

СОЦИАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ПРИОРИТЕТНЫХ МЕР ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ МАРШРУТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

ЛЮ ЮЙВЭЙ

(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Статья посвящена разработке формализованного методологического аппарата для оценки целесообразности внедрения специально выделенных полос для маршрутного пассажирского транспорта (МПТ) с целью обеспечения устойчивого развития транспортных систем мегаполисов и агломераций. Предложен и научно обоснован новый, более универсальный и объективный, социально-ориентированный критерий – минимальный объем пассажиропотока. Предложена эмпирическая формула для его расчета, позволяющая учитывать конкретные дорожно-транспортные условия на перегонах улиц.

Ключевые слова: устойчивое развитие, маршрутный пассажирский транспорт, приоритет, полоса движения, критерий, социально-ориентированный подход.

Введение. Повышение качества транспортного обслуживания МПТ на улицах города достигается путем внедрения специальных полос на перегонах улиц и применения методов, обеспечивающих приоритет, в т.ч. адаптивного управления транспортными потоками, особенно на регулируемых перекрестках и в условиях плотной городской застройки. Все эти мероприятия можно определить одним термином – методы организации приоритетного движения. Однако их внедрение тормозится отсутствием четких критериев введения и адекватных методов организации приоритетного движения, особенно в зоне регулируемых перекрестков. Причем максимальная эффективность мер воздействия достигается за счет синергии пространственных (выделенные полосы) и временных (адаптивное управление сигналами) методов приоритета.

Основная часть. Использование специальных полос возможно двумя путями:

- постоянным резервированием одной и более существующих полос или всей проезжей части;
- реконструкцией улицы с целью выделения или отделения специальных полос.

В [1] отмечается, что принятие решения о внедрении специальных полос определяется по результатам натурных экспериментов, в которые входит подсчет количества перевезенных пассажиров МПТ за единицу времени до и после введения приоритетных условий.

В работе¹ фиксируется, что определяющим фактором при внедрении специальных полос на перегонах улиц является минимальная величина пассажиропотока, которая составляет 2000 пасс./ч.

В [2], кроме пассажиропотока, в качестве критерия используют такие показатели, как количество полос движения в одном направлении, минимальная интенсивность движения МПТ и тип расположения специальной полосы в плане проезжей части улицы.

Такие же критериальные характеристики, за исключением количества полос движения, используются при внедрении особых полос в США. В Великобритании² целесообразность внедрения специальных полос на перегонах улиц определяется по двум показателям: минимальной интенсивности движения автобусов, что составляет 50 ед./ч, и минимальной величине пассажиропотока – 2000 пасс./ч.

В настоящее время в Беларуси для внедрения выделенных специальных или «дополнительных» полос используются критерии, указанные в п. 5.1.7 и 6.2.6 СН 3.03.06-2022³.

Обобщение международного опыта внедрения специальных полос МПТ и выделения проезжих частей позволило определить некоторые критерии [3].

Можно сформулировать три принципиальных условия, при наличии которых использование специальных полос на перегонах улиц будет оправданным. Назовем их критериями применения:

- 1) критерий I: не менее 3-х полос движения в одном направлении ($m \geq 3$);
- 2) критерий II: минимальный объем пассажиропотока;
- 3) критерий III: состояние ТП на неприоритетных полосах после выделения специальных полос для движения МПТ.

Условие $m \geq 3$ (критерий I) обязательно, поскольку при меньшем значении режим и условия движения на неприоритетной полосе будут определять динамические габариты ТС и действия водителя, движу-

¹ Bus rapid transit. Planning guide. – 3ed edition. – New York, 2007. – 825 p.

² East London Transit: Summary Report / July 2001. – London, GB. – P. 40–42.

³ СН 3.03.06-2022. Улицы населенных пунктов. – Минск: Минстройархитектуры, 2022. – 56 с.

щегося впереди самостоятельно образованной группы («пачки») автомобилей. На практике наблюдаются случаи, где для неприоритетного потока оставляют одну полосу для движения с правом выезда на специальную полосу при неблагоприятных обстоятельствах и резком ухудшении условий движения в виду форс-мажора (ДТП, поломки автомобиля на полосе и т.п.). Однако такое решение приемлемо только для небольших по длине участков улиц (не более 200 м), а эффективность его функционирования зависит во многом от культуры поведения водителей конкретной страны. Следовательно, учитывая этот факт для критерия I, принимаем условие $m \geq 3$.

Таким образом, количество полос движения (критерий I) в одном направлении является первым и определяющим критерием внедрения специальных полос. Критерий II определяет целесообразность введения специальных полос, а критерий III – эффективность их функционирования на уличной сети города.

Китайский стандарт GA/T 507-2004 «Расположение автобусных полос» (Professional Standard – Public Safety Standards)⁴ также определяет условия и методы устройства выделенных полос для автобусов и в дополнение со стандартом DB11/T 1163-2022⁵ «Особенности устройства полос для автобусов» (в редакции от 04.2023) (Beijing Provincial Standard of the People's Republic of China) устанавливает принципы, форму полос для автобусов, вспомогательные средства, оборудование и другие требования.

Разница между минимальными значениями пассажиропотока, предлагаемыми в вышеприведенных источниках, составляет 3300 пасс./ч. Возникает необходимость в исследовании этого показателя и установлении минимальных объемов пассажиропотоков при различных дорожно-транспортных условиях на перегонах улиц, по которым внедрение специальных полос будет целесообразным и оправданным.

Для определения минимального объема пассажиропотока необходимо рассматривать условия, в которых специальные полосы уже функционируют, а производить их оценку следует через призму системы «Дорожные условия – Транспортные потоки» (далее – «ДУ–ТП») [4]. Можем предположить, что дорожные условия (дороги, улицы, отдельные участки улиц или дорог) осуществляют обслуживание пассажиров, соответственно каждая полоса на проезжей части улицы или дороги обслуживает определенное количество пассажиров. Подтверждением правильности этой гипотезы является показатель «перевозная способность дороги» (пасс./ч, т/ч), который широко используется для определения транспортно-эксплуатационного состояния улицы [5].

После внедрения специальных полос в системе «ДУ–ТП» проявится некоторое вариативное свойство, т.е. ряд изменений в ее структуре, что в конечном итоге превратит ее в другую систему [6]. Так, уже в подсистеме «ДУ» можно выделить две подсистемы с приоритетными и неприоритетными дорожными условиями: приоритетные ($П_{п}$) и неприоритетные ($П_{н}$) полосы движения. Аналогичные изменения произойдут в подсистеме ТП, где появляются приоритетные ($Q_{пн}$) и неприоритетные ($Q_{пн}$) потоки. Такие преобразования в системе «ДУ–ТП» обусловлены ограничениями, налагаемыми внедрением специальных полос в уличную среду (поток $Q_{пн}$ не может использовать для движения неприоритетные дорожные условия, и, наоборот, поток $Q_{пн}$ не может использовать специальную полосу, за исключением частных случаев) и изменением цели функционирования системы (обеспечение комфорта водителя [7] и эффективных пассажирских перевозок).

Трансформация состояния системы «ДУ–ТП» после внедрения специальных полос представлена на рисунке 1.

Используя трансформационные характеристики, можно отметить, что приравнивание количества пассажиров, обслуживаемых подсистемой $S_{пд}$ за единицу времени, к количеству, которое будет обслуживаться подсистемой $S_{нд}$ за этот же период, дает возможность говорить о целесообразности внедрения специальных полос.

Кратко эту целесообразность можно выразить следующим неравенством:

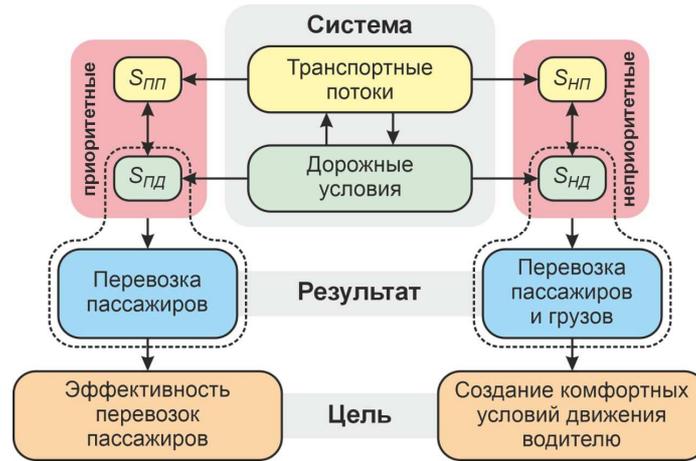
$$S_{пд} \geq S_{нд}, \quad (1)$$

где $S_{пд}$, $S_{нд}$ – соответственно подсистемы приоритетных и неприоритетных дорожных условий.

Количество пассажиров, обслуживаемых подсистемой $S_{нд}$, будет зависеть от ее взаимодействия с подсистемой $S_{пд}$, что аналогично процессу взаимосвязей в общей системе «ДУ–ТП» [6]. Поэтому для определения количества обслуживаемых пассажиров подсистемой $S_{нд}$ следует обратиться к состояниям функционирования системы «ДУ–ТП», определяемым характеристиками ее подсистем.

⁴ GA/T 507-2004. Расположение автобусных полос (Professional Standard – Public Safety Standards). – URL: <https://std.samr.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=8B1827F1DC82BB19E05397BE0A0AB44A>

⁵ DB11/T 1163-2022 公交专用道设置规范 = Особенности устройства полос для автобусов (в редакции от 04.2023) (Beijing Provincial Standard of the People's Republic of China) – URL: <https://jtw.beijing.gov.cn/xxgk/flfg/jthy/202302/P020230220636516881174.pdf>



$S_{пп}$, $S_{нд}$, $S_{пд}$, $S_{нд}$ – подсистемы приоритетных и неперитетных ТП и приоритетных и неперитетных дорожных условий, соответственно

Рисунок 1. – Трансформация системы «ДУ–ТП» после внедрения специальных полос

На всем диапазоне возможного функционирования системы «ДУ–ТП» существует состояние W , при котором обеспечивается эффективное выполнение цели системы, т.е. наиболее эффективная перевозка пассажиров с позиции затрат времени, транспортных расходов и уровня безопасности движения.

Состояние W системы «ДУ–ТП» определяет качественное состояние транспортного потока и соответствует оптимальному уровню загрузки дороги движением. Для количественного выражения последнего служит коэффициент загрузки движения (Z), который может принимать значения от 0 до 1 [5]. Многими исследователями отмечается, что оптимальный экономически эффективный уровень загрузки, а значит, состояние W системы фиксируется, когда величина Z приобретает значение 0,5–0,7. И для того чтобы определить количество пассажиров, обслуживаемых любой полосой проезжей части при состоянии W системы, необходимо воспользоваться одной из характеристик ТП – средним заполнением автомобилей пассажирами, или коэффициентом заполнения [9].

Математическую модель целесообразности внедрения специальных полос на перегонах улиц можно записать в виде следующей характеристики:

$$Q_{пjk} \geq Q_{ндjk} \text{ при } Q_{ндjk} \in W, \quad (2)$$

где $Q_{пjk}$ – объем пассажиропотока на полосе $пj$ -го перегона в k -м направлении, пасс./ч;

$Q_{ндjk}$ – интенсивность пассажирского движения на полосах $пj$ -го перегона в k -м направлении при состоянии W системы «ДУ–ТП», пасс./ч.

Показатель U принимаем равным общей емкости определенного автобуса. При этом

$$Q_{пjk} = q_{пjk} U_{jk}, \quad (3)$$

где $q_{пjk}$ – интенсивность приоритетного потока на j -м перегоне в k -м направлении в соответствии с пассажиропотоком на маршруте, авт./ч;

U_{jk} – общая емкость МТС на j -м перегоне в k -м направлении, пасс.

Интенсивность пассажирского движения на полосах $пj$ можно определить по формуле

$$Q_{ндjk} = q_{ндjk}^w Y_{jk}, \quad (4)$$

где $q_{ндjk}^w$ – интенсивность неперитетного потока на j -м перегоне в k -м направлении, соответствующему состоянию W системы «ДУ–ТП», авт./ч;

Y_{jk} – коэффициент заполнения автомобиля пассажирами на j -м перегоне в k -м направлении (по данным работы⁶ $Y = 1,1-2,5$).

⁶ Bus rapid transit. Planning guide. – 3ed edition. – New York, 2007. – 825 p.

В формуле (4) неизвестным остается величина q_{Hjk}^W , которую можно определить как

$$q_{Hjk}^W = Q_{\text{прсHjk}} X_{Hjk} y_{jk}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{прсHjk}}$ – пропускная способность i -й полосы пП j -го перегона в k -м направлении, авт./год;

$X_{\text{оп}}$ – оптимальный уровень загрузки улицы движением, $X_{\text{оп}} = 0,5-0,7$;

y_{jk} – коэффициент многополосности для j -го перегона в k -м направлении, зависит от количества приоритетных и неприоритетных полос движения в k -м направлении: $\text{пП} = 1$ и $\text{пН} \geq 2$, $y = 1,9$; $\text{пП} = 2$ и $\text{пН} \geq 4$, $y = 3,5$.

Для количественного выражения в этих условиях состояний системы «ДУ–ТП» используется степень насыщения x , а состояние W системы существует тогда, когда величина x приобретает значение 0,95 [9]. Учитывая указанное, формула (4) для перегона улиц регулируемого движения примет следующий вид:

$$q_{Hjk}^W = \sum_{i=1}^r Q_{\text{прсHjk}}' x_{\text{оп}}, \quad (6)$$

где q_{Hjk}^W – интенсивность неприоритетного потока на j -м перегоне регулируемого движения в k -м направлении, соответствующему состоянию W системы «ДУ–П», авт./ч;

$Q_{\text{прсHjk}}'$ – пропускная способность i -й полосы пН j -го перегона на подходе к регулируемого перекрестка в k -м направлении, авт./ч;

$x_{\text{оп}}$ – оптимальная степень насыщения движением на подходе к перекрестку;

r – количество полос движения пН в k -м направлении (при $r > 2$ учитываются пропускные способности двух полос с наибольшими значениями).

С учетом (3)–(6) формула (2) примет вид:

– для j -го перегона непрерывного движения

$$q_{\text{Пjk}} U_{jk} \geq Q_{\text{прсHjk}} X_{\text{оп}} y_{jk} Y_{jk}; \quad (7)$$

– для j -го перегона регулируемого движения

$$q_{\text{Пjk}} U_{jk} \geq \sum_{i=1}^r Q_{\text{прсHjk}}' x_{\text{оп}} Y_{jk}. \quad (8)$$

С помощью формул (7) и (8) возможно оценить целесообразность обслуживания пассажиров специальной полосой на всей длине существующего или проектируемого автобусного маршрута с необходимой разбивкой его на однородные участки:

$$\begin{aligned} Q_{\text{П1}} &\geq Q_{\text{Н1}}, \\ Q_{\text{П2}} &\geq Q_{\text{Н2}}, \\ Q_{\text{П1}} &\geq Q_{\text{Н2}}, \\ &\dots, \\ Q_{\text{Пn}} &\geq Q_{\text{Нn}}, \end{aligned} \quad (9)$$

где n – количество однородных участков (перегонов) на маршруте МТС.

Характеристика (9) является своеобразным показателем целесообразности функционирования специальных полос на перегонах улиц.

На основе этих показателей и возможных интервалов их значений был определен диапазон значений минимального объема пассажиропотока для перегона улиц непрерывного и регулируемого движения (рисунок 2).

Из рисунка 2 видно, что минимальный объем пассажиропотока имеет широкий диапазон значений и составляет:

– для перегона улицы непрерывного движения – от 1250 до 5700 пасс./ч;

– для перегона улицы регулируемого движения – от 950 до 5950 пасс./ч.

Такой диапазон значений объясняется наличием на перегонах улиц различных дорожно-транспортных условий, которые отличаются в данном случае из-за пропускной способности полосы движения и коэффициента заполнения. Учитывая вышеизложенное, величина $Q_{\text{Пjk}}$ для практических расчетов примет следующие значения – см. таблицу (значения округлены).

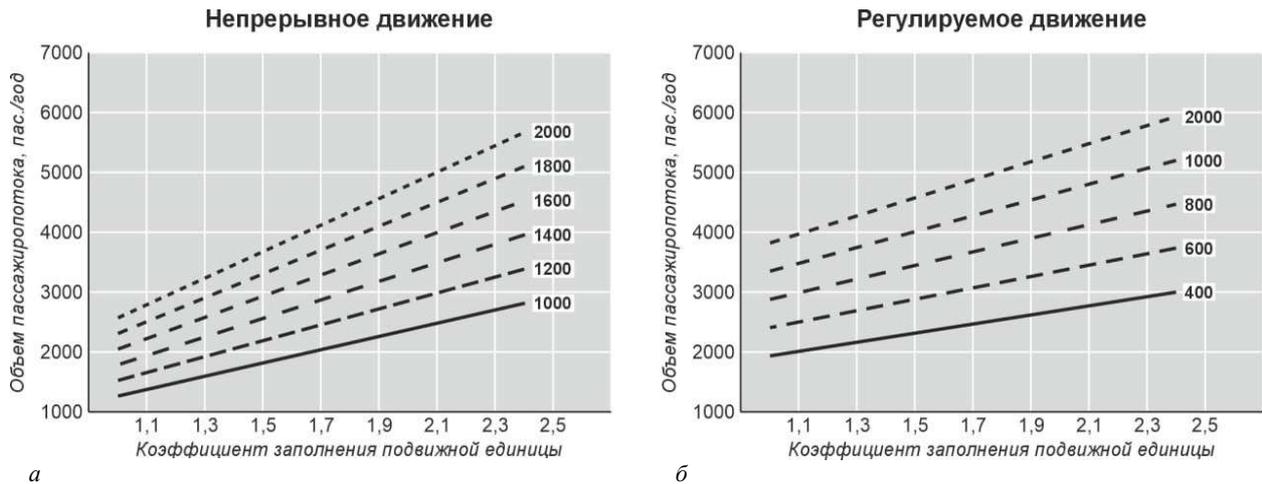


Рисунок 2. – Диапазон значений минимального объема пассажиропотока для перегона улиц непрерывного (а) и регулируемого (б) движения

Таблица. – Минимальное значение объема пассажиропотока для практических расчетов (пасс./ч)

Коэффициент заполнения Y	Пропускная способность полосы движения на перегоне улицы, авт./ч			
	непрерывного движения		регулируемого движения	
	1000	1200	700	800
1,8	2050	2460	2390	2740

Подытоживая, важно отметить, что с помощью предложенной эмпирической формулы (2) есть возможность устанавливать целесообразность внедрения специальных полос на перегонах улиц по значениям минимального объема пассажиропотока, который в свою очередь позволяет учитывать особенности дорожно-транспортных условий на элементах уличной сети.

Процесс оценки потенциальных условий по критерию III, или процесс расчета уровня загрузки на полосах П_н, можно сформировать в виде оследовательности, представленной на рисунке 3.



Рисунок 3. – Оценка состояния ТП на неприоритетных полосах

Важнейшим этапом в этой последовательности является прогнозирование изменения интенсивности, а значит, и уровня загрузки на полосах п_н после использование специальных полос. Оценка потенциальных дорожно-транспортных условий на целесообразность внедрения специальных полос на перегонах улиц по трем критериям, а также процесс подбора типов и вариантов специальных полос по разным характеристикам можно сформировать в виде следующего алгоритма (рисунок 4).

Заключение. Решена задача по разработке формализованного методологического аппарата для оценки целесообразности внедрения выделенных полос. Научно обоснована и доказана несостоятельность традиционного критерия, основанного на интенсивности движения МТС, поскольку он не учитывает вариативность вместимости. Взамен предложен и теоретически обоснован более универсальный и объективный критерий – минимальный

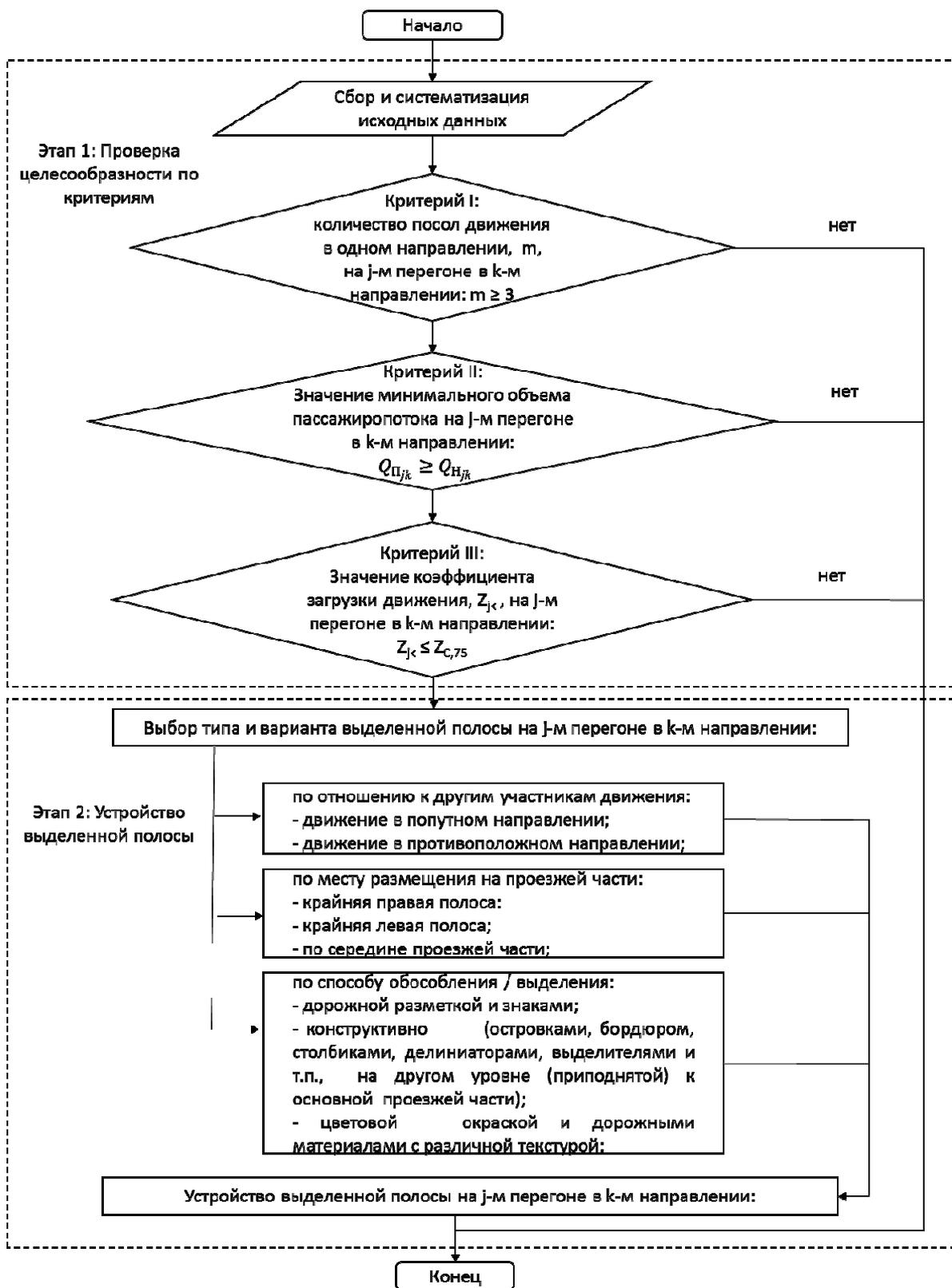


Рисунок 4. – Алгоритм внедрения специальных полос на перегонах улиц

объем пассажиропотока (950–5500 пасс./ч), напрямую коррелирующий с целью повышения качества обслуживания для максимального числа горожан. Разработана новая эмпирическая формула для его расчета, которая, в отличие от существующих фиксированных нормативов, является гибким инструментом, адаптируемым к конкретным дорожно-транспортным условиям. Кроме того, для обеспечения сбалансированности системы доказано, что состояние потока на непериприоритетных полосах следует определять уровнем загрузки, допустимая область которого не превышает 0,75.

Совокупность этих результатов представляет собой готовую к применению методику, которая переводит процесс принятия решений из субъективной плоскости в область объективного, научно обоснованного планирования городской транспортной инфраструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: справ.: [пер. с англ.] / В. У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт и др. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
2. Seo Y.U., Jang H., Park J.H. A Study on Setting-Up a Methodology and Criterion of Exclusive Bus Lane in Urban Area // Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – 2005. – Vol. 5. – P. 339–341.
3. Macleannan, C. PIARC: priority for public transport and other high occupancy vehicles (HOV) on urban roads // Roads special. – Vol. SPECIAL II, Iss. 10.07A. – P. 1–51.
4. Хомяк Я.В. Организация дорожного движения. – Киев: Высш. шк., 1986. – 270 с.
5. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учеб. – М.: Академия, 2008. – 352 с.
6. 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.
7. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением: [пер. с англ.]. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
8. Фомин И.А. Город в системе населенных мест. – Киев: Будівельник, 1986. – 111 с.
9. Schnabel W., Lohse D. Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 1: Straßenverkehrstechnik, 2. Auflage. – Berlin: Verlag für Bauwesen GmbH, 1997. – 595 p.
10. Врубель Ю.А., Капский Д.В., Кот Е.Н. Определение потерь в дорожном движении. – Минск: БНТУ. – 240 с.

Поступила 22.12.2025

A SOCIALLY-ORIENTED APPROACH TO SELECTING PRIORITY MEASURES FOR ORGANIZING PUBLIC TRANSPORT

LIU YUWEI

(Belarusian National Technical University, Minsk)

This article develops a formalized methodological framework for assessing the feasibility of introducing dedicated lanes for public transport (PRT) to ensure the sustainable development of transportation systems in megacities and agglomerations. A new, more universal, and objective socially-oriented criterion—the minimum passenger flow – is proposed and scientifically substantiated. An empirical formula for calculating it is proposed, taking into account specific road conditions on street sections.

Keywords: sustainable development, public transport, priority, lane, criterion, socially-oriented approach.