

УДК 656.051

И. А. ВИКОВИЧ, доктор технических наук, Р. М. ЗУБАЧИК, инженер ЛКП «Львовавтотор», Национальный университет «Львовская политехника», Украина

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА «СПЕЦИАЛЬНАЯ ПОЛОСА В ЗОНЕ ПЕРЕКРЕСТКА» НА РЕАЛЬНОМ РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ

Рассмотрен модельный эксперимент в среде VISSIM, в процессе которого проводится проверка эффективности метода «специальная полоса в зоне перекрестка» на реальном регулируемом пересечении. Проверка включает оценку эффективности пространственно-временного приоритета и адаптивного управления без обеспечения приоритета на этом перекрестке и их сравнение.

Прогресс автомобилизации способствует увеличению интенсивности транспортных потоков, что в городских условиях приводит к высокому уровню загрузки улиц движением. Перегрузки улично-дорожных сетей движением, в свою очередь, приводят к целому ряду острых проблем социального и экономического характера. Поэтому снижение уровня загрузки уличных сетей в больших и крупных городах является актуальной задачей для подавляющего большинства стран.

Одним из прогрессивных путей снижения их уровня загрузки считается эффективная организация общественного транспорта, что в конечном итоге позволяет сократить объемы пользования индивидуальными автомобилями, которые составляют доминирующую долю в существующих транспортных потоках.

Значительное внимание, которое уделяется развитию наземного общественного транспорта в городах, объясняется тем, что последний позволяет значительно экономнее использовать улично-дорожную сеть и образует меньше выбросов на пассажиро-километр по сравнению с пользователями индивидуальных транспортных средств.

Сегодня в украинских городах распространенными видами пассажирского транспорта для перевозки городского населения являются маршрутные автобусы (троллейбусы). Одним из основных факторов повышения их транспортного обслуживания на улично-дорожной сети города является обеспечение приоритетных условий движения на регулируемых перекрестках, поскольку именно на них возникают наибольшие их задержки.

Все существующие методы, позволяющие обеспечивать приоритетный проезд маршрутным автобусам (далее – автобусам) на регулируемых перекрестках, условно можно разделить на три группы, в частности те, которые обеспечивают приоритет в пространстве, приоритет во времени и пространственно-временной приоритет [1]. Лучших результатов, с точки зрения реализации абсолютного приоритета (проезда без остановки), можно достичь при пространственно-временном приоритете. Элементами пространственно-временного приоритета является выделение или отделение специальных полос на перегонах улиц, которые не прерываются на перекрестках, и соответствующая адаптация алгоритмов управления светофорной сигна-

лизации. К условиям, в которых сложно обеспечить такой приоритет, относят регулируемые перекрестки, подходы которых имеют не более двух полос движения в одном направлении.

Для обеспечения приоритета в таких условиях авторами предложен метод «специальная полоса в зоне перекрестка» [1]. Сущность этого метода заключается в создании в определенном направлении дополнительного уширения на подходе к перекрестку и после него, а также обустройство на этих расширениях, включая участок на площади перекрестка между ними, специальной полосы для движения приоритетного транспорта. Создание такого пространственного «коридора» в зоне перекрестка обеспечивает свободный доступ к стоп-линии и доминирующее положение в пространстве на проезжей части, при этом не уменьшая количество полос на его подходе для неприоритетного транспорта.

Приоритетной проезд площади перекрестка реализуется, прежде всего, с помощью адаптивных алгоритмов управления светофорной сигнализацией, в частности, через алгоритм продолжения разрешенного сигнала, алгоритм продолжения разрешенного сигнала и досрочное окончание запрещенного, а также алгоритм вызова специальной фазы (как правило, для реализации абсолютного приоритета).

Для Х-образного изолированного перекрестка предложено шесть основных типов специальных полос, которые внедряются в зоне перекрестка, которые относятся к одной из двух групп: 1) которые целесообразно внедрять на перекрестках, где остановочные пункты отсутствуют или расположены перед ним (рисунок 1, а, б) пешеходные переходы условно не показаны); 2) где остановочные пункты расположены после перекрестка (рисунок 1, в–е). Хотя при отсутствии пешеходных переходов на перекрестке иногда специальные полосы второй группы целесообразно внедрять на перекрестках, где остановки отсутствуют или расположены перед ним. Это позволяет упростить реализацию приоритета во времени и обеспечить оптимальную работу перекрестка.

Для того чтобы этот метод мог применяться на практике, его эффективность необходимо проверить в реальных условиях, на конкретном регулируемом перекрестке. Это позволяет сформулировать цель, которая будет решаться в данной работе, – проверить эффективность метода «специальная полоса в зоне перекрестка» на реальном регулируемом перекрестке.

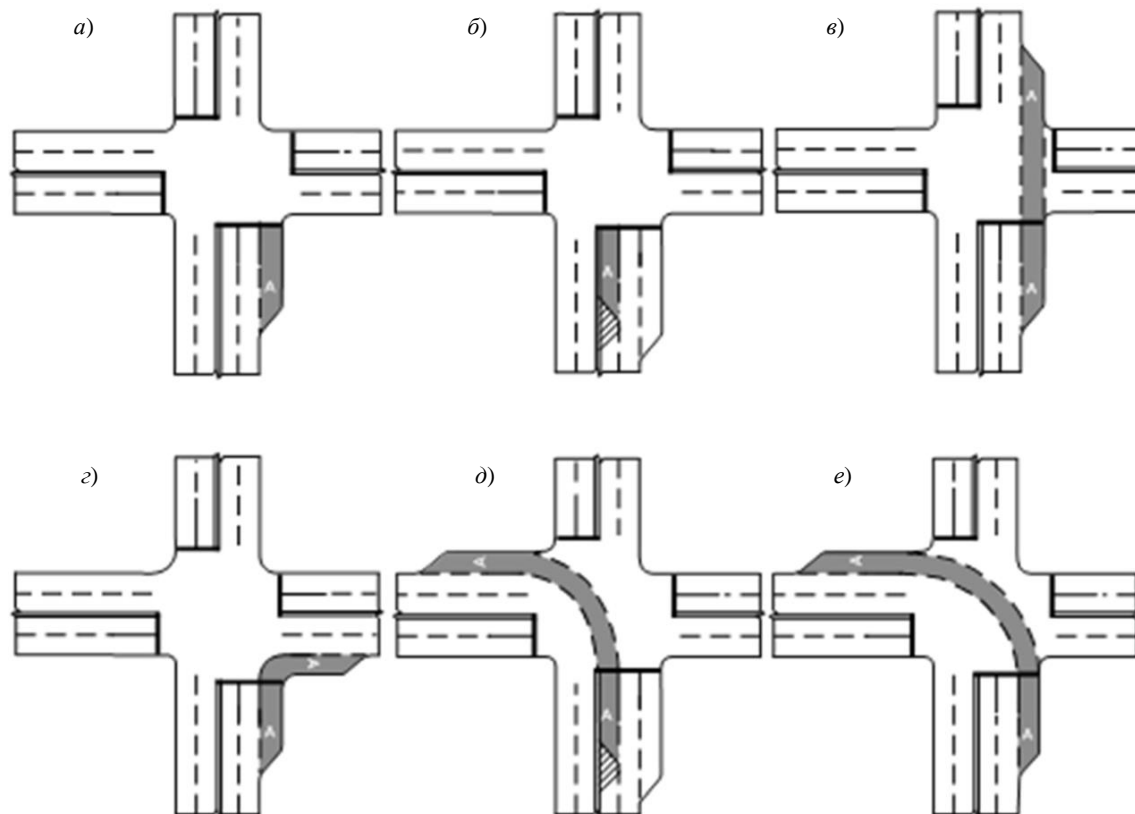


Рисунок 1 – Типы специальных полос в зоне перекрестка первой и второй групп:
a – 1.1; *б* – 1.2; *в* – 2.1; *г* – 2.2; *д* – 2.3; *е* – 2.4

Для проверки этого метода в реальных условиях в качестве примера выбран изолированный регулируемый X-образный перекресток улиц Мазепы – Миколайчука (г. Львов, Украина). Перекресток расположен на окраине города в северной части. На каждом подходе есть одна полоса движения в обоих направлениях. Ширина полосы движения на улице Мазепы составляет 4,5 м, а на улице Миколайчука – 3,5 м. На одном подходе к улице Миколайчука есть подъем с уклоном 20 % (подход II), а на другом – спуск с уклоном 15 % (подход IV). Радиусы закругления на всех подходах составляют 15 м.

Светофорная сигнализация на перекрестке работает в однопрограммном жестком режиме в две фазы с длительностью цикла 60 с (рисунок 2, *a*). В первой фазе осуществляют движение транспортные потоки, движущиеся по улице Мазепы, и пешеходы, пересекающие улицу Миколайчука. Во второй фазе наоборот: транспортные потоки, выезжающих с улицы Миколайчука в обоих направлениях, и пешеходные потоки, пересекающие улицу Мазепы. Продолжительность разрешенного сигнала в первой фазе составляет 37 с; во второй – 17 с; продолжительность промежуточных тактов – 3 с.

На перекрестке разрешены все направления движения, поэтому пофазный разъезд транспортных средств и движение пешеходов осуществляется при наличии конфликтов, среди которых 4 конфликтные точки пересечения (левоповоротные с прямыми), 8 отклонения, 4 слияния, а также 4 конфликтные точки пересечения пешеходных и транспортных потоков при повороте последних справа и 4 – при повороте последних слева [2].

Значение интенсивности транспортных и пешеходных потоков в час пик для каждого направления движения на перекрестке, полученных при натурном исследовании, приведены на рисунке 2, *б*. При этом доля легковых автомобилей в потоке (не считая автобусов) составляет 88, 96, 81 и 94 % соответственно на подходах I–IV.

Через улицу Мазепы на подходе I проходят 7 автобусных и 1 троллейбусный маршруты, из которых 6 (в том числе троллейбусный) – в прямом направлении и 2 – поворачивают направо. Средний интервал движения между подвижным составом, курсирующий в прямом направлении, составляет 165 с, поворачивая направо – 525 с. По этой же улице, но в противоположном направлении (подход III) проходит 9 автобусных и 1 троллейбусный маршруты, из которых 7 (в том числе троллейбусный) – в прямом направлении и 3 – поворачивают налево. Средний интервал движения между теми, что движутся в прямом направлении составляет 65 с, поворачивают налево – 220 с.

Через улицу Миколайчука на подходе II проходит 1 автобусный маршрут с интервалом 24 мин, а на подходе IV – 6 автобусных маршрутов, из которых 4 поворачивают направо и 2 – налево. Средний интервал между теми, что поворачивают направо, составляет 170 с, налево – 690 с.

У перекрестка на улице Мазепы есть два остановочных пункта, которые расположены за перекрестком, причем один из них – сразу за пересечением (подход III), другой – на расстоянии 60 м.

Для уменьшения на перекрестке задержек маршрутных автобусов путем обеспечения им пространственно-временного приоритета предлагается внедрить в зоне

этого перекрестка специальную полосу типа 2.1 на улице Мазепы в обоих направлениях (на подходе I и III), а также специальную полосу типа 2.2 и 2.4 на подходе IV к улице Миколайчука. В результате ширина

проезжей части на ул. Мазепы в местах, где есть специальные полосы, составит 15 м, а на ул. Миколайчука – 11 м, причем, ширина специальной полосы, в обоих случаях, составит 4 м.

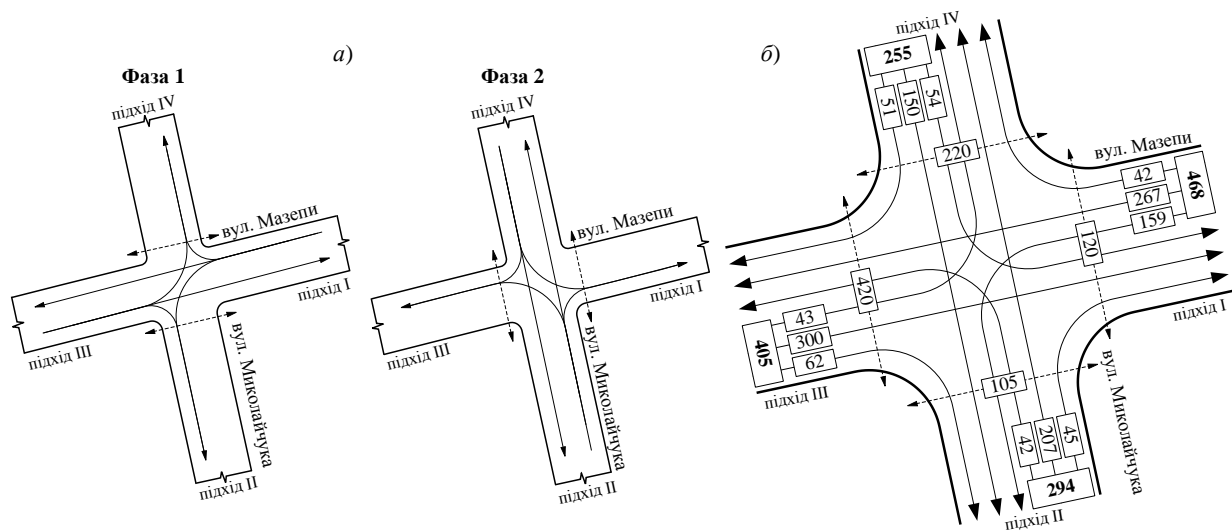


Рисунок 2 – Существующие транспортные характеристики на перекрестке улиц Мазепы – Миколайчука (г. Львов, Украина): а – схема пофазного разъезда; б – фактические значения часовой интенсивности транспортных (без автобусов) и пешеходных потоков в пиковый период

При наличии специальных полос в зоне этого перекрестка и при различном сочетании сигнальных групп в фазы, между маршрутными автобусами и неприоритетными потоками будут возникать конфликты. Поэтому для обеспечения приоритета во времени целесообразно использовать алгоритм, основанный на вызове специальной фазы. Вместе с этим, для оптимального управления неприоритетными транспортными потоками на перекрестке этот алгоритм целесообразно сочетать с алгоритмом поиска временного разрыва в потоке и алгоритмом изменения чередования фаз.

Для проверки эффективности этих предложений используется программное обеспечение VISSIM, в среде которого создана имитационная модель перекрестка улиц Мазепы – Миколайчука. Схема геометрических параметров перекрестка при наличии в его зоне специальных полос, распределение всех направлений движения на сигнальные группы и расположения детекторов приведены на рисунке 3. Сигнальным группам, которые выделены для неприоритетных транспортных средств, присвоено названия К1–К4; для пешеходов – F1–F4; для автобусов – В1 (В1а, В1б), В2 (В2а, В2б), В3 (В3а, В3б) (рисунок 3).

Длина элементов специальных полос в зоне перекрестка определяется по методике, предложенной в [1, 3]. При этом оптимальная длина элемента специальной полосы на подходе к перекрестку определяется на основе значений прогнозной часовой интенсивности движения в пиковый период на 2017 год, полученных из транспортной модели города, которая разработана в среде VISUM [4] (576, 338, 408 и 318 авт/ч соответственно для потоков сигнальных групп К1–К4).

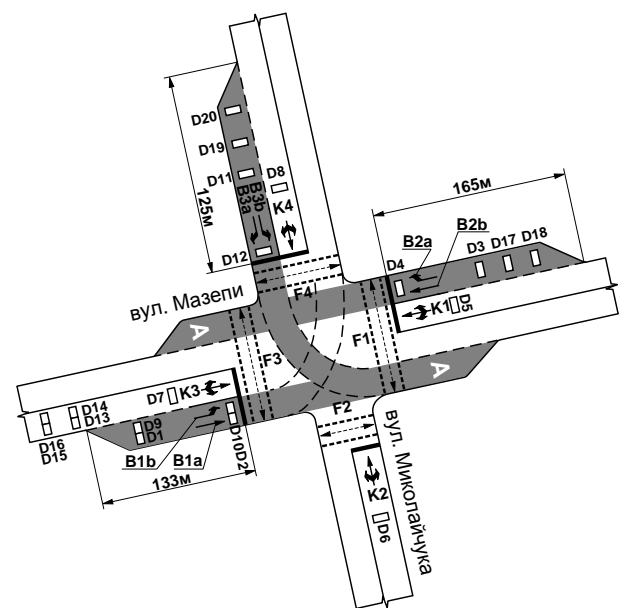


Рисунок 3 – Схема перекрестка при наличии в его зоне специальных полос

В модели VISSIM принимается, что желаемая скорость легкового и грузового автомобилей составляет 50 км/ч, а автобуса и троллейбуса – 40 км/ч. Входная интенсивность транспортных потоков сигнальных групп К1–К4, а также их доли потоков прямого направления и доли легковых автомобилей в потоке (не считая автобусов) задаются те, что наблюдаются при существующих условиях (см. рисунок 2, б). Пешеходным потокам в модели также задаются значения, полученные при натурном исследовании, в частности 120, 105, 420, 220 пеш./ч соответственно для сигнальных групп F1–F4. Для маршрутных автобусов сигнальных групп В1а, В1б, В2а, В2б, В3а, В3б вместо значений интенсивности принимаются интервалы движения между автобусами, значения которых соответствуют суще-

ствующим условиям на перекрестке, а именно: В1а – 65 с; В1b – 220 с; В2а – 525 с; В2b – 165 с; В3а – 170 с; В3b – 690 с. Автобусному маршруту, который проходит ул. Миколайчука на подходе II совместно с транспортными потоками сигнальной группы К2, задается интервал в 24 мин.

Для реализации в модели VISSIM адаптивного управления светофорной сигнализацией, где один из алгоритмов обеспечивает приоритетный проезд перекрестка, используется его дополнительный модуль VAP. Этот модуль требует создания VAP-файла, который описывает логику работы контроллера, и PUA-файла, в котором определены сигнальные группы, их соединение в фазы и продолжительность переходных интервалов.

Соединение сигнальных групп в фазы и возможные варианты их чередования приведены на рисунке 4. Продолжительность переходных интервалов, в частности для перехода из фазы 2 к фазам 7–10 составляет 5 с. Продолжительность всех фазовых переходов для сигнальных групп К1–К4 составляет 3 с, а для F1–F4 – 4 с, при этом продолжительность желтого сигнала во всех случаях составляет 3 с. На основе этих данных, а также тех, что приведены на рисунке 4, создается файл-PUA в программе WordPad.

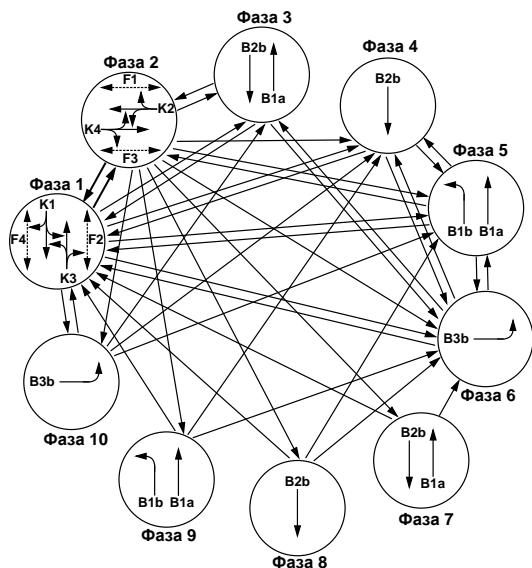


Рисунок 4 – Схема предлагаемого пофазного развязки на перекрестке

Файл-VAP является результатом преобразования разработанной логики управления совокупности алгоритмов, ключевым из которых является тот, что обеспечивает приоритет во времени через вызов специальной фазы. Логика управления разрабатывается в программном модуле VisVAP в форме блок-схемы. Процесс создания блок-схем хорошо описан в [5].

Как видно из рисунка 4, чтобы обеспечить приоритетный проезд перекрестка путем вызова специальной фазы, используется восемь фаз (с 3-й по 10-ю), которые пропускаются в случае отсутствия автобусов на подходах. Фазы 4, 6–10 после их окончания, кроме вызываемых, всегда переходят на фазу 1, тогда как фазы 3 и 5 могут меняться как на фазу 1, так и на фазу 2.

Чтобы реализовать различную продолжительность переходных интервалов между фазами 1 или 2 и вызываемой фазой, что в свою очередь позволяет обеспечить абсолютный приоритет проезда, используются одни и те же автобусные сигнальные группы в различных фазах (например, сигнальные группы В1а и В2b в фазе 3 и

7, и т.д.). Самую высокую степень приоритета имеют автобусы сигнальных групп В1а и В2b, дальше – В1b, а потом уже – В3b.

Для обнаружения появления автобусов сигнальной группы В1а используются детекторы D1, D2, D13, D15; для В1b – D9, D10, D14, D16; для В2b – D3, D4, D17, D18; для В3b – D11, D12, D19, D20. Появление автобусов сигнальных групп В2а и В3а детекторами не фиксируются, поскольку они не нуждаются в обеспечении приоритета во времени с помощью светофорной сигнализации (поворачивают направо из специальной полосы). Чтобы выявить временной разрыв в потоке неприоритетных транспортных средств сигнальных групп К1–К4 используются, соответственно, детекторы D5–D8. Детекторы D2, D4, D10, D12 расположены на расстоянии 8 м от стоп-линии; D5–D8 – 30 м; D1, D3, D9, D11 – 67 м; D13, D14, D17, D19 – 135 м; D15, D16, D18, D20 – 156 м.

В качестве критерия для количественной оценки эффективности пространственно-временного приоритета на этом перекрестке в модели используются показатели «средняя задержка автобуса и автомобиля на подходе» и «длина очереди (средняя и максимальная)». Чтобы усреднить результаты, проводятся 10 имитаций, где продолжительность одной составляет 1 ч, причем начало фиксирования результатов начинается с 400 с.

Кроме этого, с целью сравнения этих результатов с теми которые можно получить из условий, где приоритетный проезд на перекрестке не обеспечивается, дополнительно была создана отдельная модель этого же перекрестка в среде VISSIM без наличия специальных полос в его зоне при тех же входных данных. При этом светофорная сигнализация работает в адаптивном режиме по алгоритму поиска разрыва в транспортном потоке на всех подходах при двухфазном развязке транспортных и пешеходных потоков (подобно тому, как на рисунке 4 фаза 1 и фаза 2). Результаты моделирования значений средней задержки и длины очереди при обоих случаях приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Показатели эффективности работы перекрестков при обеспечении пространственно-временного приоритета

Транспортные потоки сигнальных групп	Средняя задержка, с	Длина очереди, авт	
		средняя	максимальная
K1	70,02	9,3	22,5
K2	69,83	7,8	22,1
K3	29,03	3,2	14,2
K4	79,71	7,1	23,0
V1	3,91		
V2	4,85		
V3	6,07		

Таблица 2 – Показатели эффективности работы перекрестков при адаптивном управлении без обеспечения приоритета

Транспортные потоки сигнальных групп	Средняя задержка, с		Длина очереди, авт.	
	автомобиля	автобуса	средняя	максимальная
K1	63,28	66,24	8,6	20,4
K2	53,16	71,30	5,4	17,8
K3	27,69	21,77	2,7	13,7
K4	60,39	58,28	5,7	19,5

Из таблиц 1 и 2 видно, что применение пространственно-временного приоритета на выбранном перекрестке позволяет уменьшить задержки автобусов на 82, 93 и 90 % соответственно для маршрутов сигнальных групп В1–В3. Это в свою очередь позволяет уменьшить продолжительность времени оборота автобусов на маршрутах, их расходы топлива и выбросы вредных веществ в окружающую среду. В то же время этот приоритет приводит к незначительному росту значений задержек и длины очереди для неприоритетных транспортных потоков. В частности, значения задержек транспортных средств сигнальных групп К1–К4 возрастают соответственно на 11, 31, 5 и 32 %; значение средней длины очереди – на 8, 44, 19 и 25 %; значение максимальной длины очереди – на 10, 24, 4 и 18 %.

Средняя задержка автобуса на перекрестке при обеспечении пространственно-временного приоритета в сравнении с адаптивным управлением без обеспечения приоритета уменьшается на 87 % (с 47,22 до 6,24 с), а средняя задержка автомобиля увеличивается на 19 % (с 50,53 до 60,07 с).

Выводы:

1 Метод «специальная полоса в зоне перекрестка» позволяет обеспечить пространственно-временной приоритет маршрутным автобусам на регулируемых перекрестках, подходы которых имеют не более двух полос движения в одном направлении.

2 Тип специальной полосы, что внедряется в зоне перекрестка, зависит от наличия и расположения остановочного пункта возле перекрестка, наличия пешеходных переходов и маневра изменения направления движения.

3 Оценка эффективности метода «специальная полоса в зоне перекрестка» на реальном регулируемом

пересечении осуществляется посредством проведения модельного эксперимента в среде VISSIM.

4 Реализация метода «специальная полоса в зоне перекрестка» на пересечении улиц Мазепы – Миколайчука (г. Львов, Украина) позволяет уменьшить на 87 % среднюю задержку автобуса на перекрестке по сравнению с адаптивным управлением без обеспечения приоритета.

5 Полученные результаты исследования позволяют утверждать о адекватности принятых гипотез в теоретических исследованиях, свидетельствуют о эффективности предложенного авторами метода и его способность к использованию на практике.

Список литературы

1 **Вікович, І. А.** Розробка методу забезпечення пріоритету маршрутним автобусам на регульованих перехрестях / І. А. Вікович, Р. М. Зубачик // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – № 5/3 (65). – С. 27–33.

2 **Рябець, Я. В.** Комплексна оцінка потенційної небезпеки руху на перехрестях : автореф. дис. ... канд. технічних наук : 05.22.01 / Я. В. Рябець; Національний транспортний університет. – К., 2009. – 20 с.

3 **Вікович, І. А.** Розробка імітаційної моделі для визначення максимальної довжини черги транспортних засобів / І. А. Вікович, Р. М. Зубачик // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. – Харків, 2013. – № 70. – С. 48–59.

4 **Вікович, І. А.** Моделювання попиту на індивідуальний та громадський транспорт з використанням програмного забезпечення VISUM / І. А. Вікович, Р. М. Зубачик // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля : науковий журнал. – 2012. – № 6 (177), ч. 1. – С. 193–203.

5 **Вікович, І. А.** Визначення ефективності методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» з позиції забезпечення пріоритету у часі / І. А. Вікович, Р. М. Зубачик, Д. О. Беспалов // Технологічний аудит та резерви виробництва. – Харків, 2014. – № 5/1(19). – С. 40–45.

Получено 12.09.2014

I. A. Vikovych, R. M. Zubachyk. Analysis of effectiveness of "special bus lanes within the area of intersection" method on the real intersection.

The model experiment within VISSIM software has been realized in the article. The validation of effectiveness of "special bus lanes within the area of intersection" method has been executed during this model experiment on the real intersection. In addition, the implementation includes effectiveness evaluation of space-time priority and adaptive control without priority at this intersection and their comparison.