

УДК 656

DOI 10.52928/2070-1616-2026-53-1-77-82

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ПРИОРИТЕТА МАРШРУТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ

**ЛЮ ЮЙВЭЙ***(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

*Усовершенствован метод специального выделения полос для движения маршрутных транспортных средств (МТС) в зоне регулируемого перекрестка, который позволяет создать для МТС непрерывный пространственный коридор для беспрепятственного подъезда к стоп-линии и проезда через перекресток. Разработана классификация, включающая шесть основных типов конфигураций таких полос, адаптированных под различные сценарии организации движения (прямолинейное, поворотное, комбинированное). Разработаны имитационные модели в среде VISSIM. Установлено, что наибольшая эффективность метода достигается при его интеграции с адаптивными алгоритмами управления светофором, в частности, с функцией вызова специальной «зеленой» фазы, что обеспечивает полноценный пространственно-временной приоритет.*

**Ключевые слова:** метод, маршрутные транспортные средства, специальная полоса, адаптивные алгоритмы, имитационное моделирование.

**Введение.** Приоритетный проезд непосредственно по регулируемому перекрестку обеспечивается с помощью адаптивных алгоритмов управления светофорной сигнализацией, в частности через алгоритмы продления разрешенного сигнала и досрочного завершения запрещенного сигнала, а также вызовом специальной фазы для МТС (для реализации абсолютного приоритета) [1–5]. Выполнен анализ обустройства выделенных полос в Китае<sup>1</sup>.

По реализации этого способа на регулируемом перекрестке специальные полосы можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся полосы, которые устраиваются на перекрестках, где остановочные пункты отсутствуют или расположены непосредственно перед ним, а ко второй – где остановочные пункты расположены после регулируемого перекрестка. Отдельные типы, по функциональному назначению, делятся на две разновидности: только для автобусов или комбинированное их использование с неприоритетными правоповоротными ТС. Обозначение специальных полос имеет три цифры: первая указывает на группу, вторая – тип, третья (при наличии) – разновидность использования.

На рисунке 1 показано исполнение специальных полос схематично на плане перекрестка. Тип 1.1 целесообразно применять для обеспечения приоритета по всем трем направлениям при расположении ОП МТС перед перекрестком, а для прямолинейного движения и поворота направо – при их отсутствии. При таких же условиях для поворота налево целесообразно применять тип 1.2. Полосы типа 2.1 обеспечивают приоритет для транзитного движения, тип 2.2 – для поворота направо, а типы 2.3 и 2.4 – для поворота налево.

Типы 1.1, 2.1 и 2.2 используются в двух случаях, т.е. если внедрены специальные полосы типа 1.1.2, 2.1.2 и 2.2.2, то на специальную полосу могут также въезжать правоповоротные транспортные средства (на рисунке 2, б, и 3.3, в, приведены обе разновидности специальной полосы типа 2.1).

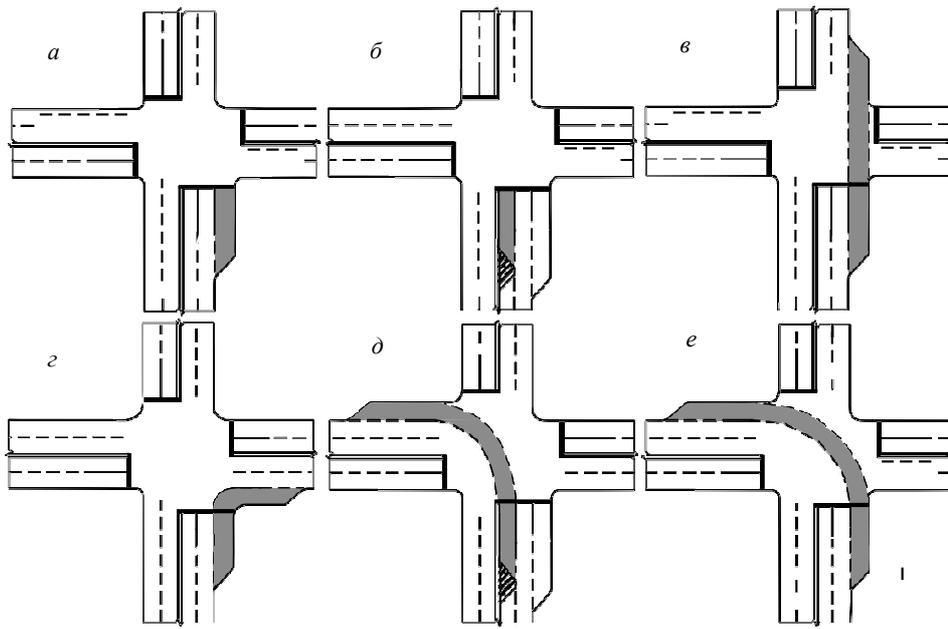
Пример применения специальных полос первой группы на подходе к перекрестку с тремя полосами движения в одном направлении приведен на рисунке 3.

**Основная часть.** *Определение геометрических параметров специальной полосы, устраиваемой в зоне регулируемого перекрестка.* Процесс движения МТС по специальной полосе можно разбить на следующие этапы: вход приоритетного потока на специальную полосу – движение приоритетного потока по специальной полосе на подходе к перекрестку – движение приоритетного потока по специальной полосе непосредственно на перекрестке – движение приоритетного потока по специальной полосе после перекрестка – выход приоритетного потока из специальной полосы (рисунок 4).

Первая функция, которую выполняет геометрический элемент, – обеспечение безопасного и плавного выполнения маневра отклонения МТС от основного потока. Этот участок называют отгоном уширения, длина которого зависит от расчетной скорости и может определяться по различным формулам [6; 7]. По нормативам при размещении остановочных пунктов ширину дополнительной полосы принимают не менее 3 м; отгон уширения – не менее 20 м, а в стесненных условиях глубину «карманов» допускается уменьшать до 2,5 м, длину отгонов уширения – до 10 м<sup>2</sup>.

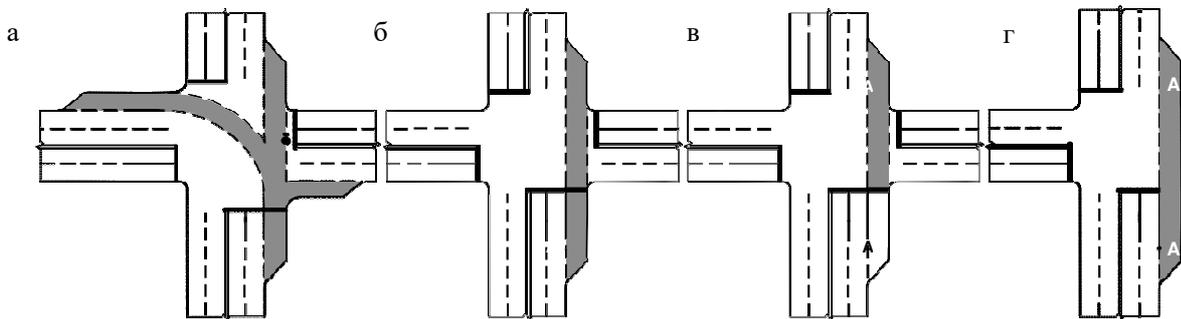
<sup>1</sup> GA/T 507-2004. Расположение автобусных полос (Professional Standard – Public Safety Standards). – URL: <https://std.samr.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=8B1827F1DC82BB19E05397BE0A0AB44A>

<sup>2</sup> СН 3.03.06-2022. Улицы населенных пунктов – вулицы населенных пунктаў. – Минск: Минскстройархитектуры, 2022. – 56 с.



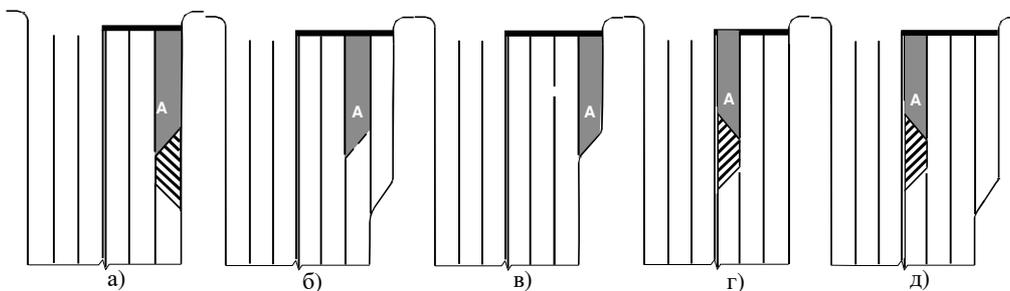
*a* – тип 1.1; *б* – 1.2; *в* – тип 2.1; *г* – 2.2; *д* – тип 2.3; *е* – 2.4

**Рисунок 1. – Типы специальных приоритетных полос в зоне регулируемого перекрестка первой и второй групп**



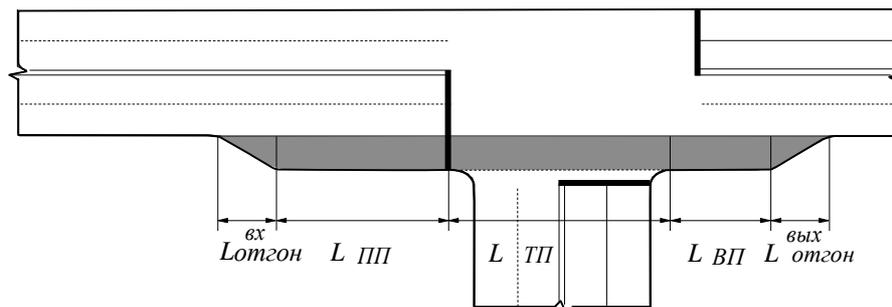
*a* – одновременное внедрение типа 2.1, 2.2, 2.4; *б* – тип 2.1.1; *в* – тип 2.1.2;  
*г* – специальная полоса типа 2.1 в зоне T-образного перекрестка

**Рисунок 2 – Специальные приоритетные полосы в зоне регулируемого перекрестка**



*a, б, в* – тип 1.1; *г, д* – тип 1.2

**Рисунок 3. – Специальные полосы типа 1.1 и 1.2 в зоне регулируемого перекрестка с тремя полосами на его подходе**



**Рисунок 4. – Схематичное изображение геометрических элементов специальной полосы в зоне регулируемого перекрестка**

В начале второго этапа, как и в предыдущем, в определенной степени идет процесс разделения потока на приоритетный и неприоритетный. Осуществление МТС маневра отклонения происходит на элементе отгона  $L_{отгон}^{вх}$ , а завершается на участке подхода к перекрестку  $L_{пп}$ . Его можно разделить на два участка:  $L_{отп}$  (участок на котором фиксируется образование более однородного потока) и  $L_{псл}$  (участок подхода к стоп-линии перекрестка).

Чтобы всегда обеспечивался доступ МТС к зоне участка  $L_{отп}$  и при этом не нарушалась равномерность их скоростей, необходимо участок  $L_{псл}$  запроектировать соответствующей длины. Для этого нужно определять максимальную длину очереди ТС на полосе, граничащую с уширением (на специальной полосе), при режиме светофорного регулирования, соответствующем пиковым значениям интенсивности движения на подходе к перекрестку.

При нормальных (неперенасыщенных) условиях движения на подходе (уровень загрузки  $\leq 1,0$ ) образовавшиеся в начале разрешенного сигнала очереди полностью разъезжаются за эффективную продолжительность разрешенного сигнала [1; 6; 7]. Однако если на подходе уровень загрузки превышает 0,65, наблюдаются циклы, за которые очереди разъезжаются на разрешенный сигнал не полностью. Как правило, в большей степени это проявляется при уровне загрузки более 0,9 [1; 8].

При перенасыщенных условиях движения (уровень загрузки больше 1,0), т.е. когда на подходе интенсивность приезда превышает возможности отъезда, образованные очереди за разрешенный сигнал не могут разъехаться практически никогда. Они могут «исчезнуть» только в течение нескольких циклов. Соответственно, наибольшее количество ТС в очереди будет после  $n$  цикла периода перегрузки. Поскольку именно такие условия являются потенциальными условиями образования затора, то для устранения его проявлений необходимо следовать обеспечению нормального режима управления на перекрестке, при котором степень насыщения не должна превышать верхнюю границу 0,95 [1; 6; 7].

Учитывая вышеупомянутую длину элемента специальной полосы на подходе к перекрестку  $L_{пп}$  будет определяться как

$$L_{пп} = L_{отп} + L_{псл}, \tag{1}$$

где  $L_{отп}$  – длина участка, на котором завершается маневр отклонения (принимается равной длине статического габарита МТС), м;

$L_{псл}$  – максимальная длина очереди неприоритетных ТС на полосе, граничащей со специальной полосой, м.

На следующем этапе исследуемый геометрический элемент – (транзитный, прямой) участок  $L_{тп}$  специальной полосы непосредственно на регулируемом перекрестке. Такие условия будут повышать скорость проезда МТС площади перекрестка и безопасность их движения. Длина элемента  $L_{тп}$  зависит от количества полос на подходе к перекрестку по пересекаемым направлениям и от вида совершаемого им маневра.

Длина участка  $L_{разогс}$  должна определяться с расстояния для разгона; при этом участок выхода потока из специальной полосы  $L_{отгон}^{вх}$  определяется аналогично для входа – как длина уширения отгона на входе  $L_{отгон}^{вх}$ . В соответствии с действующими ТНПА, в стесненных условиях, их величину можно принимать как длину отгона уширения (кармана) на выезде от остановки, которая составляет 15 м<sup>3</sup>.

Общую длину элементов специальной полосы в зоне перекрестка можно записать следующим образом:

$$L_{сп} = L_{отгон}^{вх} + L_{пп} + L_{тп} + L_{ВП} + L_{отгон}^{вых}, \tag{2}$$

<sup>3</sup> СН 3.03.06-2022. Улицы населенных пунктов – вулицы населеных пунктаў. – Минск: Минскстройархитектуры, 2022. – 56 с.

где  $L_{\text{сп}}$  – длина специальной полосы в зоне перекрестка, м;  
 $L_{\text{отгон}}^{\text{вх}}$ ,  $L_{\text{отгон}}^{\text{вых}}$  – длины уширения отгона соответственно на входе специальной полосы и на выходе из нее;  
 $L_{\text{пп}}$  – длина участка специальной полосы на подходе к перекрестку, м;  
 $L_{\text{тп}}$  – длина участка специальной полосы непосредственно на перекрестке, м;  
 $L_{\text{вп}}$  – длина участка специальной полосы за перекрестком, м.

В упрощенном варианте максимальную длину очереди можно рассчитать по следующей формуле [1; 9]:

$$q_{li} = \frac{t_{\text{кр}} q_i}{\left(1 - \frac{q_i}{q_{\text{нi}}}\right) T}, \quad (3)$$

где  $q_{li}$  – максимальная длина очереди на  $i$ -й полосе, авт.;  
 $t_{\text{кр}}$  – длительность запрещающего сигнала светофора, с;  
 $q_i$  – интенсивность движения на  $i$ -й полосе, авт./ч;  
 $q_{\text{нi}}$  – поток насыщения на  $i$ -й полосе, авт./ч;  
 $T$  – продолжительность периода расчета, с.

Также можно уточнить значения наибольшей длины очереди ТС по американским HCM [12] и немецким HBS<sup>4</sup> [13] нормативам. Расчетная формула для определения максимальной длины очереди ТС по американским нормативам имеет вид [с. 16–152, (G16-6)]<sup>5</sup>:

$$q_{li} = q_{l1} + q_{l2}, \quad (4)$$

где  $q_{l1}$  – средняя длина очереди при равномерном прибытии ТС к перекрестку, авт. Определяется по формуле [с. 16–152, (G16-7)]<sup>5</sup>:

$$q_{l1} = PF_2 \frac{\frac{q_i c}{3600} \left(1 - \frac{\lambda}{c}\right)}{1 - \left[\min(1, 0; x_i) \frac{\lambda}{c}\right]}, \quad (5)$$

где  $q_i$  – интенсивность движения на  $i$ -й полосе, авт./ч;  
 $C$  – длительность светофорного цикла, с;  
 $\lambda$  – эффективная доля зеленого сигнала, с;  
 $x_i$  – доля загрузки на  $i$ -й полосе движения;

$PF_2$  – коэффициент корректировки при периодическом поступлении ТС на перекресток (для изолированных перекрестков  $PF_2 = 1,0$ ). Определяется по формуле<sup>5</sup> [с. 16–152, (G16-8)]:

$$PF_2 = \frac{\left(1 - R_p \frac{\lambda}{c}\right) \left(1 - \frac{q_i}{q_{\text{нi}}}\right)}{\left(1 - \frac{\lambda}{c}\right) \left[1 - R_p \frac{q_i}{q_{\text{нi}}}\right]}, \quad (6)$$

где  $q_i$ ,  $c$ ,  $\lambda$ ,  $c$ ,  $q_{\text{нi}}$  – определены выше;

$R_p$  – коэффициент группы или «пачки» ТС (для изолированных перекрестков принимают 1,0).

$q_{l2}$  – длина очереди при случайном прибытии ТС к перекрестку, авт. Определяется по формуле<sup>5</sup> [с. 16–153, (G16-9)]:

$$q_{l2} = 0,25 PF_2 \frac{\frac{q_i c}{3600} \left(1 - \frac{\lambda}{c}\right)}{1 - \left[\min(1, 0; x_i) \frac{\lambda}{c}\right]}. \quad (7)$$

*Моделирование оптимальной длины специальной полосы подходе к изолированному перекрестку.* Рассмотрим следующую модель условий дорожного движения (рисунок 5).

<sup>4</sup> Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. – Bundesanstalt für Straßenwesen, 2001. – 370 s.

<sup>5</sup> Highway Capacity Manual. – TRB, Washington, DC, 2010. – 1139 p.

Модель включает режимы светофорного регулирования (рисунок 6).

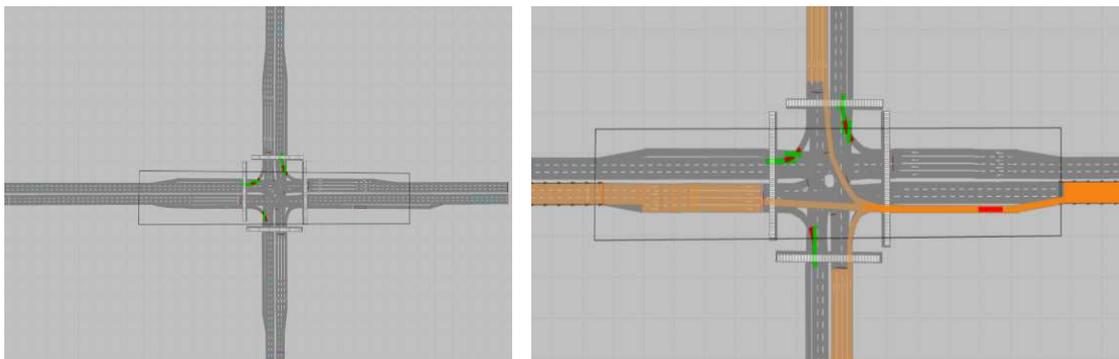


Рисунок 5. – Имитационная модель подхода к изолированному перекрестку

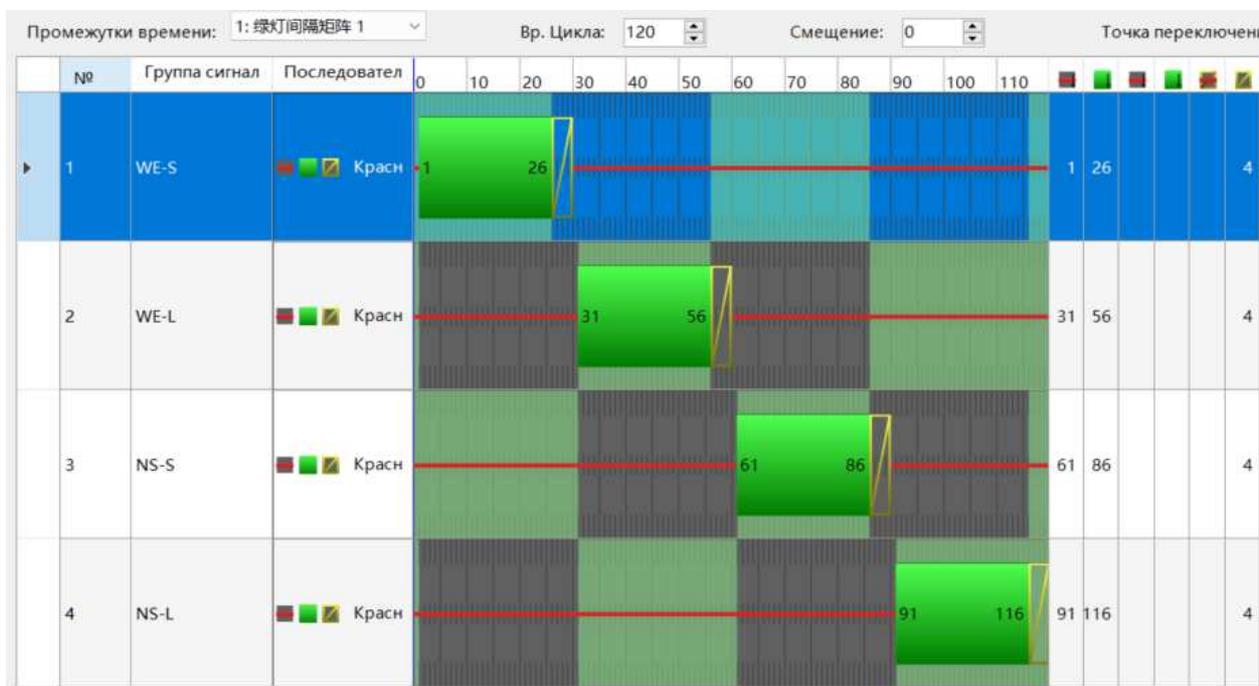


Рисунок 6. – Матрица интервалов светофора

Путем симуляций из 200 итераций получены средние значения параметров (таблица 1).

Таблица 1. – Сравнение данных со специальными полосами и без них

(секунды)	Максимальная длина очереди	Максимальные результаты времени в пути ТС	Максимальные результаты времени задержек	
			время простоя	задержки ТС
Со специальными полосами	33,07	105,63	22,96	48,82
Без специальных полос	62,26	67,55	59,15	87,98

Из таблицы 1 видно, что при большой транспортной нагрузке на дороге различные данные со специальными полосами для автобусов почти в два раза выше, чем без специальных полос для автобусов. Также очевидно, что вызов специальной фазы на регулируемом перекрестке целесообразно использовать для дополнения метода «специально выделенная полоса в зоне перекрестка» в части обеспечения приоритетного проезда через перекресток.

Чтобы получить более очевидный результат по VISSIM, количество транспортных средств устанавливается на максимальное значение, которое может вместить модель дорожной сети. Результаты моделирования при определенных условиях приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты моделирования (фрагмент)

(секунды)		Максимальная длина очереди	Максимальные результаты времени в пути ТС	Максимальные результаты времени задержек	
				время простоя	задержки ТС
Со специальными полосами	500	31,99	67,55	22,96	48,82
	1000	33,07	67,65	23,06	48,92
Без специальных полос	500	30,96	63,66	25,99	45,55
	1000	69,37	80	39,61	62,79

**Заключение.** Решена ключевая проблема движения МПТ – разрыв приоритета МПТ на регулируемых перекрестках с ограниченной пропускной способностью. Усовершенствован и формализован метод «специальная выделенная полоса в зоне перекрестка», позволяющий создать для МТС непрерывный пространственный коридор для беспрепятственного проезда. Сформулирована типология из шести основных конфигураций таких полос, адаптированных под различные сценарии организации движения. С помощью имитационного моделирования в среде VISSIM разработаны модели для определения оптимальной длины выделенной полосы на подходе к перекрестку. Доказано, что ее длина должна быть достаточной для поглощения максимальной длины очереди, формирующейся на смежной полосе. Также были не только валидированы геометрические параметры полос, но и сделан ключевой вывод: максимальная эффективность метода достигается только при его интеграции с мерами временного приоритета, а именно – с функцией вызова специальной «зеленой» фазы для обеспечения беспрепятственного проезда МТС через перекресток. Это доказывает, что для обеспечения полноценного пространственно-временного приоритета недостаточно одних лишь планировочных решений. Установлены пределы области эффективного применения разработанного метода, определяемые условиями движения как маршрутного, так и основного транспортного потока, что позволяет принимать обоснованные решения о его внедрении на практике.

Таким образом, создан практический инструмент для реализации комплексного подхода для разработки адаптивных алгоритмов управления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Координированное управление дорожным движением / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский, Д.В. Рожанский и др. – Минск: БНТУ, 2011. – 230 с.
2. Печерский М.П., Хорович Б.Г. Автоматизированные системы управления движением в городах. – М.: Транспорт, 1979. – 176 с.
3. Системы и средства автоматизированного управления дорожным движением в городах / Е.Б. Хилажев, В.С. Соколовский, В.М. Гурулев и др. – М.: Транспорт, 1984. – 184 с.
4. Автоматизированные системы управления дорожным движением: учеб. пособие / Д.В. Капский, Ю.А. Врубель, Д.В. Навой и др. – Минск; М.: Инфра-М, 2015. – 367 с.
5. Полищук В.П. Проектирование автоматизированных систем управления на автомобильных дорогах. – Киев: УМК ВО, 1990. – 55 с.
6. Врубель Ю.А. Потери в дорожном движении. – Минск: БНТУ, 2003. – 380 с.
7. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения: в 2 ч. – Минск: Белорус. фонд безопасности дорож. движения, 1996. – Ч. 1. – 328 с.
8. Пржибыл П., Свитек М. Телематика на транспорте: [пер. с чеш.]. – М.: МАДИ, 2003. – 540 с.
9. Скирковский С.В., Капский Д.В., Навой Д.В. Теоретические и практические подходы к созданию и развитию интеллектуальной транспортной системы города. – Гомель: БелГУТ, 2022. – 171 с.

Поступила 22.12.2025

**IMPROVING THE METHOD FOR ENSURING SPATIAL-TEMPORAL  
PRIORITY FOR PUBLIC TRANSPORT VEHICLES  
AT SIGNALIZED INTERSECTIONS**

**LIU YUWEI**  
(Belarusian National Technical University, Minsk)

*This article develops an improved method for dedicating dedicated lanes for public transport vehicles (PTVs) at signalized intersections. This method creates a continuous "spatial corridor" for PTVs to approach the stop line and pass through the intersection without obstruction. A classification has been developed, including six main types of lane configurations adapted to various traffic management scenarios (straight, turning, and combined). Simulation models were developed in the VISSIM environment. It has also been established that the method's greatest effectiveness is achieved when integrated with adaptive traffic light control algorithms, in particular, with the function of calling a special "green" phase, which ensures full spatial and temporal priority.*

**Keywords:** method, routes, vehicles, special lane, adaptive algorithms, simulation modeling.