

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ RAMP METERING НА ДВУХУРОВНЕВЫХ РАЗВЯЗКАХ

А.Н. Новиков¹, И.А. Новиков², А.Г. Шевцова^{2*}, А.Г. Бурлуцкая²

¹Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева,
г. Орел, Россия;

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия

*shevcova-anastasiya@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена исследованию метода повышения пропускной способности на транспортных развязках, обеспечивающих въезд в города, на примере г. Белгорода путем внедрения системы светофорного регулирования Ramp metering. Исследованы 4 транспортные развязки на подъездах в областной центр, проведена оценка геометрических параметров съездов. На основании анализа геометрических параметров, расчетов параметров интенсивности и временных задержек выбран оптимальный участок для внедрения системы Ramp metering.

Методы и материалы. Основное внимание уделено использованию интеллектуальных транспортных систем при организации движения в города и городские агломерации. Применение данных систем на транспортных развязках позволяет минимизировать задержки транспортных средств, что является достаточно актуальным методом организации дорожного движения в пиковые периоды и способствует снижению аварийности за счет использования интеллектуального аппарата управления движением транспортных потоков.

Результаты. Авторами разработан подход к использованию интеллектуальных транспортных систем на въездных участках в города и городские агломерации с учетом изменения основных параметров транспортного потока и геометрических параметров транспортных развязок.

Заключение. Сделан вывод о необходимости использования интеллектуальных транспортных систем путем внедрения системы Ramp metering, а также исследования изменения основных параметров транспортного потока и геометрических характеристик городских транспортных развязок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: организация дорожного движения, транспортная развязка, светофорное регулирование, Ramp metering, интенсивность.

© А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова, А.Г. Бурлуцкая



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

USE OF THE RAMP METERING SYSTEM AT TWO-LEVEL JUNCTIONS

A.N. Novikov¹, I.A. Novikov², A.G. Shevtsova^{2*}, A.G. Burlutskaya²

¹Orel State University named after I. S. Turgeneva,
Orel, Russia

²Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhova,
Belgorod, Russia

*shevcova-anastasiya@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The paper describes the method of increasing the capacity of transport interchanges, providing entry into the city, on the example of Belgorod and through the introduction of traffic light control system - Ramp metering. The authors investigate 4 transport interchanges at the entrances to the regional center and evaluate geometric parameters of the congresses. Moreover, the authors select the optimal site for the implementation of the Ramp measuring system, basing on the analysis of geometric parameters and calculations of intensity parameters and time delays.

Methods and materials. The use of intelligent transport systems in cities and urban agglomerations traffic management allows minimizing vehicles delays and such method is quite topical for traffic organization at peak times and reduction of accidents through the use of intelligent machine control of the vehicle flows.

Results. The authors develop the approach to the intelligent transport systems' usage at the entrance areas to the cities and urban agglomerations, which takes into account changes in the basic parameters of traffic flow and geometric parameters of transport interchanges.

Conclusion. As a result, it is necessary to use intelligent transport systems through the introduction of Ramp measuring system, as well as through the study of changes in the basic parameters of traffic flow and geometric characteristics of urban transport interchanges

KEYWORDS: traffic management, traffic interchange, traffic light regulation, Ramp metering, intensity

© A.N. Novikov, I.A. Novikov, A.G. Shevtsova, A.G. Burlutskaya



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Возникновение заторов на транспортных развязках при въездах в город является распространенной ситуацией, особенно в часы пик. Пропускная способность участков дорожной сети значительно уменьшается. Сегодня с целью улучшения транспортных процессов используются различного рода продукты моделирования и происходит внедрение интеллектуальных транспортных систем^{1 2} [1, 2]. Необходимо осуществлять воздействие на транспортный поток, управляя съездами, при помощи технических средств организации движения (светофорное регулирование, дорожные знаки, ТПИ), с целью регулирования количества транспортных средств, въезжающих на автомагистраль или покидающих ее [3, 4].

Методы управления съездами призваны поддерживать баланс между пропускной способностью автомагистрали и спросом на нее путем поддержания оптимального функционирования автомагистрали. Управление съездами применяется в целях регулирования проезда по конкретной рампе, к примеру ввод частичного ограничения на проезд (по расписанию) или, возможно, постоянного ограничения. Данная мера регулирования в значительной мере снижает или даже в автомагистраль. С другой стороны, управление съездами обеспечивает плавное слияние потоков в конфликтных точках. Управление съездами влияет на характер движения транспортных средств, вливающих в поток. Методы управления съездами используют для упорядочивания темпа, с которым автомобили въезжают на магистраль.

Различают 4 стратегии управления съездами:

- ограничение доступа на съезд: временный или постоянный;
- управление съездами при помощи светофорного объекта (Ramp metering) [5, 6, 7, 8];
- создание приоритетов движения особой группы автомобилей;
- организация управления очередями транспортных средств на рампе.

Стратегия светофорного управления съездами хорошо зарекомендовала себя на транспортных развязках и на въездах в города. Наличие светофорного объекта оптимально

поддерживает параметры движения на съезде для более плавного и беспрепятственного слияния потоков. Достигается это путем равномерно сменяющихся фаз регулирования и очередности пропуска транспортных средств со съезда. Регулирование съезда также обеспечивает разбивание плотных групп автотранспортных средств, которые приближаются к автострате, на отдельные автомобили, позволяя тем самым избегать беспорядка в точках слияния.

Управление съездами при помощи светофорного объекта Ramp metering – «система контроля въезда на автостраду» – является эффективным методом организации дорожного движения во многих странах мира. Применяется данная система на двухуровневых развязках в условиях, когда менее интенсивный поток транспортных средств покидает по поворотному съезду одну магистраль и пытается вклиниться в движение на другой магистрали.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В Белгородской области уровень автомобилизации можно сравнить с уровнем Московской области (314 против 347)³, учитывая тот факт, что общая протяженность дорог в Белгородской области меньше в 3 раза⁴. На крупных городских магистралях в часы пик производительность улично-дорожной сети (УДС) значительно снижается на отдельных участках, такими участками, как правило, являются магистрали, ведущие из пригородных зон в центр города, где самый высокий спрос. В целях увеличения производительности дорожной сети на въезды в города организуют двухуровневые развязки с рамповыми съездами. С целью увеличения пропускной способности в г. Белгороде планируется внедрение системы Ramp metering на двухуровневых развязках при въездах в город.

На подъездах к областному центру имеются 4 двухуровневые транспортные развязки с улицами, ведущими в город (рисунок 1):

- 1) полноклеверная развязка в п. Разумное;
- 2) полноклеверная развязка в микрорайоне Новосадовый;
- 3) трубовидная развязка в п. Северный;
- 4) полноклеверная развязка на пересечении трассы М-2 Крым и безымянной дороги.

¹ Витвицкий Е.Е. Моделирование транспортных процессов : учебное пособие. Омск, 2017.

² Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы : учебное пособие. М., 2016.

³ Официальный сайт ГИБДД. Режим доступа: <http://stat.gibdd.ru/>

⁴ Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/transport/

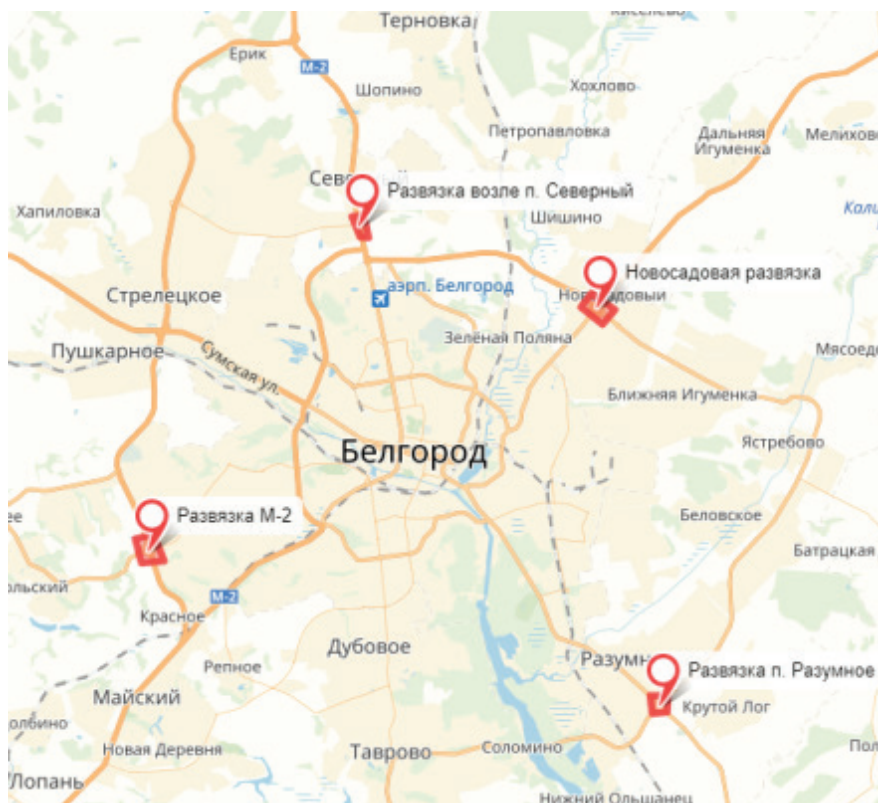


Рисунок 1 – Локализация исследуемых участков

Figure 1 – Localization of the research areas

Для целесообразного внедрения предлагаемого метода организации движения Ramp metering на исследуемых участках в первую очередь необходимо оценить геометрические параметры рассматриваемых съездов и сравнить эти параметры с рекомендуемыми.

К основным геометрическим критериям относятся:

- 1) радиус кривизны поворота, м;
- 2) вместимость ramпы, авт.;
- 3) протяженность дистанции разгона, м;
- 4) дистанция слияния потоков, м;
- 5) ширина проезжей части в точке слияния ramпы и автомагистрали, м.

Рассмотрим геометрические параметры каждого из исследуемых участков. Развязка в п. Разумное сконструирована по типу клеверного листа (рисунок 2). Развязка в микрорайоне Новосадовый также имеет конфигурацию полного клеверного листа (рисунок 3).

Развязка в п. Разумное имеет 2 съезда, ведущих в город, на которых теоретически можно разместить светофорное регулирование. Ширина внешней ramпы в точке слияния – 3,5 м, внутренней – 4,8 м. Кривизна съездов, ве-

дущих в сторону ул. Корочанская и далее в город: внешнего – 600 м, клеверного листа – 50 м. Протяженность внешнего правоповоротного съезда составляет 470 м, а клеверного листа – 255 м. Это значит, что теоретически максимальное количество легковых автотранспортных средств, которые могут содержаться в пределах съезда, составляет 94 и 55 единиц соответственно. Протяженность дистанции разгона клеверного листа – 130 м, внешнего съезда – 200 м. Протяженность дистанции слияния внешнего съезда – 90 м, клеверного листа – 100 м.

Развязка в микрорайоне Новосадовый имеет 2 съезда, ведущих в город. Радиус кривизны клеверного листа составляет 50 м, длина окружности – 212 м. Таким образом, вместимость клеверного листа приблизительно 42 легковых автомобиля. Протяженность дистанции разгона на клеверном листе крайне мала – 33 м. Радиус кривизны внешнего съезда составляет примерно 1100 м, протяженность съезда – 576 м, следовательно, вместимость съезда будет 115 легковых автомобилей. Протяженность дистанции разгона составляет 75 м.



Рисунок 2 – Полноклеверная развязка в п. Разумное

Figure 2 – Cloverleaf interchange in Razumnoe



Рисунок 3 – Полноклеверная развязка в микрорайоне Новосадовый

Figure 3 – Cloverleaf junction in Novosadov district



Рисунок 4 – Трубовидная развязка в п. Северный

Figure 4 – Tube junction in Severny



Рисунок 5 – Клеверная развязка с трассой М-2

Figure 5 – Cloverleaf junction with the M-2 route

Ширина внешней ramпы в точке слияния – 4,6 м, внутренней – 4,8 м.

Третья развязка, ведущая в город, – трубовидная развязка в п. Северный (рисунок 4). Четвертая исследуемая транспортная развязка, обеспечивающая пересечение трассы М-2 и автомобильной дороги, ведущей в город, относится к развязкам клеверного типа (рисунок 5).

На развязке в п. Северный пересекаются четырехполосная шоссейная и двухполосная автодорога. В город ведёт один рамповый съезд. Его ширина составляет 3,6 м, радиус кривизны – 260 м, протяженность – 230 м. Данный участок обладает достаточно длинной дистанцией разгона – 200 м. Рампа способна

вместить приблизительно 46 автомобилей. В пределах съезда имеется пешеходный переход, но данный участок не характеризуется высоким пешеходным потоком. Рампа имеет ответвление, которое ведёт на парковку промышленного парка и далее, после окончания парковки дорога снова вливается в основной поток на трассу.

На клеверной развязке с трассой М-2 в город ведут два съезда. Радиус кривизны клеверного листа – 60 м, длина окружности – 292 м. Клеверный лист способен содержать очередь из 58 автомобилей. Дистанция для разгона на выходе с ramпы небольшая – всего около 40 м. Кривизна внешнего съезда состав-

ляет около 1000 м. Протяженность рампы – 400 м, что позволяет вместить 80 легковых автомобилей. Протяженность дистанции разгона – около 200 м. Ширина внешней и внутренней рамп – 3,5 м.

Так как в Российской Федерации регулирование съездов методом Ramp metering не применяется, нормативных документов и требований к ней не существует. Воспользуемся рекомендациями и источниками зарубежных стран по геометрии рампы для комфортного слияния потоков.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Используя рекомендации зарубежных специалистов, входные рампы можно разделить на 2 вида: 1 – с конусообразной полосой слияния; 2 – с обустроенной параллельной переходно-скоростной полосой (рисунок 6) [9, 10, 11].

Согласно анализу зарубежных исследований, установлено, что к каждому типу вводных рамп предъявляются свои требования. Для реализации системы Ramp metering необходимыми для исследования характеристиками являются: ширина проезжей части, дистанция разгона, дистанция слияния потоков, радиус кривизны и протяженность рампы [5, 6, 7]. На основании рекомендованных показателей, по-

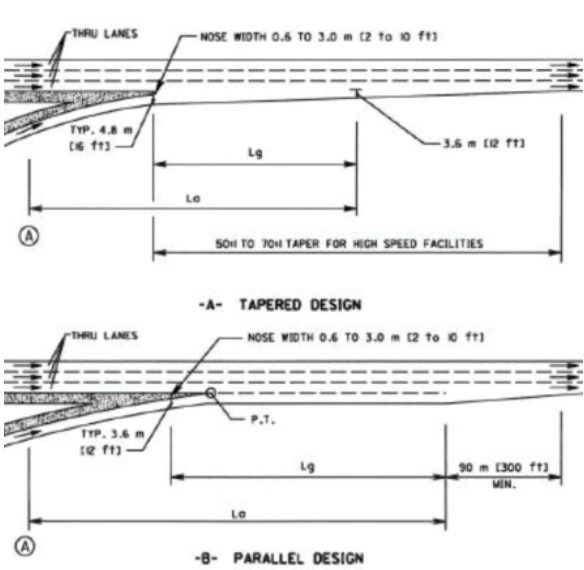


Рисунок 6 – Тип входных рамп: А – конусообразная; В – параллельная

Figure 6 – Input ramp type: A – cone-shaped; B – parallel

лученных по результатам исследования профессора Mike McDonald [6], будет проводиться оценка пригодности исследуемых участков для реализации в их границах системы Ramp metering. Сведем геометрические характеристики и параметры рамп в таблицу 1 и сравним их с рекомендуемыми параметрами.

Таблица 1
Сравнение геометрических параметров рамп с рекомендуемыми

Table 1
Comparison of the geometric ramp parameters with the recommended ones

Транспортная развязка	Рассматриваемый съезд и его тип	Характеристики				
		Ширина проезжей части, м	Дистанция разгона, м	Дистанция слияния потоков, м	Радиус кривизны, м	Протяженность рампы, м
		Рекомендуемые				
		4,8/3,6	60-200	90-150	≥300	-
П. Разумное	Внешний конусообразный	3,5	200	90	600	470
	Внутренний параллельный	4,8	130	100	50	255
Мкр. Новосадовый	Внешний конусообразный	4,6	75	-	1100	576
	Внутренний конусообразный	4,5	33	-	50	212
П. Северный	Внешний параллельный	3,6	200	150	260	230
Развязка с М-2	Внешний параллельный	3,5	200	150	1000	400
	Внутренний конусообразный	3,5	40	-	60	292

Красным цветом отмечены параметры, которые отклоняются более 5% от рекомендательных показателей [6]. В колонке с рекомендуемым значением ширины проезжей части в числителе указаны значения для рампы с полосой слияния конусного типа, а в знаменателе – для параллельного. Диапазон рекомендуемой дистанции разгона выбран исходя из возможности для водителя разогнаться с неподвижного состояния до скоростей 30–60 км/ч. Специалисты США рекомендуют устраивать рампы так, чтобы радиус кривизны составлял не менее 300 м [6]. Связано это с тенденцией водителей игнорировать полосу разгона и въезжать в основной поток в нежелательном месте. В России для плавного слияния полос устраивают переходные кривые. Поэтому небольшое несоответствие радиуса кривизны рекомендуемому значению не является критичным. Пригодность длины рампы на данном этапе трудно оценить, т.к. она зависит от интенсивности движения и необходимой дистанции разгона.

Сравнив геометрические параметры рампы каждого из участков, пришли к выводу, что внутренние рампы на развязках клеверного типа малопригодны для реализации данной системы из-за слишком крутых поворотов и маленькой дистанции для разгона транспортных средств. Внешние съезды обладают большим радиусом кривизны, являются более вместительными и располагают, как правило, длинной полосой для разгона (свыше 100 м), что соответствует рекомендациям. Клеверная развязка с трассой М-2 соответствует большинству остальных требований, однако важным показателем является интенсивность движения в пределах транспортной развязки. Развязка в п. Северный расположена ближе к городу, чем развязка с М-2. Кроме этого, автомагистраль переходит в одну из самых крупных и важных центральных улиц города – пр. Богдана Хмельницкого. Её радиус кривизны ниже рекомендуемого на 14%, но это не является критичным недостатком. Рампа обладает достаточно длинной и удобной параллельной полосой разгона. Кроме этого, на ней гораздо проще организовать исследование параметров транспортного потока. Таким образом, наиболее оптимальным участком для введения системы светофорного регулирования является трубчатая развязка в п. Северный.

При помощи натурных исследований определим такие параметры, как интенсивность транспортного потока и временные задержки. Необходимо определить пиковые значения интенсивности движения в сторону областного центра в исследуемых пунктах участка дорожной сети (рисунок 7).

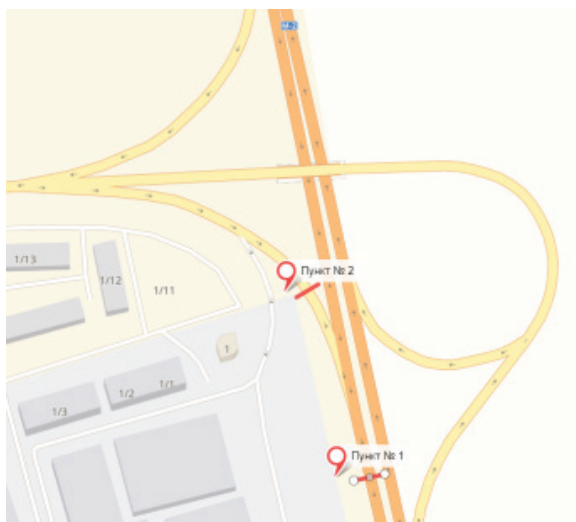


Рисунок 7 – Схема расположения стационарных пунктов на трубчатой развязке в п. Северный

Figure 7 – Scheme of the stationary point's location on the tube junction in Severny

На стационарных постах исследовали интенсивность движения по 6-минутным интервалам в течение часа с целью определения уровня загрузки на автомагистрали, в пункте №1 – на подъезде к пересечению с рампой (рисунок 8), в пункте №2 – интенсивность на рампе (рисунок 9).

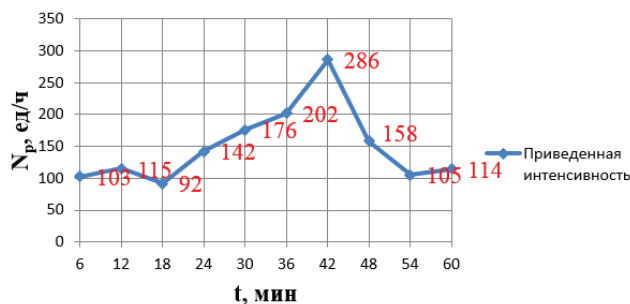


Рисунок 8 – Приведенная интенсивность в час пик на автомагистрали на выходе из зоны пересечения

Figure 8 – Intensity on the intersection exit of the motorway while rush hour

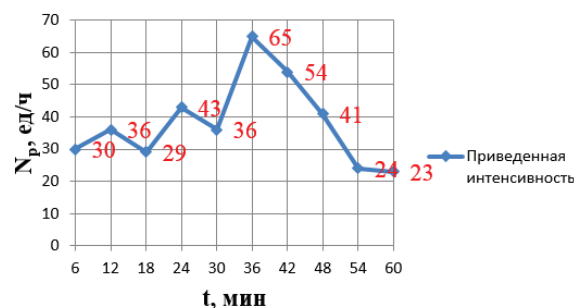


Рисунок 9 – Приведенная интенсивность в час пик на рампе

Figure 9 – Intensity on the ramp while rush hour

Чтобы оценить пропускную способность, исследуемый участок магистрали поделим на две зоны (рисунок 10). Первая зона L_1 расположена перед пересечением съезда и магистрали, вторая L_2 – на выходе из зоны пересечения. Предполагается, что в зоне пересечения пропускная способность снижается.

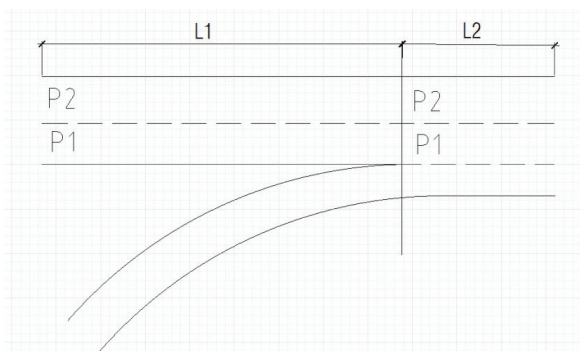


Рисунок 10 – Схема участка автомобильной дороги

Figure 10 – Road section scheme

В качестве исходных данных возьмем магистральную улицу с дорогой II категории по 2 полосы в каждую сторону движения, продольные уклоны и кривые в плане отсутствуют, доля маршрутного транспорта в общем потоке приблизительно 0,03, ширина остановочной полосы на участке L_1 соответствует нормам ВСН (не менее 2,5 м)⁵. На участке L_2 происходит сужение остановочной полосы, сопряжение съезда и магистральной улицы оборудовано переходно-скоростной полосой без разделительной полосы. Предполагается, что съезд не влияет на пропускную способность участка L_1 . Согласно рекомендациям ОДМ 218.2.020–2012⁶, оценку пропускной способности четырехполосной дороги следует проводить отдельно по каждой полосе, т.к. распределение потока по полосам неравномерное.

Суммарная пропускная способность

$$P_{\text{общ}}^L = P_1^L + P_2^L, \quad (1)$$

где $P_{\text{общ}}^L$ – общая пропускная способность, авт./ч; P_1^L – пропускная способность на правой полосе на участке L , авт./ч; P_2^L – пропускная способность на левой полосе на участке L , авт./ч.

Пропускная способность на отдельной полосе — это произведение максимальной пропускной способности идеального потока насыщения и частных коэффициентов

$$P^L = P_{\text{max}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_4 \cdot \beta_5, \quad (2)$$

где P_{max} – максимальная пропускная способность полосы движения, легковых авт./ч; β_1 – коэффициент, характеризующий влияние планировки транспортных развязок; β_2 – коэффициент, учитывающий величину радиуса кривой в плане; β_3 – коэффициент, учитывающий продольный уклон и длину подъема; β_4 – коэффициент, учитывающий наличие остановочной полосы; β_5 – коэффициент, учитывающий интенсивность маршрутного транспорта.

Оценим пропускную способность участка L_1 , значение P_{max} принимается согласно рекомендательным таблицам ОДМ⁷ и равно 2200 легковых авт./ч. Следовательно, пропускная способность полос и суммарное значение будут составлять

$$P_1^{L1} = 2200 \cdot 0,88 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1936 \text{ авт./ч};$$

$$P_2^{L1} = 2200 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2156 \text{ авт./ч};$$

$$P_{\text{общ}}^{L1} = 1980 + 2178 = 4092 \text{ авт./ч}.$$

Проведём аналогичные расчёты для участка L_2 :

$$P_1^{L2} = 2200 \cdot 0,83 \cdot 0,95 \cdot 0,92 \cdot 1 \cdot 1 = 1595 \text{ авт./ч};$$

$$P_2^{L2} = 2200 \cdot 0,90 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1881 \text{ авт./ч};$$

$$P_{\text{общ}}^{L2} = 1595 + 1881 = 3476 \text{ авт./ч}.$$

Выразим пропускную способность в физических единицах по формуле

$$P_{\Phi} = \frac{P_{\text{общ}}^L}{\sum_1^j (f_{cj} \cdot n_j)}, \quad (3)$$

где f_{cj} – коэффициент приведения для j -го типа транспортного средства; n_j – количество транспортных средств j -го типа, выраженное в долях единицы.

⁵ ВСН 103–74. Технические указания по проектированию пересечений и примыканий автомобильных дорог.

⁶ ОДМ 218.2.020–2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог.

⁷ Там же.

Учитывая, что состав транспортного потока меняется на участках L_1 и L_2 незначительно, а грузовой транспорт практически не встречается, получаем

$$P_{\Phi}^{L1} = \frac{4092}{\sum_1^j (0,95 \cdot 1 + 0,05 \cdot 3)} = 3720 \frac{\text{ед.}}{\text{ч}};$$

$$P_{\Phi}^{L2} = \frac{3476}{\sum_1^j (0,95 \cdot 1 + 0,05 \cdot 3)} = 3160 \frac{\text{ед.}}{\text{ч}}.$$

Уровень загрузки будет равен

$$Z_{L1} = \frac{1112}{3720} = 0,29;$$

$$Z_{L2} = \frac{1493}{3160} = 0,47.$$

На основании полученных результатов составим линейный график пропускной способности и коэффициента загрузки (рисунки 11,12). В зоне пересечения пропускная способность снижается на 560 ед./ч, это обусловлено потоком автомобилей, съезжающих по рампе и вливающих в транспортный поток. Уровень загрузки соответствует категории С: автомобили движутся большими группами, обгоны затруднены. Дальнейший рост интенсивности приводит к росту ДТП.

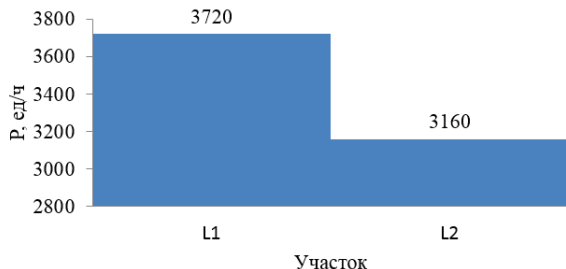


Рисунок 11 – Пропускная способность на участках L_1 и L_2

Figure 11 – Traffic capacity of the L_1 and L_2 sections

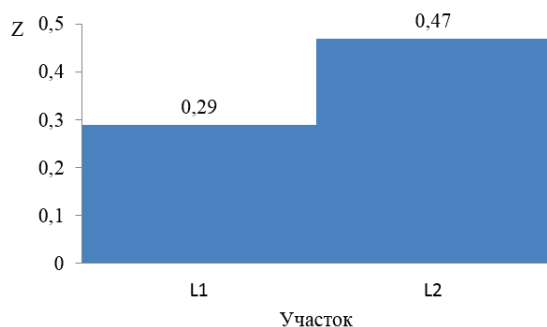


Рисунок 12 – Уровень загрузки на участках L_1 и L_2

Figure 12 – Load level of the L_1 and L_2 sections

Оценим пропускную способность на рампе по формуле

$$P_c = P_{\max} \cdot \beta, \quad (4)$$

где P_c – пропускная способность рампы, лег. авт./ч; – произведение частных коэффициентов.

Пропускная способность рампы

$$P_c = 1800 \cdot 0,96 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,91 = 792 \text{ авт./ч.}$$

С учётом незначительного числа автобусов в составе потока на рампе пропускная способность в физических единицах составит

$$P_{\Phi}^P = \frac{792}{\sum_1^j (0,97 \cdot 1 + 0,03 \cdot 2)} = 769 \text{ ед./ч.}$$

Транспортные задержки на рампе и магистральной улице оценивались по экспериментальному методу. Временные задержки в час пик на рампе и магистрали сведены в таблицу 2.

Рассчитав такие параметры, как интенсивность и временные задержки, проанализировав геометрические параметры исследуемого участка, мы пришли к выводу, что внедрение на транспортной развязке светофорного регулирования в п. Северный является одним из рациональных способов организации дорожного движения. Следующим этапом исследования является непосредственно установка системы Ramp metering на исследуемом участке УДС.

ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем внедрить систему регулирования съезда, необходимо определить алгоритм работы светофорного объекта. Для данного участка УДС подходит локальный алгоритм ALINEA, так как на участке отсутствуют иные рампы, конфигурация такой транспортной развязки не приведет к замыканию потоков и данный алгоритм является адаптивным [12]. Настроим параметры для данного алгоритма: расположение детектора транспорта на выходе из зоны слияния потоков от 40 м до 500 м; корректирующий параметр K_R ; оптимальный уровень загрузки $O_{\text{опт}}$; время цикла от 40 с до 5 мин.

Определив уровни загрузки в течение исследуемого промежутка времени, получили оптимальную загруженность $O_{\text{опт}} = 0,31$. Зная показатели приведенной интенсивности и уровень загрузки, нашли значение параметра регулирования – темп, с которым транспортные

Таблица 2
Временные задержки на рампе и магистрали

Table 2
Time delays on ramp and motorway

Время наблюдения	Число автомобилей, стоящих на данном подходе к перекрестку в указанные моменты времени, с				Общее число автомобилей, проследовавших через перекресток
	0	15	30	45	
Временные задержки на рампе					
1-я минута	10	7	5	6	28
2-я минута	0	6	11	8	16
3-я минута	9	17	16	20	4
4-я минута	17	15	18	21	4
5-я минута	19	23	20	19	2
Всего	267				54
Временные задержки на магистрали					
1-я минута	34	31	35	30	32
2-я минута	0	45	29	37	30
3-я минута	40	59	0	0	86
4-я минута	54	48	37	0	27
5-я минута	73	0	0	78	63
Всего	630				238

средства выпускаются на магистраль (таблица 3):

$$r(k) = r(k - 1) + K_R \cdot [O_{\text{опт}} - O_{k-1}], \quad (5)$$

где $r(k)$ – параметр регулирования в момент времени k , ед/мин; R_t – параметр регулирования в предыдущий момент времени $k-1$, ед/мин; K_R – корректирующий параметр регули-

рования, ед./мин; $O_{\text{опт}}$ – оптимальный уровень загрузки дороги; O_{t+1} – уровень загрузки в момент времени $t+1$.

Сниженная интенсивность движения на рампе приводит к общему снижению загрузки на магистрали. Алгоритм удерживает уровень загрузки на оптимальном уровне. Суммарная загрузка за час снизилась на 10% (рисунок 13).

Таблица 3
Параметры регулирования

Table 3
Control parameters

Промежуток времени k	Приведенная интенсивность, ед./6 мин	Существующий уровень загрузки $O_{(k-1)}$	Параметр регулирования $r(k)$, ед./6 мин
1	103	0,33	22
2	115	0,36	22
3	92	0,29	22
4	142	0,45	21
5	176	0,56	19
6	202	0,64	17
7	286	0,91	13
8	158	0,50	11
9	105	0,33	11
10	114	0,36	11

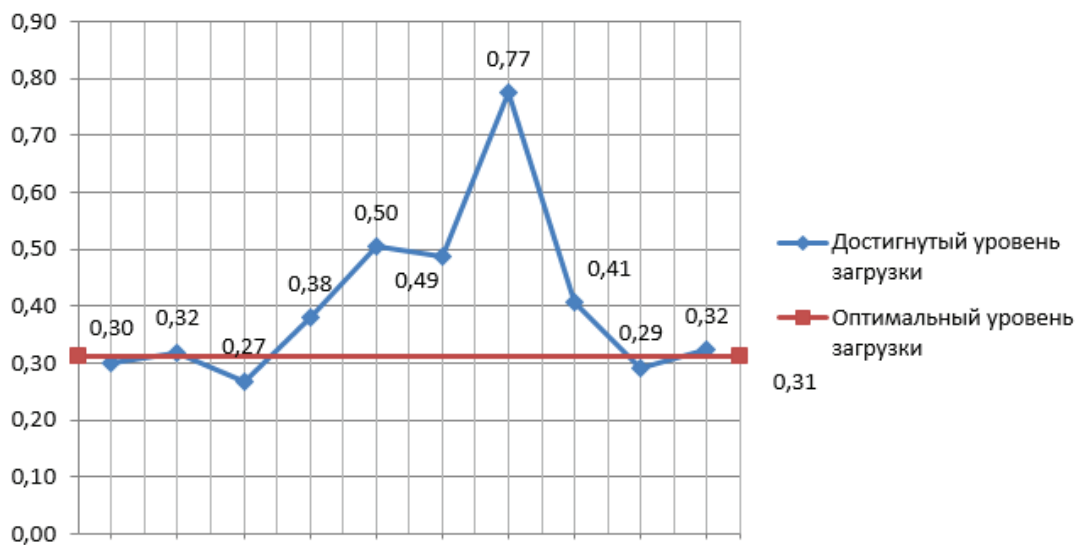


Рисунок 13 – Достигнутый и оптимальный уровни загрузки участка

Figure 13 – Achieved and optimum level of the traffic capacity

Интенсивность движения для рампы устанавливает параметр $r(k)$ на основании уровня загрузки магистрали, которая реализуется при помощи светофорного регулирования. Так как на съезде отсутствует светофорное регулирование, то примем поток насыщения S , равный пропускной способности на съезде P_C , ($S = P_C = 769$ ед/ч), а длительность зеленого сигнала светофора при длительности цикла 60 с рассчитывается по формуле

$$g = \frac{r(k)}{S} \cdot T_{\text{ц}}, \quad (6)$$

где g – длительность зеленого сигнала светофора, с; S – поток насыщения на рампе, авт/ч; $T_{\text{ц}}$ – длительность цикла, с.

Зеленый сигнал светофора должен включаться в тот момент времени, когда в правой полосе магистрального потока образуется разрыв (рисунок 14). Для обнаружения разрывов предлагается использовать алгоритм на основании условия обеспечения двойного динамического габарита по формуле⁸

$$L_d = l_a + v_a t_p + 0,03 v_a^2 + 1, \quad (7)$$

где l_a – длина автомобиля, м; v_a – скорость автомобиля, м/с; t_p – время реакции водителя, с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании всех расчетов составляется алгоритм поиска разрыва в потоке и устанавливается пропускная часть цикла регулирования (рисунок 15). Данным способом достигается разбиение группы транспортных средств на одиночные, тем самым повышая безопасность слияния потоков.

Установка данного светофорного объекта производится в соответствии с ГОСТ Р 52289–2004⁹. Шкаф контроллера следует размещать таким образом, чтобы исключить возможность столкновения с ним автомобиля, вышедшего за пределы проезжей части, а также обеспечить безопасный доступ персонала к нему. Не рекомендуется размещать шкаф в зоне между съездом и магистралью, а также на острове безопасности. Размещать детекторы

⁸ Шевцова А.Г. Совершенствование организации дорожного движения на основе рационального управления светофорным объектом : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Гос. ун-т - учебно-научно-произв. комплекс. Орел, 2015.

⁹ Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 52289–2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2004 г. № 120-ст) (с изменениями и дополнениями).

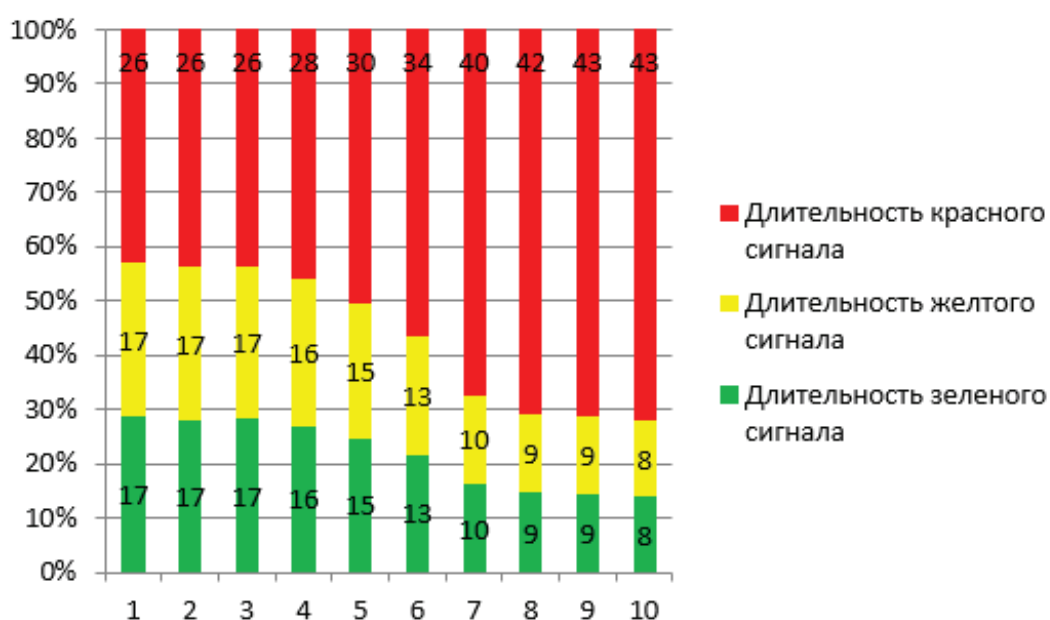


Рисунок 14 – Суммарная длительность основных тактов

Figure 14 – Total duration of the main cycles

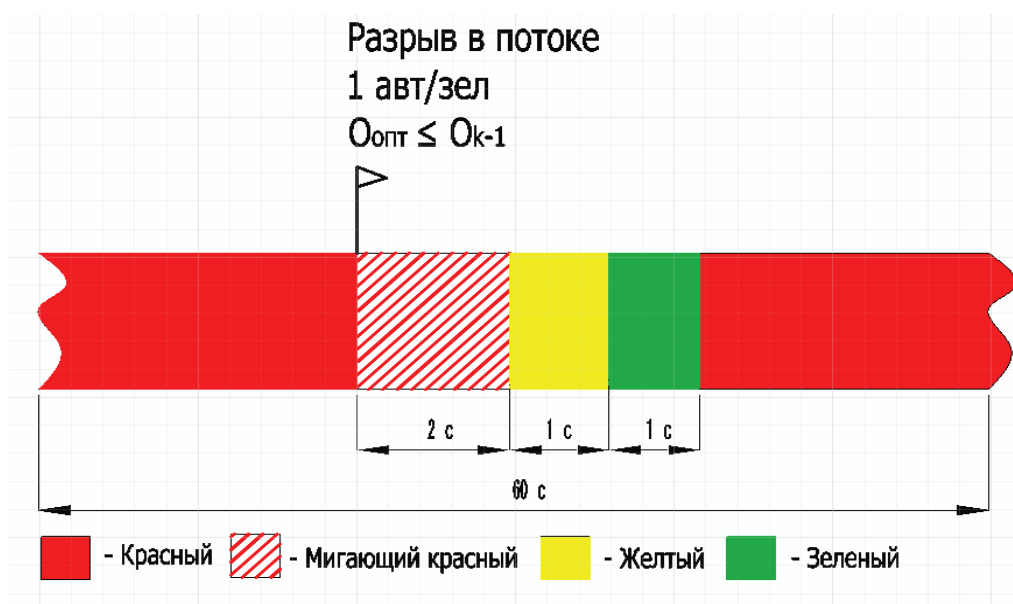


Рисунок 15 – Пропускная часть цикла регулирования

Figure 15 – Flow part of the control cycle

транспорта следует на магистральной дороге на расстоянии 40–500 м от «носа» съезда. На каждой полосе магистрали должно располагаться по 2 индуктивных детектора транспорта. Расстояние между ними должно быть 6 м от края до края.

Внедрив на участок светофорное регулирование под управлением алгоритма с обратной связью, существующая загрузка снизится на 10%. Средняя временная задержка одного транспортного средства на рампе увеличится на 27% (. В результате увеличения времени ожидания автомобилей на съезде и обеспечения их плавного слияния транспортные задержки на магистрали снизятся на 48% ().

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffic lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffic flows within intellectual transport systems (ITS) / *Transportation Research Procedia* 2017. С. 455–462.

2. Vlasov V.M., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Definition of perspective scheme of organization of traffic using methods of forecasting and modeling / *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 11. Ser. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 – Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment" 2018. С. 42–116.

3. Тур А.А., Жанказиев С.В. Практика применения дорожных информационных табло в мире // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2011. № 2 (25). С. 64–68.

4. Шевцова А.Г., Мочалина Ю.А. Обзор новых технических средств организации дорожного движения // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2015. Т. 2. № 2. С. 672–677.

5. Bellemans T., De Moor B., De Schutter B. Model predictive control for ramp metering of motorway traffic a case study. *Control Engineering Practice*. 2006. Т. 14. № 7. С. 757–767.

6. Zheng P., McDonald M. Evaluation of effects of ramp metering on merging operations.

Transportation Research Record. 2007. № 2012. С. 105–112.

7. Meng Q., Khoo H.L. A pareto-optimization approach for a fair ramp metering. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2010. Т. 18. № 4. С. 489–506.

8. Горелов А.М., Власов А.А. Управление въездами на автомобильных магистралях // Наука и техника в дорожной отрасли. 2015. № 1 (71). С. 15–17.

9. Kerner B.S. On-Ramp metering based on three-phase traffic theory. *Traffic Engineering and Control*. 2007. Т. 48, № 1. С. 28–35.

10. Kerner B.S. On-Ramp metering based on three-phase traffic theory - part II. *Traffic Engineering and Control*. 2007. Т. 48, № 2. С. 68–75.

11. Kerner B.S. On-Ramp metering based on three-phase traffic theory - part III. *Traffic Engineering and Control*. 2007. Т. 48, № 3. С. 114–120.

12. Abdel-Aty, M., Dhindsa, A., Gayah, V., 2007. Considering various ALINEA ramp metering strategies for crash risk mitigation on freeways under congested regime. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 15 (2), 113–134.

REFERENCES

1. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffic lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffic flows within intellectual transport systems (ITS) / *Transportation Research Procedia* 2017; pp. 455–462.

2. Vlasov V.M., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Definition of perspective scheme of organization of traffic using methods of forecasting and modeling / *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 11. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 – Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment" 2018; pp. 42–116.

3. Tur A.A., Zhankaziev S.V. Praktika primeneniya dorozhnykh informatsionnykh tablo v mire [The practice of using road signs in the world]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*, 2011; 2 (25): 64–68.

4. Shevcova A.G., Mochalina Ju.A. Obzor novykh tekhnicheskikh sredstv organizatsii

dorozhnogo dvi-zheniya [Review of new technical means of traffi management]. *Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tehnologicheskoy komplekse: problemy i perspektivy racional'nogo ispol'zovaniya*, 2015; 2 (2): 672–677.

5. Bellemans T., De Moor B., De Schutter B. Model predictive control for ramp metering of motorway traffic a case study. *Control Engineering Practice*. 2006; 7(14): 757–767.

6. Zheng P., McDonald M. Evaluation of effects of ramp metering on merging operations. *Transportation Research Record*. 2007; 2012: 105–112.

7. Meng Q., Khoo H.L. A pareto-optimization approach for a fair ramp metering. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2010; 4(18): 489–506.

8. Gorelov A.M., Vlasov A.A. Upravlenie v'ezdami na avtomobil'nyh magistral'nykh [Access control on highways]. *Nauka i tehnika v dorozhnoy otrasli*, 2015; 1 (71): 15–17.

9. Kerner B.S. On-Ramp metering based on three-phase traffi theory. *Traffic Engineering and Control*. 2007; 1(48): 28–35.

10. Kerner B.S. On-Ramp metering based on three-phase traffi theory – part II. *Traffic Engineering and Control*. 2007; 2(48): 68–75.

11. Kerner B.S. On-Ramp metering based on three-phase traffi theory – part III. *Traffic Engineering and Control*. 2007; 3(48): 114–120.

12. Abdel-Aty, M., Dhindsa, A., Gayah, V., 2007. Considering various ALINEA ramp metering strategies for crash risk mitigation on freeways under congested regime. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*; 15(2): 113–134.

Поступила 27.02.2019, принята к публикации 12.04.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Новиков Александр Николаевич (г. Орел, Россия) – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Сервис и ремонт машин» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, ORCID ID 0000-0001-5496-4997 (302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95), e-mail: novikovan@ostu.ru

Новиков Иван Алексеевич (г. Белгород, Россия) – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID ID 0000-0001-5322-9640 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В. Г. Шухова), e-mail: ooows@mail.ru

Шевцова Анастасия Геннадьевна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID ID 0000-0001-8973-9271 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В.Г. Шухова), e-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

Бурлуцкая Алина Геннадьевна – магистрант кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID ID 0000-0002-9892-7183 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В. Г. Шухова), e-mail: alinabur1995@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Novikov Alexander Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Machines Service and Repair Department, Orel State University named after I.S. Turgeneva, ORCID ID 0000-0001-5496-4997 (302026, Orel, 95 Komsomolskaya St., e-mail: novikovan@ostu.ru).

Novikov Ivan Alekseevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Traffic Operation and Organization Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova (308012, Belgorod, 46 Kostyukova St., e-mail: ooows@mail.ru).

Shevtsova Anastasia Gennad'evna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Traffic Operation and Organization Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova (308012, Belgorod, 46 Kostyukova St., e-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru).

Burlutskaya Alina Gennad'evna – Master Student of the Traffic Operation and Organization Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova (308012, Belgorod, 46 Kostyukova St., e-mail: alinabur1995@mail.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Новиков А.Н. Выполнение аналитических исследований, постановка цели и задачи исследований, анализ и ознакомление с зарубежным и отечественным опытом.

Новиков И.А. Выбор подхода к интеллектуализации въездных участков, определение системы Ramp metering, определение объектов исследования, основных транспортных и геометрических характеристик.

Шевцова А.Г. Выполнение исследований на реальных объектах, анализ алгоритмов управления интеллектуальными съездами, разработка нового подхода к расчету интеллектуального съезда, с учетом отечественной специфики движения транспортных средств.

Бурлуцкая А.Г. Анализ результатов полученных данных в ходе выполнения натурных исследований.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Novikov A.N. – performing analytical research, setting goals and objectives of research, analysis and familiarization with foreign and domestic experience.

Novikov I.A. – choice of approach to the intellectualization of entry areas, definition of the Ramp metering system, definition of the research objects, main transport and geometric characteristics.

Shevtsova A.G. – performing research on real objects, analyzing algorithms control of intellectual congresses, developing a new approach to calculating an intellectual congress, taking into accounts the domestic specifics of the vehicles movement.

Burlutskaya A.G. – analysis of the data results during the research execution.