 (66), pp. 9-11.

Получено 14.09.2016

### Об авторах

**Бурдин Игорь Олегович** (Пермь, Россия) – студент, кафедра «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 19а, e-mail: igorburdin93@mail.ru).

**Минзуренко Анастасия Андреевна** (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 19а, e-mail: crushed-stone@yandex.ru).

### About the authors

**Igor' O. Burdin** (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (19a, Academician Korolev st., Perm, 614013, Russian Federation, e-mail: igorburdin93@mail.ru).

**Anastasiia A. Minzurenko** (Perm, Russian Federation) – Assistant, Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (19a, Academician Korolev st., Perm, 614013, Russian Federation, e-mail: crushed-stone@yandex.ru).