

## СРЕДСТВА ПЕРСОНАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

<sup>1</sup>Карасёва М. Г., <sup>2</sup>Лазарчик Е. А., <sup>3</sup>Семеняго П. П.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь, *tkaraseva@bntu.by*,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь, *ylazarchik.evgen@mail.ru*,

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь, *semenyagoravel@gmail.com*

**Аннотация.** В данной статье, рассматриваются какие математические методы используются при анализе эффективности средств персональной мобильности (СПМ), на что они оказывают влияние и как часто используются. Будут рассмотрены различные варианты передвижения с использованием комбинированных способов передвижения, даны субъективные оценки и подсчитаны затраты.

**Ключевые слова:** средства персональной мобильности, транспортная система, математические методы анализа эффективности.

**Abstract.** This article examines what mathematical methods are used to analyze the effectiveness of personal mobility devices (PMA), what they influence and how often they are used. Various travel options using combined modes of transportation will be considered, subjective assessments will be given and costs will be calculated.

**Key words:** personal mobility devices, transport system, mathematical methods for efficiency analysis.

Анализируя различную литературу, определим по каким показателям можно оценить эффективность использования средств персональной мобильности. Для этого рассмотрим, что из себя представляют средства персональной мобильности, далее изучим как часто используют жители города Минска.

Первое что мы бы хотели обсудить, это что такое СПМ (средства персональной мобильности). СПМ – устройство или приспособление, не являющиеся транспортными средствами, приводимые в движение двигателем и предназначенные для индивидуального или совместного (в случае наличия специально оборудованных мест для сидения) использования пешеходами.

Использование СПМ растет с каждым днем, в основном они используются для передвижения в городской среде, для передвижения на учебу, работу, в магазин и т. д.

На данный момент СПМ развивается все больше и больше, что приводит к созданию различных средств передвижения, таких как: электросамокат, моноколесо, гироскутер, электровелосипед и др. Электросамокатом считается

средство передвижения на двух колесах с электромотором. Гироскутер – уличное электрическое транспортное средство, выполненное в форме двух соединенных поперечных площадок для ступней, подвижных относительно друг друга, с колесами по бокам. Использует электродвигатели, питаемые от электроаккумулятора, и ряд гироскопических датчиков для самобалансировки и поддержания горизонтального положения площадки для ног. Моноколесо – это электрический самобалансирующийся уницикл (моноцикл) с одним колесом и расположенными по обе стороны от колеса подножками. Моноколесо является глубокой модернизацией Segway (рус. «Сигвэй») – электрическое самобалансирующееся транспортное средство компании Segway Inc. (рус. «Сегвэй Инк.») с двумя колесами, расположенными по обе стороны от водителя, внешне напоминающее колесницу. Электро-велосипед представляет собой велосипед с электрическим приводом, который частично или полностью обеспечивает его движение. Особенно бурное развитие СПМ, в первую очередь в крупных и больших городах, началось с приходом в эту сферу «шеринговых» компаний, осуществляющих функции предоставления их в аренду (прокат). Можно сказать, что СПМ используются посезонно, но сейчас можно встретить людей, которые в зимнее время используют электровелосипед. Поэтому мы не можем сказать, что СПМ используются только летом [1].

В нашей работе мы рассмотрим ряд методов измерения эффективности использования СПМ, таких как:

*Пройденное расстояние.*

По пройденному расстоянию мы сможем увидеть дальность поездок на СПМ. Средства Персональной Мобильности используются в городах. По данному показателю мы можем понять, насколько далеко мы сможем проехать, если сравнивать СПМ с автомобилями с двигателем внутреннего сгорания и общественным транспортом, то можно сделать вывод что автомобили с ДВС будут проезжать больше, как и общественный транспорт.

*Время в движении.*

Этот метод нам показывает затрачиваемое время на перемещения из точки А в точку В. Этот показатель является не совсем правильным, потому что, рассматривая крупные города такие как Минск, Москва и другие, у которых в центре обычно большая плотность трафика, поэтому Средства Персональной Мобильности будут более выгодны, в плане затрачиваемого времени на движение. Если рассматривать зоны крупных городов, где плотность трафика небольшая, то автомобильный транспорт будет более выгодным. Далее в нашей работе мы сможем увидеть, что в городской среде при выборе метода достижения различными способами мы можем сделать вывод что, использование электросамоката является очень выгодным.

*Средняя скорость.*

Этот метод нам показывает среднюю скорость Средств Персональной Мобильности, тут мы можем сказать, что существует множество видов СПМ. По-

этому мы возьмем скорость, которую с которой они должны двигаться по улицам, учитывая ПДД этой скоростью является 25 км/ч. Рассматривая авто с ДВС, то это 60 км/ч. Но мы рассматриваем максимальную разрешенную скорость, а учитывая плотность движения, вряд ли авто и СПМ будут двигаться только с этой скоростью, поэтому возьмем 15 км/ч для СПМ и 40 км/ч для авто с ДВС.

#### *Загрузка.*

По этому показателю мы можем увидеть, как часто используется в течении дня СПМ, опять же показатель является не совсем точным из-за сезонной зависимости, т. е. летом, весной, осенью СПМ используются гораздо чаще чем они же используются только зимой. Сравнивая авто с ДВС, то этот показатель будет также отличаться по сезонности, но эта разница будет очень мала, в отличии от использования СПМ.

#### *Затраты.*

Мы рассмотрим пример с приобретением электросамоката и выясним сколько будет стоить использование самоката в день. Начнем с того, что цены в сегменте электросамокатов на любой вкус и цвет! Они могут варьироваться от 250 € до 7000 €. Давайте представим, что вы решили приобрести электрический самокат за 350 €. Расход на электричество в течение всего года составит около 48–60 €. Значит в первый месяц вы потратите 400 € и в последующие месяцы при должном уходе за электросамокатом, расходы на него будут до 10 евро в месяц. Из этого можно сделать вывод, что электросамокат является довольно экономичным средством передвижения. Сравнивая его с покупкой авто с ДВС это будет намного выгоднее. Затраты на использование авто могут составлять от 115 € до 140 € в месяц.

#### *Экологическая эффективность.*

Транспорт вообще и автомобильный транспорт в частности оказывают огромное отрицательное воздействие на окружающую среду. К наиболее значимым видам отрицательного воздействия транспорта на окружающую среду относятся:

- загрязнение атмосферы вредными веществами отработавших газов автомобилей, а также парниковыми газами;
- шум и вибрации;
- электромагнитные излучения;
- необходимость выделения земли для объектов транспортной инфраструктуры, что сокращает ее полезную площадь.

При существующих тенденциях удельный вес выбросов углекислого газа, приходящихся на транспорт, достигнет 40 % к 2030 г. Результатами отрицательного воздействия транспорта на окружающую среду являются:

- рост смертности населения в результате заболеваемости;
- снижение физической активности и работоспособности граждан;
- снижение плодородия почвы и растений;
- смертность и травматизм в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП);
- климатические изменения [2].

Можно сразу отметить, что все большинство видов СПМ используют двигатели на электрической тяге, поэтому можно сказать, что они являются экологически чистым средством передвижения, в отличие от т/с использующих ДВС.

#### *Уровень безопасности.*

По этому пункту можно сказать, что, сравнивая авто и СПМ по безопасности, можно точно сказать, что авто является намного безопаснее. Но если рассматривать статистику, автомобилисты страдают намного чаще в ДТП чем пешеходы использующие СПМ, но опять же автомобилей гораздо больше передвигается на дороге в отличие от СПМ. Можно сделать вывод что при столкновении шансов у водителей авто гораздо больше, чем у пешеходов на СПМ.

Рассмотрим на примере использование СПМ в городе, сравним с разными методами достижения конечной точки. Для этого выберем конечную точку, которой явится 8 корпус БНТУ, разметив 8 зон и выбрав из них начальные точки, мы можем приступить к сравнению. Сравнивать мы будем 6 пунктов, таких как:

1. Пешком.
2. Пешком + самокат.
3. Пешком + троллейбус (автобус) + пешком.
4. Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + пешком.
5. Пешком + троллейбус (автобус) + самокат + пешком.
6. Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + самокат + пешком.

По этим 6 различным способам достижения конечной точки в 8 различных зонах мы выясним является ли использование СПМ эффективным в городской среде.

Сразу стоит отметить, что мы рассматриваем все способы, даже если они не эффективны, например, из зоны А пешком можно быстрее добраться чем способами 3–6, но в других случаях мы уже рассматривали наиболее оптимальные маршруты. Также нужно сказать, что в стоимости мы записывали наименьшие расходы, которые может потратить человек, если выберет той или иной маршрут. В приведенных расходах мы отмечаем максимальную стоимость поездки. Поэтому в стоимость мы вписывали только цену 1 проезда на автобусе/троллейбусе с учетом того, что талончик будет куплен заранее, так же мы не учитывали стоимость поездки на самокате, рассматривая что у пешехода есть свой личный самокат. В приведенные расходы мы записывали стоимость 1 проезда на автобусе/троллейбусе с учетом того, что талончик будет куплен у водителя городского транспорта, также учитывали стоимость поездки на самокате, с учетом того, что он будет взят на прокат, поэтому мы считали, что 2 р. будет потрачено на начало поездки и 0,29 р. за каждую минуту проезда на средстве персональной мобильности. Время мы рассчитывали с использованием Яндекс Карты. Время в пунктах 2–6 нельзя назвать точно из-за того, что:

1. Требуется время дойти до самоката, если он не взят в аренду.
2. Не все автобусы/троллейбусы приезжают на остановку сразу, требуется время на ожидание.

Время, чтобы дойти до самоката, мы брали как время дойти до ближайшей виртуальной парковки или до большого скопления самокатов. Для этого мы использовали приложения для взятия самоката на прокат – Whoosh.

1. В зоне А точкой отправки мы взяли – ТЦ Монетка.
2. В зоне В точкой отправки мы взяли – Вело магазин M-velo.
3. В зоне С точкой отправки мы взяли – ТЦ Зебра.
4. В зоне D точкой отправки мы взяли – Ресторан Бергамо.
5. В зоне E точкой отправки мы взяли – Супермаркет Санта.
6. В зоне F точкой отправки мы взяли – Кофейня Rosso.
7. В зоне G точкой отправки мы взяли – Ср. школа № 35 имени Д. Азизова.
8. В зоне H точкой отправки мы взяли – Минская ЦРБ, поликлиника № 1.

Рассмотрим каждый маршрут и выявим самый оптимальный способ добраться до какого-либо места в городской среде.



Рисунок 1 – Потенциальные маршруты

Также рассмотрим затрачиваемое время и затраты, затраты мы подсчитаем в таблице, в конце нашей работы и в колонке «Субъективная оценка» мы отметим плюсы и минусы каждого маршрута.

На рисунке 1 можно увидеть карту с границами зон и крестиками мы обозначили наши места, с которых мы будем начинать путь, кружочком обведено место, которое является конечным местом (Белорусский национальный технический университет, учебный корпус № 8).

В колонке «Субъективная оценка» мы отметили плюсы и минусы того или иного пути.

Таблица 1 – Результаты вычислений

	Время, мин	Стоимость, руб.	Субъективная оценка	Приведенные расходы, руб.
Зона А				
Пешком	10	0	(-/+) Наибольшее время достижения цели (+) Наименее затратное	0
Пешком + самокат	4–6	0	(+/-) Затратное в случае, если самокат брать на прокат (+) Наименьшее время достижения цели	$2 + 1,16 = 3,16$
Пешком + троллейбус (автобус) + пешком	19–22	0,85	(-) Наибольшее время достижения цели (+/-) Требуется затрат только на билет	0,90
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + пешком	16–20	0,85	(-) Требуется большого времени на достижение цели (-) Требуется затрат на билет и прокат самоката	$0,9 + (2 + 1,16) = 4,06$
Пешком + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	14–17	0,85	(-) Требуется большого времени на достижение цели (-) Требуется затрат на билет и прокат самоката	$0,9 + (2 + 1,16) = 4,06$

Продолжение таблицы 1

	Время, мин	Стоимость, руб.	Субъективная оценка	Приведенные расходы, руб.
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	12–16	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрат на билет и прокат самоката (×2) – Наиболее затратное	$(2 + 1,16) + 0,9 + (2 + 1,16) = 7,22$
Зона В				
Пешком	20	0	(–/+) Наибольшее время достижения цели (+) Наименее затратное	0
Пешком + самокат	9–10	0	(+/-) Затратное в случае, если самокат брать на прокат (+) Наименьшее время достижения цели	$(2 + 2,61) = 4,61$
Пешком + троллейбус (автобус) + пешком	21–25	0,85	(–) Наибольшее время достижения цели (+/-) Требуется затрат только на билет	0,90
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + пешком	18–21	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрат на билет и прокат самоката	$0,9 + (2 + 1,45) = 4,35$

Продолжение таблицы 1

	Время, мин	Стоимость, руб.	Субъективная оценка	Приведенные расходы, руб.
Пешком + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	15–19	0,85	(-) Требуется большого времени на достижение цели (-) Требуется затрат на билет и прокат самоката	$0,9 + (2 + 1,16) = 4,06$
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	13–18	0,85	(-) Требуется большого времени на достижение цели (-) Требуется затрат на билет и прокат самоката (×2) – Наиболее затратное	$0,9 + (2 + 1,45) + (2 + 1,16) = 7,51$
Зона С				
Пешком	19	0	(-/+) Наибольшее время достижения цели (+) Наименее затратное	0
Пешком + самокат	9–10	0	(+/-) Затратное в случае, если самокат брать на прокат (+) Наименьшее время достижения цели	$2 + 2,61 = 4,61$
Пешком + троллейбус (автобус) + пешком	16–19	0,85	(-) Наибольшее время достижения цели (+/-) Требуется затрат только на билет	0,90

Продолжение таблицы 1

	Время, мин	Стоимость, руб.	Субъективная оценка	Приведенные расходы, руб.
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + пешком	17–20	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрат на билет и прокат самоката	$0,90 + 2 + 0,29 = 3,19$
Пешком + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	11–15	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрат на билет и прокат самоката	$0,90 + 2 + 1,16 = 4,06$
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	12–16	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрат на билет и прокат самоката (×2) – Наиболее затратное	$0,90 + 2 + 2 + 0,29 + 1,16 = 6,35$
Зона D				
Пешком	27	0	(–/+) Наибольшее время достижения цели (+) Наименее затратное	0
Пешком + самокат	13	0	(+/-) Затратное в случае, если самокат брать на прокат (+) Наименьшее время достижения цели	$2 + 3,48 = 5,48$

Продолжение таблицы 1

	Время, мин	Стоимость, руб.	Субъективная оценка	Приведенные расходы, руб.
Пешком + троллейбус (автобус) + пешком	24–27	0	(–) Наибольшее время достижения цели (+/–) Требуется затрата только на билет	0,90
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + пешком	23–25	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрата на билет и прокат самоката	$0,90 + 2 + 1,16 = 4,06$
Пешком + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	17–21	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрата на билет и прокат самоката	$0,90 + 2 + 1,16 = 4,06$
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	15–17	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрата на билет и прокат самоката (×2) – Наиболее затратное	$0,90 + 2 + 0,29 + 2 + 1,16 = 6,35$
Зона Е				
Пешком	33–34	0	(–/+) Наибольшее время достижения цели (+) Наименее затратное	0

Продолжение таблицы 1

	Время, мин	Стоимость, руб.	Субъективная оценка	Приведенные расходы, руб.
Пешком + самокат	16	0	(+/-) Затратное в случае, если самокат брать на прокат (+) Наименьшее время достижения цели	$2 + 4,35 = 6,35$
Пешком + троллейбус (автобус) + пешком	21–25	0,85	(-) Наибольшее время достижения цели (+/-) Требует затрат только на билет	0,90
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + пешком	19–23	0,85	(-) Требует большого времени на достижении цели (-) Требует затрат на билет и прокат самоката	$0,90 + 2 + 0,29 = 3,19$
Пешком + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	17–20	0,85	(-) Требует большого времени на достижении цели (-) Требует затрат на билет и прокат самоката	$0,90 + 2 + 0,87 = 3,77$
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	16–19	0,85	(-) Требует большого времени на достижении цели (-) Требует затрат на билет и прокат самоката (×2)	$0,90 + 2 + 0,29 + 2 + 0,87 = 6,06$

Продолжение таблицы 1

	Время, мин	Стоимость, руб.	Субъективная оценка	Приведенные расходы, руб.
Зона F				
Пешком	30	0	(-/+) Наибольшее время достижения цели (+) Наименее затратное	0
Пешком + самокат	12	0	(+/-) Затратное в случае, если самокат брать на прокат (+) Наименьшее время достижения цели	$2 + 3,77 = 5,77$
Пешком + троллейбус (автобус) + пешком	18–22	0,85	(+/-) Наибольшее время достижения цели (+/-) Требуется затрат только на билет	0,90
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + пешком	18–22	0,85	(-) Требуется большого времени на достижение цели (-) Требуется затрат на билет и прокат самоката	$0,90 + 2 + 0,29 = 3,19$
Пешком + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	13–15	0,85	(-) Требуется большого времени на достижение цели (-) Требуется затрат на билет и прокат самоката	$0,90 + 2 + 1,16 = 4,06$

Продолжение таблицы 1

	Время, мин	Стоимость, руб.	Субъективная оценка	Приведенные расходы, руб.
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	13–15	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрат на билет и прокат самоката (×2) – Наиболее затратное	$0,90 + 2 + 0,29 + 2 + 1,16 = 6,35$
Зона G				
Пешком	33	0	(–) Наибольшее время достижения цели (+) Наименее затратное	0
Пешком + самокат	17–20	0	(+/-) Затратное в случае, если самокат брать на прокат (+) Наименьшее время достижения цели	$2 + 3,77 = 5,77$
Пешком + троллейбус (автобус) + пешком	22–26	0,85	(-/+) Наибольшее время достижения цели (+/-) Требуется затрат только на билет	0,90
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + пешком	24–28	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрат на билет и прокат самоката	$0,90 + 2 + 0,58 = 3,77$

Продолжение таблицы 1

	Время, мин	Стоимость, руб.	Субъективная оценка	Приведенные расходы, руб.
Пешком + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	19–23	0,85	(-) Требуется большого времени на достижение цели (-) Требуется затрат на билет и прокат самоката	$0,90 + 2 + 0,87 = 3,77$
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	21–25	0,85	(-) Требуется большого времени на достижение цели (-) Требуется затрат на билет и прокат самоката (×2) – Наиболее затратное	$0,90 + 2 + 0,58 + 2 + 0,87 = 6,35$
Зона Н				
Пешком	36	0	(-) Наибольшее время достижения цели (+) Наименее затратное	0
Пешком + самокат	19	0	(+/-) Затратное в случае, если самокат брать на прокат (+) Наименьшее время достижения цели	$2 + 4,35 = 6,35$
Пешком + троллейбус (автобус) + пешком	21–25	0,85	(-/+) Наибольшее время достижения цели (+/-) Требуется затрат только на билет	0,90

	Время, мин	Стоимость, руб.	Субъективная оценка	Приведенные расходы, руб.
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + пешком	22–26	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрат на билет и прокат самоката	$0,90 + 2 + 0,29 = 3,19$
Пешком + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	19–22	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрат на билет и прокат самоката	$0,90 + 2 + 0,87 = 3,77$
Пешком + самокат + троллейбус (автобус) + самокат + пешком	19–23	0,85	(–) Требуется большого времени на достижение цели (–) Требуется затрат на билет и прокат самоката (×2) – Наиболее затратное	$0,90 + 2 + 0,29 + 2 + 0,87 = 6,06$

В заключение можно сказать, что использование СПМ в городской среде выгодно, особенно если есть личный самокат. В этой работе мы, сравнивая СПМ в различных условиях, математически провели расчет, который показывает по стоимости и затраченного времени выгодно ли использовать СПМ.

#### Список использованных источников:

1. Карасёва, М. Г. Прогнозирование выбора пассажирами маршрута городской поездки с использованием средств персональной мобильности / М. Г. Карасёва // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сборник научных статей / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: С. В. Харитончик (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – Вып. 4. – С. 158–165.

2. Планирование устойчивой городской мобильности : учеб.-методич. пособие для студентов специальностей 1-44 01 01 «Организация перевозок и управление на автомобильном и городском транспорте», 1-44 01 02 «Организация дорожного движения», 1-44 01 06 «Эксплуатация интеллектуальных транспортных систем на автомобильном и городском транспорте» / А. О. Лобашов [и др.]; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Транспортные системы и технологии». – Минск : БНТУ, 2022. – 175 с.