



*П.И. Смирнов<sup>1</sup>, Махди Юсефи Неджад Аттари<sup>2</sup>*  
<sup>1</sup>Вологодский государственный университет,  
<sup>2</sup>Исламский университет Азад

## **ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ГАБАРИТА ПАССАЖИРА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОГО ГОРОДСКОГО ДВИЖЕНИЯ**

Цель работы – уточнение применяемого показателя «динамического габарита транспортного средства», характеризующего размер участка городской улицы, занимаемого автомобилем при его движении. Данный показатель напрямую влияет на величину «динамического габарита пассажира». В случае относительно свободного движения транспорта в межпиковое время и при движении в час пик, показатели достаточно сильно меняются из-за изменения средней скорости, замедления при торможении и дистанции между автомобилями. Для приведенных случаев рассчитаны удельные величины затрат энергии, времени движения и финансовых затрат на перемещение условного пассажира разными видами транспорта: автомобиль, автобус на традиционном топливе, троллейбус, электробус, велосипед и электрический самокат. Определен общий вклад в загрязнение окружающей среды при текущей структуре транспортного потока и выполнен прогнозный расчет при его изменении с увеличением доли электротранспорта. Полученная уточненная математическая модель затрат энергии на перемещение одного пассажира с уточненными переменными позволяет прогнозировать эффект от изменения структуры транспортного потока и его характеристик для оценки перспективных подходов снижения затрат энергии на транспорте и улучшения экологической ситуации.

Автобусы, моделирование трафика, энергоэффективность транспорта, автономные транспортные средства.

Задача снижения углеродного следа, уменьшения зависимости от невозобновляемых источников энергии и дальнейшего увеличения экологической безопасности транспорта в современном понимании не имеет иного результативного решения, кроме как резкое увеличение доли электрифицированного транспорта. В 2020 году по всему миру было продано свыше 3 млн новых электромобилей (EV), включая как легковые автомобили, так и грузовые и автобусы. При этом относительно 2019 года рост составил порядка 41 %. В общем объеме количество электромобилей составляет 4,6 %. Сложившейся тенденции роста числа EV во всех сферах транспорта способствуют весьма значимые причины: снижение фискальной нагрузки при приобретении данной техники, дотации от государства, уменьшение операционных затрат [1]. С точки зрения реализации стратегии устойчивого транспортного развития городов и агломераций эти масштабные изменения должны повлечь за собой пропорциональное снижение выбросов токсичных веществ и твердых частиц и уменьшение числа экологических проблем от эксплуатации транспортных средств [2]. Однако стоит отметить, что вызывают вопросы как сам процесс перехода на электротранспорт, так и оценка эффективности его использования [3, 17]. Подавляющая доля приобретаемых EV концентрируется в странах западной Европы и США. Так, на 2020 год в Норвегии почти 55 % продаваемых автомобилей составили EV и 20,4 % – гибридные автомобили. Успехи развивающихся стран в этом процессе не так значительны – в том же 2020 году в России было продано всего 687 новых EV, что хоть и выше на 95 % по сравнению с продажами в

2018 году, но составляет не более чем 0,04 % от общего объема продаж автомобилей в этой стране. При этом в Москве на февраль 2022 года на 68 маршрутах работало чуть более 1000 электробусов. По этому показателю столица России занимает лидирующую позицию. Все же стоит отметить, что в общем итоге электрификация транспорта развивающихся стран мира (Россия, Иран, Индия и Китай) идет по достаточно консервативному сценарию и это не может не внушать беспокойство. Отдельная проблема – это внедрение электротранспорта в существующую транспортную систему крупных городов, изначально спланированную под традиционный транспорт, переживающую резкий рост автомобилизации населения и острый недостаток финансирования инфраструктурных проектов.

В рамках крупных городов со сложившейся дорожной инфраструктурой и плотно застроенными историческими центрами, включающими в себя относительно узкие улицы и отсутствие возможности строительства скоростных магистральных дорог, эксплуатация электробусов и EV вызывает ряд вопросов эффективности их использования и итоговых энергозатрат. Дело здесь в высокой плотности движения в часы пик и наличии устаревшей дорожной инфраструктуры индустриальной эпохи, способствующей образованию и распространению дорожных заторов [4]. При принятии управленческих решений в рамках изменения транспортной стратегии в таких городах решения принимаются без достаточного обоснования и необходимых расчетов, при этом ожидаемый эффект от их эксплуатации не оценен. В работе [5] был рассмотрен вариант использования электробусов на су-

существующих маршрутах общественного транспорта в Brunei, при этом стоимость эксплуатации электробусов оказалась существенно выше, чем у дизельных автобусов. Авторы показали, что лишь введение государственных субсидий на приобретение, уменьшение субсидирования покупки дизельного топлива и введение налога на покупку автобусов на традиционном топливе смогут обеспечить сравнимые удельные затраты при эксплуатации электробусов. Отдельное внимание заслуживает отсутствие приемлемого экологического эффекта от их работы ввиду существующей структуры источников выработки электроэнергии в Brunei. В это же время моделирование работы электробусов в 4 городах Испании [6] наглядно показало увеличение выбросов CO<sub>2</sub> на 60 % за жизненный цикл и увеличение стоимости жизненного цикла на 30 % по сравнению с дизельным вариантом. Именно на необходимость спланированной и научно обоснованной государственной политики по внедрению электробусов в транспортную систему указывают авторы работы [7], при этом приводится пример стандартизации подхода к определению стоимости жизненного цикла электробусов в Malaysia. Именно проблемы внедрения электробусов в существующих системах общественного транспорта привели к всплеску внимания к уже утратившим популярность в ряде стран Восточной Европы троллейбусам. Работа [8] посвящена установлению путей дальнейшего совершенствования опыта применения троллейбусов с технологиями автономной работы для конкуренции их с электробусами. Сама постановка вопроса, наряду с исследованием [9], говорит о неоднозначности применения электробусов именно в свете потенциального снижения выбросов CO<sub>2</sub> и необходимости тщательной оценки эффективности их применения. Авторы [10] называют основные критерии применения электробусов как общественного транспорта с низким/нулевым уровнем выбросов (UPT), такие как: устойчивое экономическое развитие, постиндустриальный характер экономики города, высокий человеческий потенциал жителей. При этом само применение UPT заявляется в том числе как инструмент повышения статуса города и результат применения политики опережающего развития.

Наибольший интерес представляют работы, посвященные глубокому анализу как структуры и величин затрат на эксплуатацию автобусов различных типов, так и оценке потенциального экологического эффекта их применения. Так, в работе [11] проанализирован жизненный цикл автобусов на сжатом природном газе, электробусов и дизельных автобусов, эксплуатируемых в Qatar. Исследование показало, что электробусы имеют чуть худшие результаты по величине затрат на протяжении всего жизненного цикла, однако лучшие экологические показатели по сравнению с автобусами на сжатом природном газе. Стоит отметить, что основная часть электроэнергии в Qatar производится за счет сжигания природного газа. Более детальное исследование эффективности применения электробусов с точки зрения обеспечения минимального расхода заряда аккумуляторных батарей привели авторы работы [12]. В ней был установлен оптимальный диапазон скоростей движения в 11–18 км/ч для уменьшения расхода заряда батареи,

при этом исследование наглядно показало, что наибольшее снижение длительности пробега на одной зарядке дает неустойчивый режим движения. Разница в расходе энергии достигала 19 %.

Именно проблема реалистичной оценки выбросов CO<sub>2</sub> на всех стадиях жизненного цикла электробусов с учетом прямых и косвенных выбросов поднималась в работе [13], при этом обсуждается экономический эффект электрификации автобусов и последующий углеродный след от этих мероприятий в Масане. Авторами работы предлагается новая методология оценки углеродной ценности электрификации автобусов в течение жизненного цикла (OLCVBE). Показано, что наибольшее влияние на OLCVBE оказывает величина выбросов при выработке электроэнергии, потребление электроэнергии, зависящее от скорости, количества остановок электробусов и т.д., и менее важным параметром является годовой пробег техники. При этом была продолжена идея исследований по экологической составляющей перевода автобусов на электропривод с учетом оценки стоимости углеродных активов [14] на примере Пекина (Китай). В целом авторами статьи подчеркивается мысль о необходимости использования как методологии перехода на электробусы от автобусов на традиционном топливе, так и оценки потенциального изменения углеродного следа в этот период. Показательна оценка изменения выбросов при электрификации автобусов в Greater Houston Area (USA) в работе [15]. При этом показано, что выбросы GHGs, VOCs, NOx и сажи для электробусов существенно ниже, чем для дизельных и гибридных автобусов, при этом выбросы PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SOx, N<sub>2</sub>O и сажи в случае электробусов выше. Этот пример показателен тем, что в регионе исследований порядка 50 % электроэнергии производится за счет сжигания природного газа, в то время как в [11] это основной источник. В любом случае обе указанные работы подчеркивают далеко неоднозначную ситуацию по уменьшению выбросов в атмосферу при электрификации парка автобусов, хотя логичен вывод о необходимости постепенного замещения «грязных» источников электроэнергии на альтернативные «зеленые».

Исследователи [16] подчеркивают, что применение электробусов в реальных условиях эксплуатации с частыми перегрузками приводит к резкому увеличению потребления электроэнергии и соответственно к снижению экологических показателей. В работе установлены величины энергопотребления электробусами в диапазоне от 1,7 до 4,1 кВт·ч/км для BEB12 и от 1,2 до 2,9 кВт·ч/км для BEB10 (т.е. при длине транспортного средства 12 и 10 м) соответственно при всех условиях эксплуатации (т.е. 18 различных моделей) при средней скорости, массе загрузки и использовании кондиционера. Разброс значений порядка 300 % пропорционально влияет на величины выбросов (CO<sub>2</sub>) и загрязнение воздуха. При этом показано, что снижение выбросов CO<sub>2</sub> и PM<sub>2.5</sub> не произошло бы при условии использования электроэнергии от угольных электростанций. Одним из вариантов выхода из ситуации было бы применение транзитных автобусов, продемонстрированное в работе [18], которые позволили добиться величины выбросов 0,23–19,7 г CO<sub>2</sub> на 1 пассажиро-километр. Однако данный вариант мо-

жет быть использован как целевой показатель при эксплуатации городских электробусов, но не как действующая методика применения. Соответственно, в работе [19] классифицируются подходы к оценке энергопотребления электробусов и подчеркивается необходимость внедрения различных методов для автобусных парков крупных и малых по численности населения городов. Также указано на приоритетность в современных исследованиях методологии оценки величины энергопотребления по методу well-to-wheel (WTW), т.е. от скважины до колеса.

В рамках исследования произведен сбор информации по параметрам движения транспортных и пассажирских потоков в Вологде по участку одной из магистральных улиц, соединяющих жилой район с центром города. На основе полученных экспериментальных данных была скорректирована имеющаяся математическая модель «динамического габарита транспортного средства» и на основе ее получена уточненная модель «динамического габарита пассажира». Полученные модели позволили на основе имеющихся в свободном доступе данных по энергозатратам на движение электробусов, троллейбусов и традиционных транспортных средств получить сведения о влиянии характеристик транспортного потока и его структуры на итоговый экономический и экологический эффект при перемещении населения в рамках ежедневных регулярных поездок. Понимание механизмов связи данных показателей может стать основой для принятия взвешенных и обоснованных решений в области приобретения электротранспорта

и политики перехода к стратегии устойчивого транспортного развития крупных и исторических индустриальных городов [5].

Экспериментальные исследования были проведены в сентябре 2021 года в Вологде, Россия. Население города – 312 000 жителей, автомобилизация порядка 104 000 автомобилей, площадь города 116 км<sup>2</sup>. Для контроля транспортного потока был выбран маршрут длиной 2,3 км по магистральной улице Чернышевского, связывающей большой жилой район с центром города (рис. 1). Измерения проводились в 2 этапа. 1 этап – в будние дни в межпиковое время с 14:00 до 15:00, 2 этап – в вечерний час пик с 17:30. до 18:30.

Продолжительность снятия данных – 5 дней, с понедельника по пятницу. Данные по интенсивности движения автомобилей, автобусов и пешеходов были получены с помощью визуального наблюдения по камерам Vaza.net, внедряемой в настоящее время в городе интеллектуальной транспортной системы (ITS) и данных сервера слежения за общественным транспортом Yandex, данные о количестве пассажиров общественного транспорта с помощью усреднения по данным визуального наблюдения и статистическим данным перевозчиков. Количество велосипедистов и пешеходов определено в ходе непосредственного мониторинга камер наблюдения. Величины затрат энергии на движение электробусов использованы из [7, 8], для троллейбусов взяты данные эксплуатации городского транспортного предприятия, данные о скорости движения усреднены по значениям, полученным от детекторов транспорта ITS.

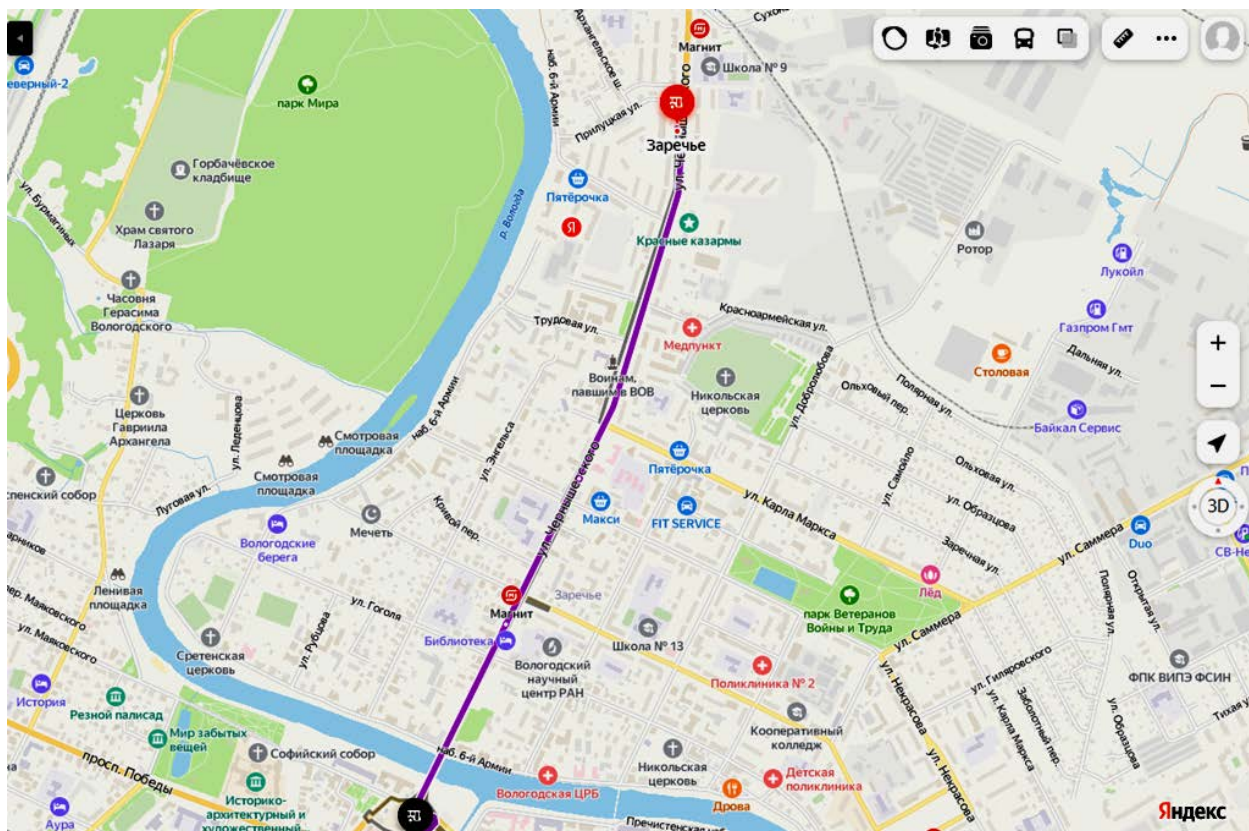


Рис. 1. Схема изучаемого маршрута

Результаты исследования состава транспортного потока по указанному маршруту, интенсивности движения и объему перевезенных пассажиров приведены в таблицах 1–2.

Таблица 1

**Данные транспортного потока (будние дни в межпиковое время с 14:00 до 15:00)**

Участники	Показатели перевозки		
	Среднее количество за час	Пассажиров всего	Средняя скорость, км/ч
Пешеходы	72	72	4
Велосипеды/самокаты	24	24	14
Автомобили	1526	2075	24
Автобусы	18	450	14
Троллейбусы	6	150	12
Итого	1716	2771	-

Таблица 2

**Данные транспортного потока в час пик (с 17:30 до 18:30)**

Участники	Показатели перевозки		
	Среднее количество за час	Пассажиров всего	Средняя скорость, км/ч
Пешеходы	152	152	4
Велосипеды/самокаты	32	32	14
Автомобили	1316	1711	12
Автобусы	8	200	8
Троллейбусы	2	50	6
Итого	1510	2145	-

Указанные в таблицах 1–2 данные по наполняемости автобусов и троллейбусов были рассчитаны исходя из полученной средней загрузки транспортных средств в 25 человек (обработанные результаты с терминалов продажи билетов), наполняемость легкового автомобиля была принята в 1,3 человека в легковом автомобиле по данным визуального наблюдения. При подсчете количества автомобилей грузовые автомобили категории N1 приравнены к легковым автомобилям, а N2 и N3 игнорировались в виду малого количества на этом участке, автобусы были приравнены к одному классу M3.

Н.В. Якунина [20] предложила на базе известного понятия «динамического габарита транспортного средства», определяющего длину улицы, занимаемую транспортным средством, использовать показатель «динамического габарита пассажира». Введение данного показателя позволяет оценить загрузку дорожной сети при том или ином способе перевозки пассажира.

Величина  $L_{pass}$  «динамического габарита пассажира» определяется по формуле (2) при использовании показателя  $L_d$  «динамического габарита транспортного средства» (1) в случае плотного городского движения при использовании безопасной дистанции между движущимися транспортными средствами в размере габаритной длины:

$$L_d = V \cdot T + V^2 / (2J) + 2L_c, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость автомобиля, м/с;

$T$  – время реакции водителя, с;

$J$  – замедление при экстренном торможении, м/с<sup>2</sup>;

$L_c$  – длина автомобиля, м.

$$L_{pass} = L_d / (\gamma q), \text{ м}, \quad (2)$$

где  $V$  – скорость автомобиля, м/с;

$\gamma$  – число мест в транспортном средстве;

$q$  – коэффициент загрузки.

В случае движения в час пик расстояние между транспортными средствами в потоке снижается до величины меньше габаритной длины транспорта с одновременным снижением величин скорости и замедления при торможении, что приводит к серьезному изменению значений этих показателей.

Результаты расчета показателей «динамической длины пассажира» для обоих случаев движения по анализируемому маршруту приведены в таблицах 3–4. В таблицах 5–6 приведены результаты расчета времени прохождения маршрута для каждого вида транспорта/участника движения, данные о стоимости проезда по маршруту приведены по данным сервиса Yandex для такси, стоимости проезда в городском общественном транспорте и усредненным данным по эксплуатации легковых автомобилей в городских условиях рассчитанным по методологии [21].

Таблица 3

**Расчетные показатели (будние дни в межпиковое время с 14:00 до 15:00)**

Участники	Показатели расчетные		
	Динамический габарит пассажира $L_{pass}$ , м	Динамический габарит участника $L_{d,m}$	Время прохождения маршрута с учетом ожидания, ч
Пешеходы	-	-	0,43
Велосипеды/самокаты	6,5	6,5	0,2
Автомобили	11,7	15,2	0,13
Автобусы	1,89	47,21	0,47
Троллейбусы	1,88	46,98	0,55
Итого	1716	2771	-

Далее для каждого вида транспорта был определен примерный вклад в энергопотребление и загрязнение атмосферного воздуха и получены усредненные удельные значения этих факторов на одного перевозимого пассажира по данным [7, 8].

Таблица 4

**Расчетные показатели (вечерний час пик в будний день с 17:30 до 18:30)**

Участники	Показатели расчетные		
	Динамический габарит пассажира $L_{pass}$ , м	Динамический габарит участника $L_{d,m}$	Время прохождения маршрута с учетом ожидания, ч
Пешеходы	-	-	0,43
Велосипеды/самокаты	6,5	6,5	0,2
Автомобили	8,97	11,66	0,3
Автобусы	1,84	46,11	0,61
Троллейбусы	1,84	45,91	0,68
Итого	1716	2771	-

Стоимость проезда (непосредственный тариф за перевозку и условные затраты, приведенные в слу-

чае эксплуатации личного автомобиля) приведены в таблице 5.

Таблица 5

**Расчетные показатели (вечерний час пик в будний день с 17:30 до 18:30)**

Участники	Тариф на перевозку/условная стоимость проезда по маршруту, руб.
Пешеходы	-
Велосипеды/самокаты	-
Автомобили	62
Автобусы	28
Троллейбусы	28
Такси Yandex	День – 96, вечер (час пик) – 245 (тариф динамический)

Применение подхода [20] позволило на основе полученных экспериментальных данных наблюдения за разнородным транспортным потоком получить расчетные характеристики величин динамических

габаритов транспорта и отдельных пассажиров в различных видах транспорта в условиях городского движения. Нахождение указанных величин для случая плотного городского движения в час пик позволило проследить динамику изменения этих показателей при резком изменении режимов движения – падении средней скорости движения и уменьшения дистанции до ближайшего автомобиля. Характеристики потока пассажиров на исследуемом маршруте приведены в таблице 6 и на рисунках 2 и 3.

Таблица 6

**Поток пассажиров на исследуемом маршруте в %**

Участники	% от общего объема в межпиковое время	% от общего объема в час пик
Пешеходы	5	7
Велосипеды/самокаты	2	2
Автомобили	46	80
Автобусы	35	9
Троллейбусы	12	2
Итого	100	100

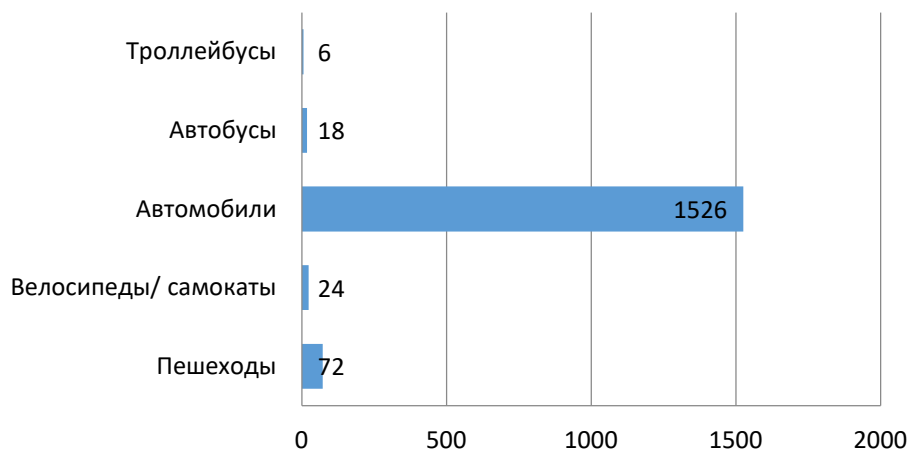


Рис. 2. Распределение пассажиров по видам транспорта в межпиковое время



Рис. 3. Распределение пассажиров по видам транспорта в час пик

Расчетные данные показывают, что динамический габарит пассажира при переходе от относительно свободного движения в случае межпикового времени к движению в плотном потоке транспорта в час пик изменяется для автобусов и троллейбусов всего на 2 %, в то время как для легковых автомобилей – на 23 % (в сторону уменьшения). Это происходит из-за резкого снижения дистанции между движущимися автомобилями, не смотря на общее снижение скорости движения. Автобусы и троллейбусы таким потенциалом не обладают, так как для них и так характерны невысокие относительно легковых автомобилей скорости движения и их большая вместимость нивелирует происходящие изменения при переходе к движению в плотном потоке. С другой стороны, данные наглядно показывают существенное изменение структуры потока пассажиров по видам транспорта при переходе ко второму режиму движения – плотный поток в час пик. При этом наряду со значительным (23 %) снижением общего количества людей, перемещающихся по этому маршруту в единицу времени (час), мы отмечаем резкое снижение пассажиров, перевозимых автобусами и троллейбусами – 56 % и 67 % соответственно. Это связано с тем, что в плотном потоке легковых автомобилей и при отсутствии на данном маршруте выделенных полос для общественного транспорта, последний существенно замедляется и не может выполнять требуемой периодичности движения. В час пик общее количество автобусов и троллейбусов на маршруте упало с 24 до 10 штук в час.

### Литература

1. Critical Raw Materials and Transportation Sector Electrification: A Detailed Bottom-Up Analysis in World Transport / Nache E., Seck G. S., Simoen M. [et al.] // *Applied Energy*. – 2019. – Vol. 240. – PP. 6–25.
2. Vehicular Traffic Management Based on Traffic Engineering for Vehicular Ad Hoc Networks / D. L. Guidoni, G. Maia, F. S. H. Souza [et al.] // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – PP. 45167–45183.
3. Gonzalez, R. A. Government and Governance in Intelligent Cities, Smart Transportation Study Case in Bogotá Colombia / R. A. Gonzalez, R. E. Ferro & D. Liberona // *Ain Shams Engineering Journal*. – 2020. – Vol. 11, no. 1. – PP. 25–34.
4. A Simple Contagion Process Describes Spreading of Traffic Jams in Urban Networks / M. Saberi, H. Hamedmoghadam, M. Ashfaq [et al.] // *Nature Communications*. – 2020. – Vol. 11, no. 1.
5. Techno-Economic Analysis and Environmental Impact of Electric Buses / N. K. Yusof, P. E. Abas, T. M. I. Mahlia & M. A. Hannan // *World Electric Vehicle Journal*. – 2021. – Vol. 12, no. 1.
6. Life Cycle CO<sub>2</sub> Footprint Reduction Comparison of Hybrid and Electric Buses for Bus Transit Networks / A. García, J. Monsalve-Serrano, R. Lago Sari & S. Tripathi // *Applied Energy*. – 2022. – Vol. 308.
7. Electric Buses in Malaysia: Policies, Innovations, Technologies and Life Cycle Evaluations / A. S. Al-Ogaili, A. Q. Al-Shetwi, T. S. Babu [et al.] // *Sustainability (Switzerland)*. – 2021. – Vol. 13, no. 21.
8. Potom, M. Technology Development and Spatial Diffusion of Auxiliary Power Sources in Trolleybuses in European Countries / M. Potom // *Energies*. – 2021. – Vol. 14, no. 11.
9. Barttomiejczyk, M. Possibilities for Developing Electromobility by Using Autonomously Powered Trolleybuses Based on the Example of Gdynia / M. Barttomiejczyk & M. Potom // *Energies*. – 2021. – Vol. 14, no. 10.
10. The Second Generation Electromobility in Polish Urban Public Transport: The Factors and Mechanisms of Spatial Development / R. Guzik, A. Kotoś, J. Taczanowski, [et al.] // *Energies*. – 2021. – Vol. 14, no. 22.
11. Dynamic EV Charging Pricing Methodology for Facilitating Renewable Energy with Consideration of Highway Traffic Flow / S. Zhou, W. Gu, Y. Qiu [et al.] // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – PP. 13161–13178.
12. Understanding the Energy Consumption of Battery Electric Buses in Urban Public Transport Systems / S. Wang, C. Lu, C. Liu [et al.] // *Sustainability (Switzerland)*. – 2020. – Vol. 12, no. 23. – PP. 1–12.
13. Xu, X. Operational Lifecycle Carbon Value of Bus Electrification in Macau / X. Xu & L. Han // *Sustainability (Switzerland)*. – 2020. – Vol. 12, no. 9.
14. Xu, X. Carbon Asset of Electrification: Valuing the Transition from Fossil Fuel-Powered Buses to Battery Electric Buses in BEIJING / X. Xu, X. Lv & L. Han // *Sustainability (Switzerland)*. – 2019. – Vol. 11, no. 10.
15. Du, H. Environmental Sustainability of Public Transportation Fleet Replacement with Electric Buses in Houston, a Megacity in the USA / H. Du & R. R. Kommalapati // *International Journal of Sustainable Engineering*. – 2021. – Vol. 14, no. 6. – PP. 1858–1870.
16. Energy Consumption and Well-To-Wheels Air Pollutant Emissions of Battery Electric Buses under Complex Operating Conditions and Implications on Fleet Electrification / X. He, S. Zhang, W. Ke // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 171. – PP. 714–722.
17. Rodrigues, A. L. P. Battery-Electric Buses and their Implementation Barriers: Analysis and Prospects for Sustainability / A. L. P. Rodrigues & S. R. C. Seixas // *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. – 2022. – Vol. 51.
18. Occupancy and GHG Emissions: Thresholds for Disruptive Transportation Modes and Emerging Technologies / A. Soukhov & M. Mohamed // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. – 2022. – Vol. 102.
19. Review of the Estimation Methods of energy Consumption for Battery Electric Buses / A. S. Al-Ogaili, A. Q. Al-Shetwi, H. M. K. Al-Masri // *Energies*. – 2021. – Vol. 14, no. 22.
20. Modeling of the Structure of Passenger Traffic Flows Using the Indicator of the Dynamic Passenger Size / N. V. Yakunina, D. H. Nurgaliev, S. V. Logachev, D. S. Mukhamedov // *Intelligence. Innovations. Investment*. – 2015. – № 4. – PP. 140–145.
21. Smirnov, P. I. On the Issue of Choosing the Optimal Model of Rolling Stock Based on Forecasting the Values of Operating Costs / P. I. Smirnov // *Journal "AGZK + AT"*. – 2018. – Vol. 17, No. 9. – PP. 416–419.

**CHANGE IN VALUE OF PASSENGER DYNAMIC DIMENSION  
FOR VARIOUS MODES OF TRANSPORT IN CONDITIONS OF DENSE URBAN TRAFFIC**

The purpose of the work is to clarify the applied indicator of the “dynamic dimension of the vehicle” characterizing the size of the section of the city street occupied by the car when it is moving. This indicator directly affects the value of the “dynamic passenger size”. In the case of relatively free traffic during inter-peak times and during rush hour traffic, the indicators vary quite a lot due to changes in average speed, deceleration during braking and distance between cars. For the above cases, the specific values of energy costs, travel time and financial costs for the movement of a conditional passenger by different modes of transport are calculated: a car, a bus on traditional fuel, a trolleybus, an electric bus, a bicycle and an electric scooter. The total contribution to environmental pollution is determined for the current structure of the traffic flow and a predictive calculation is made when it changes with an increase in the share of electric transport. The obtained refined mathematical model of energy costs for the movement of one passenger, with refined variables, makes it possible to predict the effect of changing the structure of the traffic flow and its characteristics in order to assess promising approaches to reduce energy costs in transport and improve the environmental situation.

Buses, traffic modeling, energy efficiency of transport; autonomous vehicles.