

КАНАЛИЗИРОВАНИЕ ЛЕВОПОВОРОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ПЕРЕКРЕСТКАХ СО СВЕТОФОРНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

С. А. Эртман¹, Ю. А. Эртман², Г. Н. Морозов³

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

¹e-mail: ertmansa@tyuiu.ru

²e-mail: ertmanja@tyuiu.ru

³e-mail: goga.post@yandex.ru

Аннотация. В отечественной и зарубежной нормативной документации, а также специальной литературе отсутствуют четкие рекомендации по применению метода канализирования пересечений. Нет устоявшейся терминологии применительно к выделенному канализированному потоку перед регулируемым перекрестком, отсутствуют указания по определению его параметров.

Цель исследования заключается в повышении эффективности канализирования левоповоротных транспортных потоков перед регулируемым пересечением как метода организации дорожного движения.

В работе впервые обосновано понятие локального расширения для канализирования, в также предлагается методика расчета его длины в зависимости от различных влияющих факторов. В целях исследования выдвигается гипотеза о том, что оптимальная длина локального расширения зависит от транспортного спроса на поворотное движение, приведенного к 1 циклу светофорного регулирования, и от среднего динамического габарита транспортных средств в потоке. В соответствии с гипотезой, на основе собранных данных производится расчёт длины локального расширения проезжей части для нескольких участков улично-дорожной сети г. Тюмени.

Для обоснования адекватности расчетов использован метод имитационного моделирования в программном комплексе PTV Vissim (микромоделирование). На основе данных натурных обследований участков улично-дорожной сети были созданы имитационные модели, отображающие текущую ситуацию на регулируемых пересечениях, а также оценивалась эффективность проектных решений при организации локальных расширений проезжей части перед перекрестками.

Установленная зависимость оптимальной длины локального расширения проезжей части от приведенного транспортного спроса к 1 циклу с высокой степенью достоверности подтверждена результатами имитационного моделирования. Таким образом, на основе полученной математической модели, возможно, производить расчёты оптимальной длины локального расширения проезжей части перед регулируемыми перекрестками.

Дальнейшие исследования предполагают определение влияния различных факторов на эффективность канализирования транспортных потоков.

Ключевые слова: локальное расширение проезжей части, канализирование транспортных потоков, имитационное моделирование, дорожное движение, регулируемый перекресток, общая эффективность организации движения на перекрестке.

Для цитирования: Эртман С. А., Эртман Ю. А., Морозов Г. Н. Канализирование левоповоротных транспортных потоков на перекрестках со светофорным регулированием // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 8. – С. 153-164. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-153.

THE LEFT-TURN TRAFFIC FLOW CHANNELING TECHNIQUE AT ASIGNALED CROSSING

S.A. Ertman¹, J.A. Ertman², G.N. Morozov³

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

¹e-mail: ertmansa@tyuiu.ru

²e-mail: ertmanja@tyuiu.ru

³e-mail: goga.post@yandex.ru

Abstract. There are not clearly defined instructions for use traffic channeling technique in the normative documentation of the Russian Federation and foreign countries and in the specialized literature. Also there is not the established terminology relative to the channeling of traffic flow on the intersection and instructions for determination of its parameters as well.

The goal of the research is how to increase overall intersection efficiency by the traffic channeling technique.

This work contains justification of the concept of the local extension for the traffic channeling and the methodic of its length calculation in depend on different influencing factors. To reach these goals there is the following hypothesis: the optimal length of local extension depends on transport demand for left-turn traffic per one traffic light cycle and average dynamic size of vehicles in the traffic flow. According to the hypothesis the calculation of the length of the local road extension for several roads of the road network of Tyumen city on the basis of the collected data has been made.

Simulation modeling in the software PTV Vissim (micromodeling) has been used to prove the calculations validity. The simulation models for the current situation at intersection have been developed based on the data obtained for different roads. The effectiveness of the project solutions has been evaluated.

Set the dependency of optimal length of the local road extension on relative transport demand per one traffic light cycle has been highly likely proved by the simulation modeling results. Therefore it is possible to calculate the optimal length of the local road extension before a signaled crossing based on the mathematical model obtained.

Future research is supposed the determination different factors effect on the overall efficiency of an intersection due to the channeling technique.

Keywords: local extension of the roadway, traffic channeling, simulation modeling, road traffic, signaled crossing, overall efficiency of intersection.

Cite as: Ertman, S.A., Ertman, J.A., Morozov, G.N. (2019) [The left turn traffic flow channeling technique at signaled crossing]. *Intellekt. Innovatsi. Investitsii* [Intellect. Innovation. Investments]. Vol. 8, pp. 153-164. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-153.

Введение

С каждым годом всё более актуальной проблемой в городах России становится обеспечение соответствующей пропускной способности улично-дорожной сети (УДС), определяющей уровень транспортного обслуживания и качества жизни населения. Высокий уровень транспортного обслуживания определяется скоростью, своевременностью, предсказуемостью, ритмичностью, безопасностью и экологичностью функционирования транспортной системы [5]. Одним из наиболее важных факторов, влияющих на уровень городского транспортного обслуживания, является пропускная способность УДС.

Пропускная способность УДС определяется пропускной способностью ее отдельных элементов: перегонов, перекрестков, искусственных сооружений и т.д. Особенно высокое влияние оказывают участки УДС с минимальной пропускной способностью, к которым относятся регулируемые перекрестки.

Повышение пропускной способности регулируемых перекрестков может быть достигнуто либо организационными мероприятиями без изменения их геометрических размеров (оптимизация светового регулирования на перекрестке и на смежных участках УДС, изменение разрешенных направлений движения по полосам движения), либо реконструкцией перекрестка и подходов к нему (расширение проезжей части, строительство путепровода и т.д.).

Полная реконструкция участков УДС, предусматривающая расширение проезжей части автомобильной дороги, строительство инженерных сооружений, разделяющих транспортные, транспортные и пешеходные потоки в разных уровнях, не всегда является возможным и целесообразным вариантом

совершенствования организации дорожного движения (ОДД). Для повышения пропускной способности УДС можно использовать менее дорогостоящие методы [7].

При подходе к перекрестку рекомендуется наличие минимум трёх полос, необходимых для осуществления удобного накопления транспорта [6]. Канализирование поворотных (левоповоротного, правоповоротного) транспортных потоков на перекрестке за счёт выделения целой полосы – не всегда является эффективным вариантом использования пропускной способности полосы, т.к. установлено, что интенсивность по данному направлению составляет не более 25%–30% от общего потока. Поэтому в таких случаях наиболее рациональным вариантом ОДД становится обустройство специальных полос (карманов) относительно небольшой протяжённости перед пересечением для канализирования транспортных потоков по направлениям. Обозначенное мероприятие иногда называют «переходно-скоростными полосами» (ПСП).

Понятие локального расширения проезжей части

В СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» приводится определение «переходно-скоростной полосы»: «Полоса движения, устраиваемая для обеспечения разгона или торможения транспортных средств при выезде из транспортного потока или въезде в транспортный поток, движущийся по основным полосам» [12].

Переходно-скоростные полосы проектируют:

– на пересечениях и примыканиях в одном уровне в местах съездов на дорогах категорий I–III, в том числе к зданиям и сооружениям, располагаемым в придорожной зоне;

- на транспортных развязках;
- в местах расположения площадок для остановок автобусов;
- у автозаправочных станций и площадок для отдыха.

Исходя из определения, основная задача ПСП – снижение или увеличение скорости для обеспечения безопасного перехода потока транспортных средств с второстепенного направления, и наоборот.

С точки зрения ОДД, полосы для канализирования поворотных потоков перед перекрёстками обозначаются знаками «начало полосы» (рисунок 1). Согласно ГОСТ «Технические средства организации дорожного движения», знаки применяют при увеличении числа полос для движения в данном направлении, а также для обозначения полосы, предназначенной для поворота налево или разворота [9].



Рисунок 1. ГОСТ 52289-2004, знаки 5.15.3 и 5.15.4 – «начало полосы»

Таким образом, в условиях города увеличение числа полос перед пересечением является не ПСП, а участком дороги с увеличенным количеством полос. Расширения проезжей части автомобильной дороги перед перекрёстком, как правило, предназначено для отвода лево- или правоповоротных транспортных потоков, за счёт чего происходит увеличение пропускной способности пересечения. При организации ПСП повышение пропускной способности играет не основную роль, т.к. при обеспечении условий безопасности увеличение пропускной способности происходит за счёт снижения транспортных задержек, вызванных затруднением вхождения потока с второстепенного

направления в основной поток, и наоборот [8, 13].

Отечественный опыт показывает, что увеличение числа полос перед пересечением рассматривалось и ранее как средство повышения пропускной способности пересечения. Например, в книге «Городские пути сообщения» профессор М.С. Фишельсон для разделения транспортных потоков по направлениям предлагает применение «уширения» подходов к перекрёстку [6]. При этом указывается, что длина уширения должна составлять не менее 60 м, как показано на рисунке 2. Однако нет пояснения, почему уширение должно быть именно такой длины, а также в каких именно случаях необходимо увеличивать его протяжённость.



Рисунок 2. Пример уширения подходов и канализирования движения на перекрёстке

Профессор Г. И. Клинковштейн мероприятие по увеличению числа полос не выделяет как самостоятельный вид совершенствования ОДД с целью увеличения пропускной способности пересечения. В первую очередь, речь идёт о применении направляющих островков, и лишь косвенно – об увеличении количества полос перед пересечением (т.н. «карманов») для защиты автомобилей (под номером 3 на рисунке 2), ожидающих возможности повернуть налево [10].

Профессор Ю.А. Кременец при организации светофорного регулирования на пересечении рекомендует выделять левоповоротное движение

в отдельную фазу или использовать другие методы организации дорожного движения при величине транспортного потока, превышающей 120 автомобилей в час [6].

Описание подобного метода канализирования встречается в Highway Capacity Manual 2010 [14]: «...левоповоротные полосы на перекрёстках необходимо применять для уменьшения задержек транспортных средств, осуществляющих движение в прямом направлении, а также для увеличения безопасности (рисунок 3). Левоповоротные полосы обеспечивают место для транспортных средств, ожидающих необходимый интервал для поворота...».

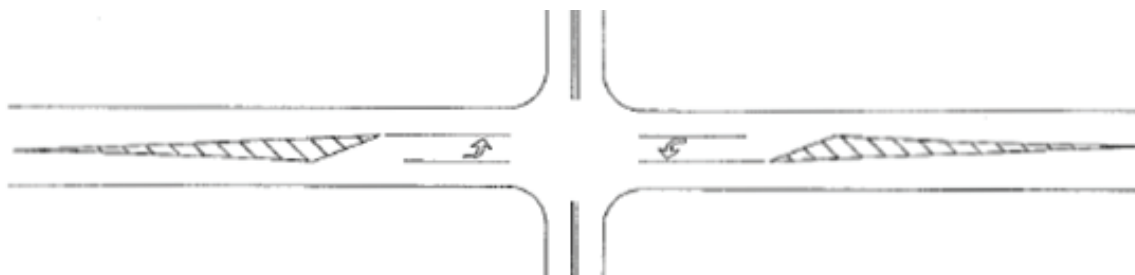


Рисунок 3. Перекрёсток с левоповоротными полосами

Тем не менее, Highway Capacity Manual не содержит конкретных рекомендаций по расчёту оптимальных параметров для поворотных полос.

В ходе изучения ранее выполненных работ был также найден материал о «зонах ожидания» (waiting area) [15]. «Зона ожидания» (рисунок 4) представляет собой часть левоповоротной полосы,

начинающейся после «стоп-линии». Авторы приводят формулу для оценки пропускной способности левоповоротной полосы с «зоной ожидания». Однако не рассматривается сама левоповоротная полоса до «стоп-линии», не указывается, какими характеристиками, в частности длиной, должна она обладать.

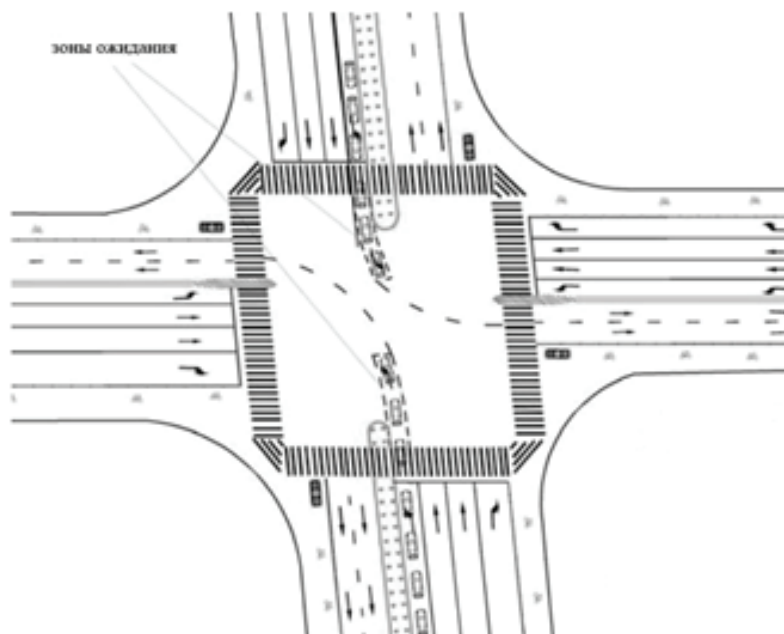


Рисунок 4. Схема регулируемого перекрестка с левоповоротной зоной ожидания

Таким образом, в профессиональной литературе и нормативной документации в настоящий момент отсутствует чёткое определение для мероприятия, предполагающего увеличение числа полос перед пересечением автомобильных дорог, и, как следствие, методика его применения.

Исходя из сказанного, можно сформулировать определение:

Локальное расширение проезжей части (ЛРПЧ) – дополнительная полоса перед перекрёстком, выделенная конструктивно или посредством разметки, предназначенная для отделения поворотных (правой или левоповоротных) транспортных потоков.

При устройстве ЛРПЧ возникает необходимость определения минимально необходимой (оптимальной) длины ЛРПЧ по нескольким причинам:

- недостаточная длина локального расширения не позволит эффективно распределить транс-

портный поток по направлениям, т.к. поворотный поток будет выстраиваться в начале локального расширения, занимая полосу для движения транспорта в прямом направлении;

- чрезмерная длина расширения приводит к перерасходу средств, а также к нерациональному использованию ценного городского пространства;

- разделение транспортного потока по направлениям движения позволит повысить пропускную способность и безопасность движения на пересечении.

Расчёт длины локальных расширений проезжей части

Рассмотрим вариант расчёта локального расширения для левоповоротного потока, осуществляющего движение в выделенной фазе светофорного цикла (рисунок 5).

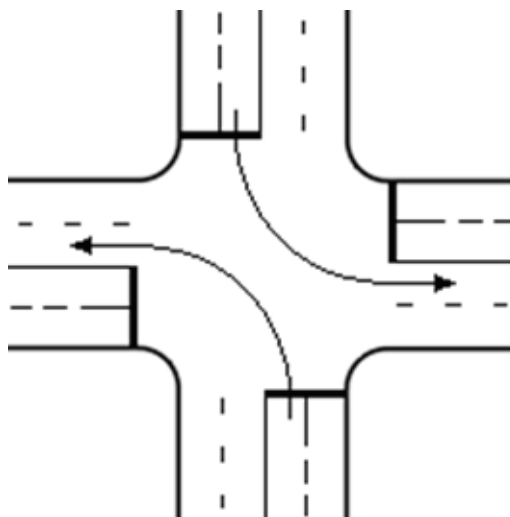


Рисунок 5. Схема разезда транспортных средств в фазе светофорного регулирования

Сформулируем рабочую гипотезу: оптимальная длина локального расширения зависит от транспортного спроса на поворотное движение, приведенного к 1 циклу светофорного регулирования, и от среднего динамического габарита транспортных средств в потоке:

$$L_{\text{лр}} = TC_{\text{пов}}^1 \cdot L_{\text{д}}^0 \quad (1)$$

где:

$L_{\text{д}}^0$ – оптимальная длина ЛРПЧ для поворотного движения, м;

$TC_{\text{пов}}^1$ – транспортный спрос на поворотное движение, приведенный к 1 циклу светофорного регулирования, ТС/цикл.

Транспортный спрос на поворотное движение, приведенный к 1 циклу светофорного регулирования $TC_{\text{пов}}^1$, определяется, исходя из длительности

цикла светофорного регулирования и часового транспортного спроса на поворотное движение (результат округляется «вверх» до целого):

$$TC_{\text{пов}}^1 = \frac{TC_{\text{пов}}}{3600/T_{\text{ц}}} \quad (2)$$

где:

$TC_{\text{пов}}$ – часовой транспортный спрос на поворотное движение, авт./час;

$T_{\text{ц}}$ – длительность цикла светофорного регулирования, с.

Динамический габарит транспортного средства рассчитывается по формуле [10, 3]:

$$L_{\text{д}} = l_{\text{а}} + v_{\text{а}} t_{\text{р}} + l_0 \quad (3)$$

где:

$v_{\text{а}}$ – скорость автомобиля, м/с;

t_p – время реакции водителя, с;
 l_a – средняя длина автомобиля, м;
 l_0 – дистанция до остановившегося впереди автомобиля, м.

Т.к. скорость транспортного средства будет равна 0, то предыдущая формула принимает вид:

$$L_d^0 = l_a + l_0 \quad (4)$$

Таким образом, длина ЛРПЧ может быть определена по формуле:

$$L_{\text{лр}} = \frac{TC_{\text{пов}}}{3600/T_c} \cdot (l_a + l_0) \quad (5)$$

Произведём расчёт необходимой длины локального расширения на примере пересечения ул. Малыгина – ул. Таймырская, г. Тюмень (рисунок 6).



Рисунок 6. Пересечение ул. Мельникайте – ул. Таймырская, г. Тюмень

Высокий транспортный спрос на левый поворот с ул. Таймырская в сочетании со встречным потоком приводят к значительным транспортным заторам на ул. Таймырская, что в периоды максимальной загрузки повышает риск возникновения аварийно-опасных ситуаций и ДТП [10].

Предлагается организовать ЛРПЧ на ул. Таймырская по направлению к ул. Мельникайте для левого поворота за счёт полосы для встречного направления. Входящие потоки с перекрестка на ул. Таймырская двигаются только по одной полосе, т.е. ощутимых помех от сужения проезжей части дороги, предназначенной для движения в данном направлении, не прогнозируется. В то же время, с ул. Таймырская транспортные средства будут иметь возможность осуществлять левый поворот из двух полос, правый поворот из выделенной правой полосы и движение прямо по средней полосе (рисунок 7).

Произведём расчёт оптимальной длины ЛРПЧ по формуле (5). Учитывая, что интенсивность левоповоротного потока 390 тс/час (распределяется на две полосы), время цикла 146 секунд, длина ав-

томобиля в среднем составляет 5 метров, дистанция до остановившегося впереди автомобиля 2 метра, получим:

$$L_{\text{лр}} = \frac{390/2}{3600/146} \cdot (5 + 2) = 55 \text{ метров}$$

Таким образом, минимально необходимая длина ЛРПЧ для левоповоротного потока по ул. Таймырская составляет 55 метров. Для обоснования эффективности проектного решения по ЛРПЧ установленной длины воспользуемся методом имитационного моделирования в программном комплексе PTV Vissim (микромоделирование) [1, 2].

Имитационное моделирование.

Результаты исследования

В программном комплексе PTV Vissim была создана модель, отображающая текущую ситуацию на пересечении проезжих частей улиц Мельникайте и Таймырская, представленная на рисунке 8.

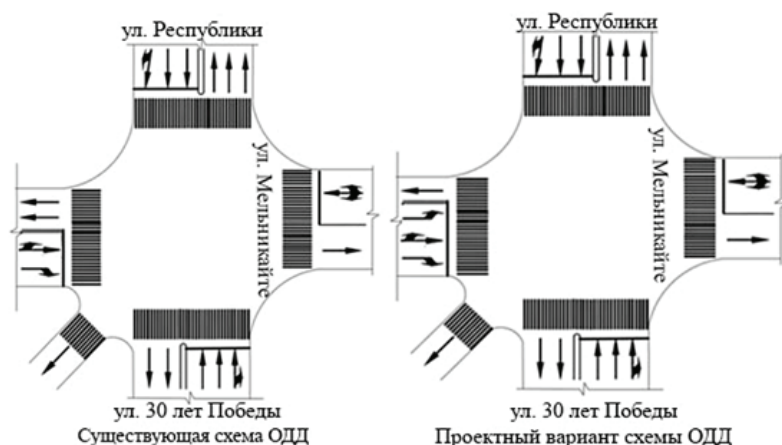


Рисунок 7. Схемы ОДД на пересечении ул. Мельникайте – ул. Таймырская



Рисунок 8. Модель пересечения ул. Мельникайте – ул. Таймырская, текущая ситуация

Изменение параметров проезжей части по ул. Таймырская при введении ЛРПЧ в имитационной модели перекрестка представлено на рисунке 9.



Рисунок 9. Модель пересечения ул. Мельникайте – ул. Таймырская с ЛРПЧ для левоповоротного транспортного потока

Для решения поставленных задач выполнены экспериментальные исследования с использованием разработанной имитационной модели. В ходе эксперимента длина ЛРПЧ изменялась от 28 до 70 метров (кратно 7-метровому динамическому габ-

риту транспортного средства), а также была выделена целая полоса для левоповоротного потока транспортных средств.

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты моделирования пересечения ул. Мельникайте – ул. Таймырская с разной длиной ЛРПЧ проезжей части

Параметры	Сущ. ОДД	Длина ЛРПЧ, м					
		28	49	56	63	70	Отдельная полоса
Среднее количество остановок	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,5
Средняя скорость движения потока, км/ч	13,0	13,9	14,3	14,6	14,6	14,6	14,7
Время задержки (всего потока), час	16,4	15,9	15,6	15,5	15,5	15,4	15,2
Ср. время задержки одного транспортного средства в потоке, с	66,9	62,9	61,2	59,9	59,9	59,9	59,5
Отн. время задержки, %	100	94	91	90	90	90	89

Анализ результатов экспериментальных исследований, представленных в таблице 1, показал, что оптимальным значением длины ЛРПЧ является 56 метров. При уменьшении длины происходит ухудшение показателей эффективности (по сравнению с оптимальным) ОДД:

- время задержек увеличивается на 2%–5%;
- скорость транспортного потока снижается на 2%–5%;
- относительное время задержки увеличивается на 1%–4%.

При увеличении длины ЛРПЧ значительных из-

менений не наблюдается.

Организация ЛРПЧ на данном пересечении за счёт полосы для движения встречного направления позволила бы уменьшить задержки и увеличить скорость транспортного потока на 10%. Расчётная длина соответствует результатам имитационного моделирования.

Для проверки рабочей гипотезы проведём дополнительные исследования. Произведём расчёт длины ЛРПЧ на пересечениях ул. Первомайской (рисунок 10) с последующим имитационным моделированием.

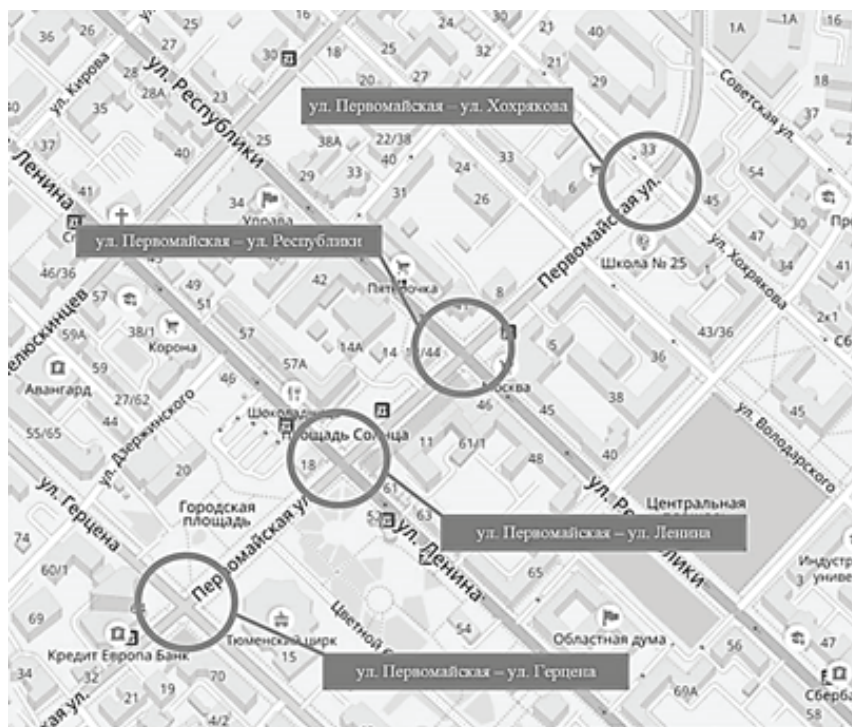


Рисунок 10. Участок УДС г. Тюмени, ул. Первомайская

Для создания имитационных моделей и расчёта оптимальной длины локальных расширений проезжей части на пересечениях ул. Первомайская – ул. Герцена, ул. Первомайская – ул. Ленина, ул. Первомайская – ул. Республики, ул. Первомайская – ул. Хохрякова, произведён сбор исходных данных, включающий в себя:

- определение количества полос движения по направлениям;
- сбор информации о существующей организации дорожного движения на пересечении (разрешенное движение по полосам, циклограммы светофорного регулирования и т.д);
- определение транспортного спроса.

Обоснование эффективной длины ЛРПЧ на пе-

ресечениях ул. Первомайской включает несколько этапов:

- расчётное определение оптимальной длины ЛРПЧ для левоповоротных потоков;
- имитационное моделирование: создание модели текущей ситуации; создание модели с расчётным параметром длины ЛРПЧ; создание моделей, предусматривающих изменение расчётной длины ЛРПЧ для проведения сравнительного анализа (увеличение, уменьшение длины);
- вывод об оптимальной длине ЛРПЧ для левоповоротных потоков.

В таблице 2 представлены данные по оптимальной длине ЛРПЧ на основании расчетов и имитационного моделирования.

Таблица 2. Длины ЛРПЧ, предлагаемые на пересечениях ул. Первомайской, г. Тюмени

Участок УДС. Пересечение	Длина ЛРПЧ, м		ТС _{л.пов.} ^э авт./час	ТС _{пов.} ¹ авт./цикл	Цикл, с
	расчётная	по модели			
ул. Первомайская – ул. Герцена (от ул. Смоленской)	14,0	14	48	2	150
ул. Первомайская – ул. Республики	54,8	56	176	8	160
ул. Первомайская – Ленина	44,0	49	138	7	164
ул. Первомайская – ул. Герцена (от ул. Ленина)	25,2	28	81	4	160
ул. Первомайская – ул. Хохрякова	15,6	21	80	3	100

Протяжённость расчётной длины ЛРПЧ проезжей части на основании расчётной математической

модели совпадают с результатами имитационного моделирования (рисунок 11).

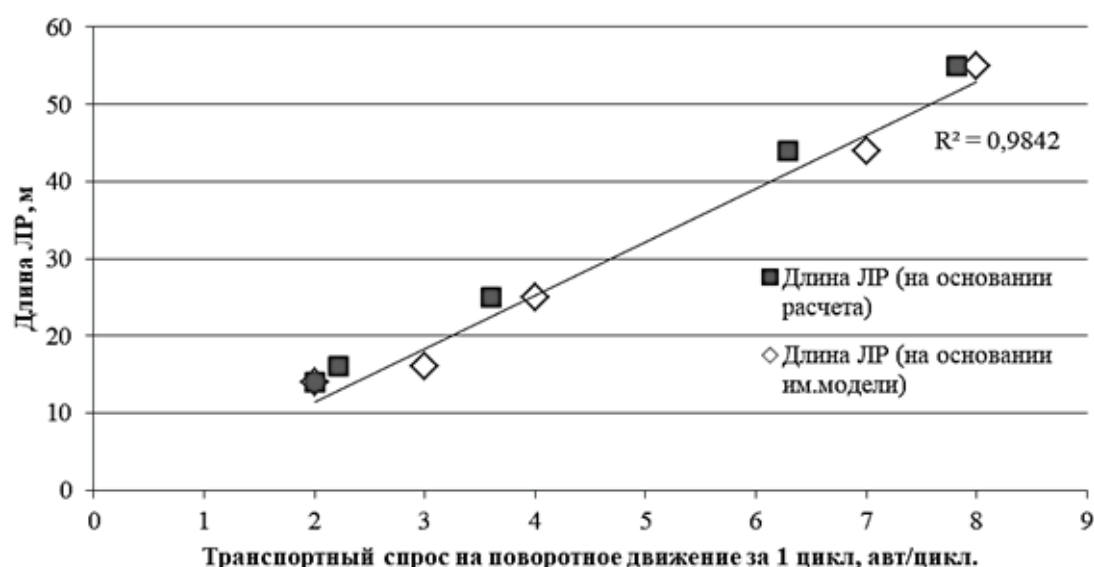


Рисунок 11. Параметры ЛРПЧ, полученные в имитационных моделях и расчётным путём

Таким образом, теоретическое определение значения оптимальной длины ЛРПЧ с высокой досто-

верностью подтверждается экспериментальными данными.

Заключение

Исследования показали, что канализирование левоповоротного потока, положительно отражается на пропускной способности пересечения. Разделение транспортного потока прямого направления от левоповоротного с помощью ЛРПЧ позволяет снизить вероятность возникновения ситуаций, при которых транспортные средства, следующие в поворотном направлении, перекрывают полосу для прямого направления, что повышает безопасность дорожного движения (из-за сокращения маневрирования при движении в прямом направлении) и пропускную способность поворотного направления.

Установлена зависимость минимально необходимой длины ЛРПЧ от транспортного спроса и продолжительности цикла светофорного регули-

рования. Полученная зависимость подтверждается результатами имитационного моделирования в программном комплексе PTV.

На основе полученной математической модели возможно на стадии проектирования производить расчёты оптимальных параметров ЛРПЧ в условиях отсутствия дорогостоящих программных продуктов имитационного моделирования дорожного движения.

Направление дальнейших исследований:

1. Проведение натурного эксперимента для подтверждения полученных результатов исследования.
2. Изучение влияния других факторов дорожного движения на длину ЛРПЧ: интенсивности встречного потока транспортных средств, геометрических размеров перекрестка, погодных условий и т. д.

Литература

1. Захаров Д. А. Особенности функционирования транспортного комплекса города Тюмени // Нефть и газ Западной Сибири. Международная научно-практическая конференция. – Тюмень, 2015. – С. 170-174.
2. Карманов Д. С. Моделирование транспортных потоков Восточного Административного округа города Тюмени // Организация и безопасность дорожного движения: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень, 2015. – С. 142-145.
3. Колесов В. И., Петров А. И. Модель динамики автомобилизации в задачах прогноза показателей безопасности дорожного движения // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2016. – № 1. – С. 33-36.
4. Левашев А. Г. Уточнение терминологии в области теории транспортных потоков // Транспортное планирование и моделирование. Цифровое будущее управления транспортом: сборник трудов III Международной научно-практической конференции. – Москва, 2018. – С. 77-83.
5. Михайлов А. Ю. Анализ методик расчета пропускной способности пересечений в одном уровне // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – № 12. – С. 231-238.
6. Михайлов А. Ю. Интегрированное территориальное и транспортное планирование // Современные тенденции развития городских систем: материалы Международной научной конференции, посвященной 135-летию со дня рождения основателя уральской архитектурной школы, профессора К. Т. Бабыкина. – Екатеринбург, 2015. – С. 12-13.
7. Морозов Г. Н. Влияние локального сужения проезжей части перед регулируемым перекрестком на его пропускную способность // Организация и безопасность дорожного движения: материалы Международной научно-практической конференции. – Тюмень, 2017. – С. 248-252.
8. Морозов Г. Н. Ограничение остановки, стоянки транспортных средств вдоль проезжей части перед регулируемым пересечением автомобильных дорог в условиях города // Организация и безопасность дорожного движения, материалы XI международной научно-практической конференции. – Тюмень, 2018. – С. 276-279.
9. Преловская С. Е. Совершенствование методики проектирования улично-дорожных сетей российских городов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 9. – С. 109-116.
10. Преловская С. Е. Транспортное планирование в российских городах: перспективы актуализации классификации и подхода к проектированию городских улиц // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2017. – № 6. – С. 113-119.
11. Шабалин И. В. Оценка транспортной опасности перекрестка как основа для анализа эффективности схемы организации дорожного движения // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. – Тюмень, 2014. – С. 368-373.
12. Шаров М. И. Унификация методов оценки качества проектирования улично-дорожных сетей, качества организации дорожного движения и оценки результатов транспортного моделирования // Транспортное планирование и моделирование: сборник трудов международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2016. – С. 96-100.
13. Эртман С. А. Оценка эффективности оптимизации организации дорожного движения на пересечении улиц с интенсивным движением // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 6. – С. 219-222.

14. Wanjing Ma. (2017) Increasing the capacity of signalized intersections with left-turn waiting areas [Transportation Research Part A: Policy and Practice]. Vol. 105, pp. 181-196.
15. Xinguo Jiang. (2016) Safety evaluation of signalized intersections with left-turn waiting area in China [Accident Analysis & Prevention]. Vol. 95, pp. 461-469.

References

1. Zakharov, D.A. (2015) [Features of the functioning of the transport complex of the city of Tyumen]. *Osobennosti funktsionirovaniya transportnogo kompleksa goroda Tyumeni* [Oil and gas of Western Siberia. International Scientific and Practical Conference]. Tyumen, pp. 170-174. (In Russ.).
2. Karmanov, D. S. (2015) [Simulation of traffic flows of the Eastern Administrative area of Tyumen]. *Modelirovaniye transportnykh potokov Vostochnogo Administrativnogo okruga goroda Tyumeni* [Organization and road safety: materials of the all-Russian scientific and practical conference]. Tyumen, pp. 142-145. (In Russ.).
3. Kolesov, V.I., Petrov, A.I. (2016) [The dynamics model of motorization in the tasks of forecasting traffic safety indicators]. *Model' dinamiki avtomobilizatsii v zadachakh prognoza pokazateley bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya* [Safety and Emergency Issues]. Vol. 1, pp. 33-36. (In Russ.).
4. Levashev, A.G. (2018) [Clarification of terminology in the theory of traffic flows]. *Utochneniye terminologii v oblasti teorii transportnykh potokov* [Transport planning and modeling. The Digital Future of Transport Management: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference]. Moscow, pp. 77-83. (In Russ.).
5. Mikhailov, A.U. (2018) [Analysis of methods for calculating intersection throughput at one level]. *Analiz metodik rascheta propusknoy sposobnosti peresecheniy v odnom urovne* [Bulletin of Irkutsk State Technical University]. Vol. 12, pp. 231-238. (In Russ.).
6. Mikhaylov, A.U. (2015) [Integrated territorial and transport planning]. *Integrirovannoye territorial'noye i transportnoye planirovaniye* [Current trends in the development of urban systems: materials of the International Scientific Conference dedicated to the 135th birthday of the founder of the Ural school of architecture, Professor K.T. Babykina.]. Yekaterinburg, pp. 12-13. (In Russ.).
7. Morozov, G.N. (2017) [The influence of local narrowing of the roadway in front of an adjustable crossroads on its capacity]. *Vliyaniye lokal'nogo suzheniya proyezhey chasti pered reguliruyemym perekrestkom na yego propusknyuyu sposobnost* [Organization and traffic safety: materials of the International scientific-practical conference]. Tyumen, pp. 248-252. (In Russ.).
8. Morozov, G.N. (2018) [Parking restriction of vehicles along the carriageway before the adjustable intersection of highways in the city conditions]. *Ogranicheniye ostanovki, stoyanki transportnykh sredstv vdol' proyezhey chaste pered reguliruyemym peresecheniyem avtomobil'nykh hdorog v usloviyakh goroda* [Organization and traffic safety, materials of the XI International scientific and practical conference]. Tyumen, pp. 276-279. (In Russ.).
9. Prelovskaya, S.E. (2017) [Improving the design methodology of road networks in Russian cities]. *Sovershenstvovaniye metodik i proyektirovaniya ulichno-dorozhnykh setey rossiyskikh gorodov* [News of higher educational institutions. Construction.]. Vol. 9, pp. 109-116. (In Russ.).
10. Prelovskaya, S.E. (2017) [Transport planning in Russian cities: prospects for updating the classification and approach to the design of city streets]. *Transportnoye planirovaniye v rossiyskikh gorodakh: perspektivy aktualizatsii klassifikatsii podkhoda k proyektirovaniyu gorodskikh hulis* [Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University]. Vol. 6, pp. 113-119. (In Russ.).
11. Shabalin, I.V. (2014) [Crossroads traffic hazard assessment as a basis for analyzing the effectiveness of a traffic management scheme]. *Otsenka transportnoy opasnosti perekrestka kak osnova dlya analiza effektivnosti skhemy organizatsii dorozhnogo dvizheniya* [Problems of the functioning the transport systems: Materials of an All-Russian scientific-practical conference with international participation]. Tyumen, pp. 368-373. (In Russ.).
12. Sharov, M.I. (2016) [Unification of methods for assessing the quality of designing street-road networks, the quality of traffic management and evaluating the results of transport modeling]. *Unifikatsiya metodov otsenki kachestva proyektirovaniya ulichno-dorozhnykh setey, kachestva organizatsii dorozhnogo dvizheniya i otsenki rezul'tatov transportnogo modelirovaniya* [Transport planning and modeling: proceedings of an international scientific and practical conference.]. St. Petersburg, pp. 96-100. (In Russ.).
13. Ertman, S.A. (2015) [Assessment of the optimization efficiency of traffic management at the street intersection with intensive traffic flows]. *Otsenka effektivnosti optimizatsii organizatsii dorozhnogo dvizheniya na peresechenii ulits s intensivnym dvizheniyem* [Scientific-technical bulletin of the Volga region]. Vol. 6, pp. 219-222. (In Russ.).
14. Wanjing Ma. (2017) Increasing the capacity of signalized intersections with left-turn waiting areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Vol. 105, pp. 181-196. (In Engl.)

15. Xinguo Jiang (2016) Safety evaluation of signalized intersections with left-turn waiting area in China. *Accident Analysis & Prevention*. Vol. 95, pp 461-469. (In Engl.).

Информация об авторах:

Сергей Александрович Эртман, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Researcher ID: AAC-3912-2019, **Scopus Author ID:** 57090336900

e-mail: ertmansa@tyuiu.ru

Юлия Александровна Эртман, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Scopus Author ID: 57090974400

e-mail: ertmanja@tyuiu.ru

Георгий Николаевич Морозов, аспирант, направление подготовки 23.06.01. Технология транспортных процессов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

e-mail: goga.post@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 22.10.2019; принята в печать 29.11.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Sergey Aleksandrovich Ertman, Candidate of Technical Sciences, Assistant professor of the motor transport operation department, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Researcher ID: AAC-3912-2019, **Scopus Author ID:** 57090336900

e-mail: ertmansa@tyuiu.ru

Julia Aleksandrovna Ertman, Candidate of Technical Sciences, Assistant professor of the motor transport operation department, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Scopus Author ID: 57090974400

e-mail: ertmanja@tyuiu.ru

Georgy Nikolaevich Morozov, postgraduate student, training direction 23.06.01. Technology of transport processes, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

e-mail: goga.post@yandex.ru

The paper was submitted: 22.10.2019.

Accepted for publication: 29.11.2019.

The authors have read and approved the final manuscript.