

Д. Н. Самисько, канд. техн. наук, Т. А. Самисько, канд. техн. наук,  
Н. В. Юшков

Автомобильно-дорожный институт  
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОБУСОВ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

*Моделирование транспортных систем необходимо для проведения инженерного анализа и последующего утверждения эффективнейшего (с точки зрения стоимости, безопасности движения, пропускной способности и прочих факторов) инженерного решения. Создавая подобные модели, можно планировать транспортные системы современных городов. Изменения в одной части такой системы приводят к появлению изменений в других ее частях. Авторами предложено применить методы имитационного моделирования для составления расписаний движения автобусов.*

**Ключевые слова:** автобус, маршрут, моделирование компьютерное, скорость движения

### **Введение**

В работе предлагается скорости и время движения автобуса по маршруту движения определять на основании компьютерного моделирования движения с учетом технических характеристик автобуса, применяя разработанную компьютерную программу «Расчет скорости и времени движения» [1]. В результате применения программы рассчитываются скорости проезда и время движения по маршруту. При моделировании учитываются дорожные условия, технические характеристики автобуса, существующая (или предлагаемая) организация дорожного движения.

В данной работе рассматривается процесс движения автобуса по маршруту № 2 г. Горловки «ул. Гречнева – пос. Бессарабка». При этом исследуется влияние различных факторов на время нахождения автобуса на маршруте.

**Целью работы** является применение методики имитационного моделирования движения транспортного средства на примере городского автобусного маршрута № 2 г. Горловки «ул. Гречнева – пос. Бессарабка».

При этом исследуется влияние различных факторов на время нахождения автобуса на маршруте.

### **Основной материал работы**

Отечественный и зарубежный опыт доказал эффективность применения имитационного моделирования для принятия грамотных управленческих решений в сфере городского транспорта [2].

Для решения множества проблем и упрощения процессов на транспорте в городах существует ряд программных решений.

Однако у всех программных обеспечений есть существенный недостаток – их дороговизна. Именно поэтому авторами было принято решение о разработке собственного программного продукта, позволяющего моделировать движение автобуса по маршруту.

Для моделирования движения по маршруту № 2 г. Горловки «ул. Гречнева – пос. Бессарабка» нами использовались следующие исходные данные: в соответствии с существующей схемой организации дорожного движения максимальная разрешенная скорость на анализируемом участке составляет 60 км/ч; ширина полос движения для прямого и обратного направлений составляет 3,5 м., в зимний период – 3,0 м (у края проезжей части образуются

скопления снега); коэффициенты поперечного сцепления колеса с асфальтобетонной дорогой  $\varphi_{ук}$ : сухое – 0,6, влажное – 0,4, мокрое – 0,2, обледенелое – 0,1; коэффициенты сопротивления качению  $f_k$ : сухое – 0,01, влажное – 0,02, мокрое – 0,03, обледенелое – 0,05; общая длина анализируемого маршрута для прямого направления составляет 19 км 295 м, для обратного направления – 23 км 315 м [1].

Весь маршрут разбит на 86 характерных однородных участков для прямого направления и на 94 характерных однородных участка для обратного направления.

Пример анализируемых участков в прямом направлении для перегона «Поликлиника – шахта "2-бис"» представлен на рисунке 1.

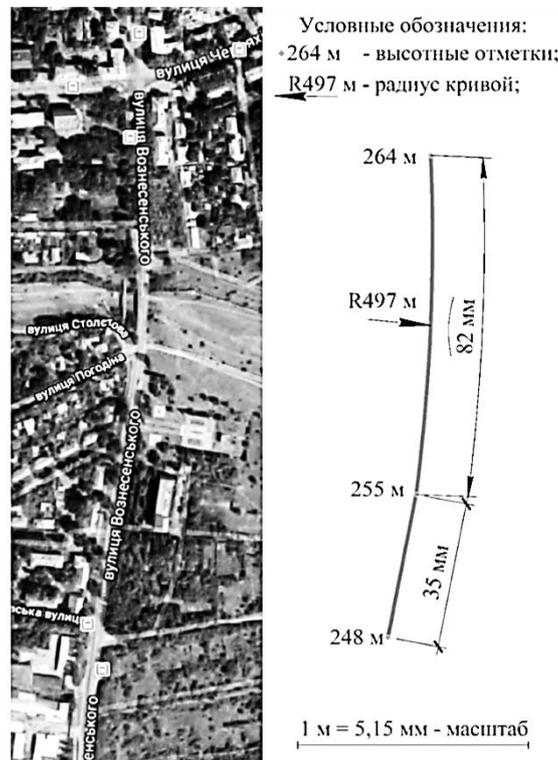


Рисунок 1 – Пример анализируемых участков в прямом направлении для перегона «Поликлиника – шахта "2-бис"»

Технические характеристики автобуса ПАЗ 320303-08 [3] приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики автобуса ПАЗ 320303-08

Полная масса автомобиля, т	8,5
Ширина автомобиля, м	2,41
Коэффициент изменения вертикальных реакций передней оси автомобиля	0,9
Коэффициент изменения вертикальных реакций задней оси автомобиля	1,1
Максимальная мощность двигателя, кВт	90
Максимальная скорость автомобиля, км/ч	85
Скорость автомобиля, отвечающая максимальной мощности, км/ч	85
Коэффициент полезного действия трансмиссии	0,98
Колея колес автомобиля, м	1,94
Наибольшая высота автомобиля, м	2,8
Удельная касательная реакция колеса	0,03
База автомобиля, м	3,8
Коэффициент сопротивления воздуха, $\text{H} \cdot \text{c}^2 / \text{м}^4$	0,4
Максимально возможное ускорение, $\text{м} / \text{c}^2$	0,83
Максимально возможное замедление, $\text{м} / \text{c}^2$	3
Коэффициент снижения максимально возможного ускорения и замедления	0,7

Моделирование движения автобуса проводилось в программе «Расчет скорости и времени движения». В качестве примера для наглядности расчетов скоростей и времени движения автобуса на маршруте, проанализируем перегоны в прямом направлении «Поликлиника – шахта "2-бис"» (рисунок 2) [4, 5].

**Характеристики автомобиля**

1) Марка автомобиля	ПАЗ
2) Модель автомобиля	320303-08
3) Полная масса автомобиля, тонн	8,5
4) Ширина автомобиля, м	2,41
5) Коэффициенты изменения вертикальных реакций для осей автомобиля:	
- передней	0,9
- задней	1,1
6) Тип двигателя	
<input checked="" type="radio"/> бензиновый	
<input type="radio"/> дизельный	
7) Максимальная мощность двигателя,	90
8) Максимальная скорость автомобиля, км/ч	85
9) Скорость автомобиля, отвечающая максимальной мощности двигателя, км/ч	85
10) Коэффициент полезного действия транс.	0,98
11) Колея колес автомобиля, м	1,94
12) Наибольшая высота автомобиля, м	2,8
13) Удельная касательная реакция колеса	0,03
14) База автомобиля, м	3,8
15) Коэффициент сопрот. воздуха, Н*с <sup>2</sup> /м <sup>4</sup>	0,4
16) Максимально возможное ускорение, м/с <sup>2</sup>	0,83
17) Максимально возможное замедление, м/с <sup>2</sup>	-3

**Характеристики маршрута**

1) Количество характерных участков	5
2) Ширина полосы движения, м	3,5
3) Разрешенная скорость движения, км/ч	60

Построить таблицу

Номер характерного участка	1	2	3	4
Длина характерного участка, км	0,494	0,0526	0,413	
Продольные уклоны, градусы	0	0	-0,0057	7,778
Радиусы кривых в плане, км	10	0,0015	10	0,066
Коэффициент поперечного сцепл.	0,6	0,6	0,6	0,6
Угол попереч. уклона дороги, град	0	0	0	0
Коэффициент сопротивления кач.	0,01	0,01	0,01	0,01

Импортировать данные из Excel

4) суммарное время простоя на всех остановках, часов	0,016
5) суммарное время простоя из-за организации дорожного движения, часов	0

Расчитать максимально возможные скорости движения на характерных участках

Перейти к расчету скоростей движения с учётом ускорений

3) Графики | 4) Отчёт

2) Расчёт скоростей с учётом ускорений и замедлений

1) Расчёт скоростей из условий безопасности движения

**Скорости движения из условий безопасности движения**

Номер характерного участка	1	2	3	4
V1, км/ч	873,4	10,8	873,4	71,113
V2, км/ч	962,94	11,907	962,94	78,403
V3, км/ч	641,01	7,9257	641,01	52,192
V4, км/ч	708,67	8,7628	708,67	57,7
V5, км/ч	112,62	112,62	112,62	112,52
V6, км.ч	85	85	85	85
V7, км.ч	52,667	52,667	52,667	52,667
V8, км.ч	60	60	60	60

Примечание: V1 - Максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия бокового скольжения;  
V2 - максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия угрозы опрокидывания;  
V3 - максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия заноса передней оси автомобиля;  
V4 - максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия заноса задней оси автомобиля;  
V5 - максимально допустимая скорость движения из баланса мощностей;  
V6 - максимальная скорость автомобиля.  
V7 - максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия выезда автомобиля за границы полосы движения;

**Минимальные из возможных скоростей на участках из условий безопасности движения**

Номер характерного участка	1	2	3	4
Vmin	52,7	7,93	52,7	52,2

3) Графики | 4) Отчёт

1) Расчёт скоростей из условий безопасности движения

2) Расчёт скоростей с учётом ускорений и замедлений

**Коэффициенты снижения максимально возможного ускорения и замедления**

1) Коэффициент снижения максимально возможного ускорения	0,7
2) Коэффициент снижения максимально возможного замедления	0,7

**Скорректированные значения минимальных из возможных скоростей на участках из условий безопасности движения**

Номер характерного участка	1	2	3	4
Vmin	52,7	7,93	52,7	52,2

Номер характерного участка	1	2	3	4
Длина характерного участка, км	0,0439	0,0494	0,0526	0,413
Расчётное ускорение (замедление), м/с <sup>2</sup>	0,0552	0	1,95	0,17
Скорость на начале участка, км/ч	0	7,93	7,93	29,3
Скорость на участке, км/ч	23,1	7,93	29,3	52,2
Скорость в конце участка, км/ч	7,93	7,93	29,3	52,2
Путь разгона, км	0,0353	0	0,0526	0,17
Путь торможения, км	0,0086	0	0	0
Путь проходимый с постоянной скоростью	0	0,0495	0	0,28

**Результаты моделирования скоростей**

Номер характерного участка	3	4	5	6	7	8
Расстояние, км	0,0353	0,0353	0,0439	0,0439	0,0934	0,0934
Скорость, км/ч	23,1	23,1	7,93	7,93	7,93	7,93
Время движения, ч	0,0030	0,0030	0,0036	0,0036	0,0098	0,0098

Рисунок 2 – Пример расчетов на вкладках программы «Расчет скорости и времени движения» на перегонах в прямом направлении «Поликлиника – шахта "2-бис"».

Результаты моделирования могут быть сохранены в виде графиков и электронной таблицы Microsoft Office Excel для дальнейшего практического анализа (рисунок 3).

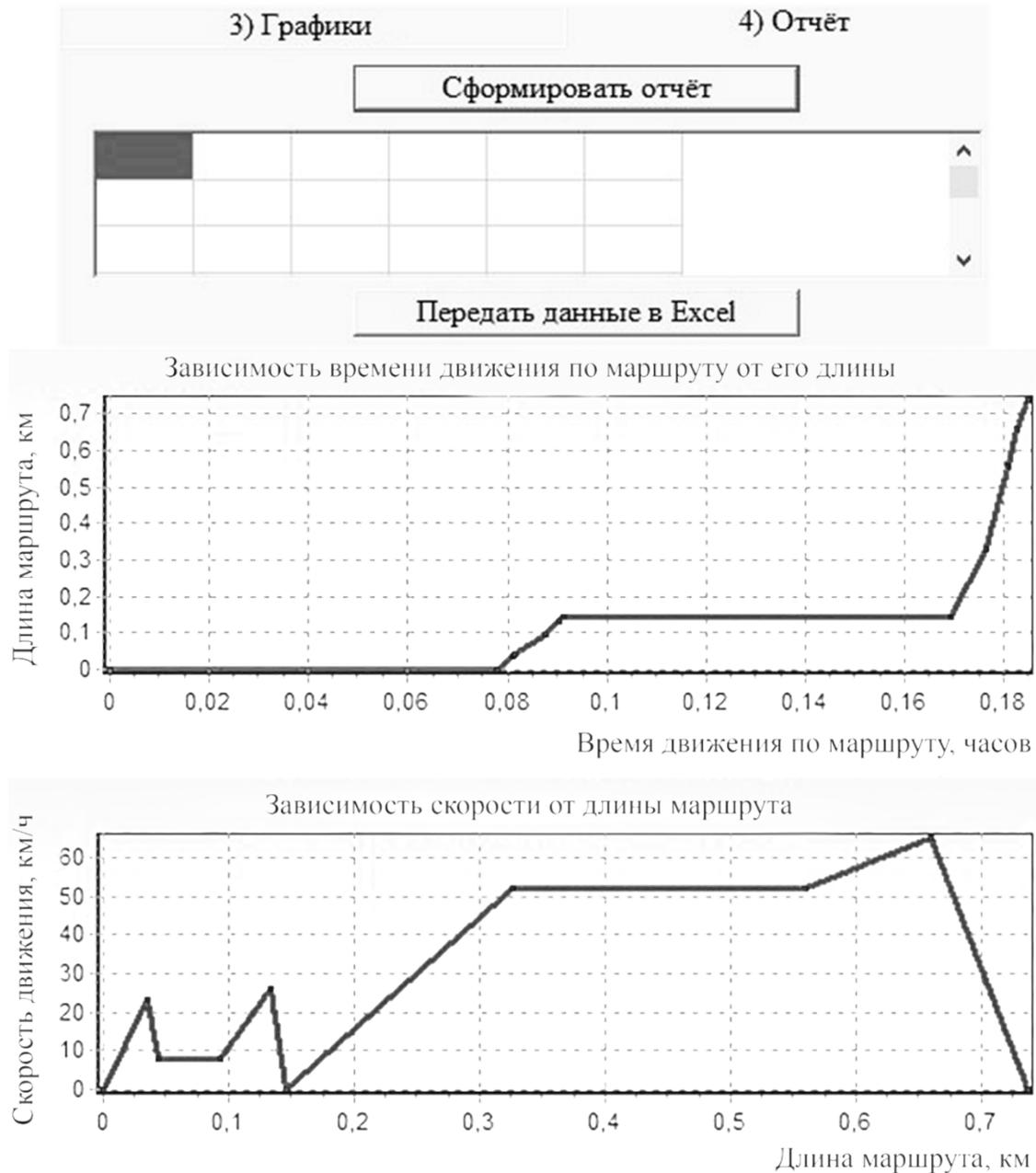


Рисунок 3 – Общий вид примера отчетов программы «Расчет скорости и времени движения» на перегонах в прямом направлении «Поликлиника – шахта "2-бис"».

Общее время движения по маршруту предлагается определять по формуле:

$$t_{\text{дв.м}} = t_{\text{мод}} + t_{\text{он}} + t_{\text{ОДД}}, \text{ ч.}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{мод}}$  – смоделированное время движения автобуса с помощью компьютерной программы «Расчет скорости и времени движения», ч.;

$t_{\text{он}}$  – простой на остановках для посадки-высадки пассажиров, ч.;

$t_{\text{ОДД}}$  – простой из-за организации дорожного движения, ч.

Суммарное время простоя на остановках для посадки-высадки пассажиров предлагается определять по формуле:

$$t_{no} = \frac{n \cdot t_n}{60 \cdot 60}, \text{ ч.}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество промежуточных остановок;

$t_n$  – время простоя на промежуточной остановке для посадки-высадки пассажиров, равное 28 сек [6].

С учетом формулы (2) общее время простоя на остановках для посадки-высадки пассажиров составит соответственно для прямого и обратного направлений движения по маршруту:

$$t_{no \text{ прямо}} = \frac{33 \cdot 28}{60 \cdot 60} = 0,257, \text{ ч.}$$

$$t_{no \text{ обратно}} = \frac{31 \cdot 28}{60 \cdot 60} = 0,241, \text{ ч.}$$

Суммарное время простоя из-за организации дорожного движения предлагается определять по формуле:

$$t_{ОДД} = t_{\text{нерег.пер.}} + t_{\text{рег.пер.}} + t_{\text{пеш.переход}}, \text{ ч.}, \quad (3)$$

где  $t_{\text{нерег.пер.}}$  – простой на нерегулированном перекрестке;

$t_{\text{рег.пер.}}$  – простой на регулируемом перекрестке;

$t_{\text{пеш.переход}}$  – простой из-за пешеходных переходов.

В прямом направлении на маршруте три нерегулированных перекрестка. Суммарное время простоя 45 сек берем из натуральных наблюдений.

В прямом направлении на маршруте пять регулируемых перекрестков. Суммарное время простоя 153 сек берем из натуральных наблюдений.

В прямом направлении на маршруте десять пешеходных переходов. Суммарное время простоя 50 сек берем из натуральных наблюдений.

Таким образом, суммарное время простоя из-за организации дорожного движения в прямом направлении в соответствии с формулой (3) составит:

$$t_{ОДД} = 45 + 153 + 50 = \frac{248}{60 \cdot 60} = 0,069, \text{ ч.}$$

На маршруте в обратном направлении четыре нерегулированных перекрестка. Суммарное время простоя 60 сек берем из натуральных наблюдений.

На маршруте в обратном направлении шесть регулируемых перекрестков. Суммарное время простоя 183 сек берем из натуральных наблюдений.

На маршруте в обратном направлении десять пешеходных переходов, суммарное время простоя 50 сек берем из натуральных наблюдений.

Таким образом, суммарное время простоя из-за организации дорожного движения в обратном направлении в соответствии с формулой (3) составит:

$$t_{ОДД} = 60 + 183 + 50 = \frac{293}{60 \cdot 60} = 0,0814, \text{ ч.}$$

Результаты моделирования движения автобусов по маршруту с использованием компьютерной программы «Расчет скорости и времени движения», а также расчеты по формулам (2) и (3) позволяют определить общее время движения по маршруту в различных дорожных условиях.

Общее время движения по маршруту в прямом направлении, тип покрытия – сухое:

$$t_{\text{об.м.}} = 0,671 + 0,257 + 0,069 = 0,997, \text{ ч.}$$

Общее время движения по маршруту в обратном направлении, тип покрытия – сухое:

$$t_{\text{об.м.}} = 0,0593 + 0,241 + 0,0814 = 0,915, \text{ ч.}$$

Общее время движения по маршруту в прямом направлении, тип покрытия – влажное:

$$t_{\text{об.м.}} = 0,896 + 0,257 + 0,069 = 1,224, \text{ ч.}$$

Общее время движения по маршруту в обратном направлении, тип покрытия – влажное:

$$t_{\text{об.м.}} = 0,741 + 0,241 + 0,0814 = 1,063, \text{ ч.}$$

Общее время движения по маршруту в прямом направлении, тип покрытия – мокрое:

$$t_{\text{об.м.}} = 1,58 + 0,257 + 0,069 = 1,906, \text{ ч.}$$

Общее время движения по маршруту в обратном направлении, тип покрытия – мокрое:

$$t_{\text{об.м.}} = 1,19 + 0,241 + 0,0814 = 1,515, \text{ ч.}$$

Общее время движения по маршруту в прямом направлении, тип покрытия – обледенелое:

$$t_{\text{об.м.}} = 3,25 + 0,257 + 0,069 = 3,576, \text{ ч.}$$

Общее время движения по маршруту в обратном направлении, тип покрытия – обледенелое:

$$t_{\text{об.м.}} = 2,46 + 0,241 + 0,0814 = 2,725, \text{ ч.}$$

Полученная информация позволяет построить графики «время – путь» и выполнить корректировку расписания движения автобусов на маршруте.

Кроме того, результаты моделирования движения автобуса по характерным однородным участкам маршрута позволят существенно повысить безопасность дорожного движения и предотвратить дорожно-транспортные происшествия, вызванные превышением скорости неопытными водителями.

Результаты моделирования показывают, что при сухом асфальтобетонном покрытии значения смоделированных скоростей движения и времени движения на маршруте для автобуса ПАЗ 320303-08 отличаются незначительно от полученных в ходе натуральных наблюдений на маршруте № 2 г. Горловки «ул. Гречнева – пос. Бессарабка».

При ухудшении дорожных условий наблюдается значительное увеличение смоделированного времени движения на маршруте. Естественно, предотвращая негативное развитие дорожной обстановки, водитель будет снижать скорость и тем самым может не успеть выполнить движение по расписанию. То есть график «время – путь» для данного автомобиля выйдет за пределы расписания.

### **Заключение**

Установлено, что результаты моделирования движения автобуса при помощи компьютерной программы «Расчет скорости и времени движения» могут использоваться для определения скоростей и времени движения автобуса по характерным однородным участкам маршрута и для корректировки расписания.

Кроме того, результаты моделирования скоростей движения могут использоваться для повышения безопасности дорожного движения путем определения значений безопасных скоростей движения для составления расписаний движения в разных дорожных условиях.

### Список литературы

1. Самисько, Д. Н. Моделирование процесса дорожного движения транспортного средства на i-м характерном однородном участке маршрута исследования / Д. Н. Самисько // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2011. – № 3. – С. 38 – 46.
2. Безбородова, Г. Б. Моделирование движения автомобиля / Г. Б. Безбородова, В. Г. Галушко. – Киев : Высшая школа, 1978. – 168 с.
3. ПАЗ-3203. Автобус малого класса для городских и пригородных перевозок. – Текст : электронный // ГАЗ : [сайт]. – URL: <http://bus.ru/buses/paz-3203/>.
4. Самисько, Д. Н. Алгоритм моделирования процесса дорожного движения транспортного средства / Д. Н. Самисько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 1/4(55). – С. 43–50.
5. Самисько, Д. Н. Производительность карьерных грузовых автомобильных перевозок : специальность 05.22.01 «Транспортные системы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Д. Н. Самисько. – Горловка, 2013. – 224 с.
6. Липенков, А. В. О подходах к моделированию времени простоя автобусов на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта / А. В. Липенков, О. А. Маслова, М. Е. Елисеев // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 3. – С. 84–93.

*Д. Н. Самисько, Т. А. Самисько, Н. В. Юшков*  
*Автомобильно-дорожный институт*

**ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**  
**Результаты применения имитационного моделирования движения автобусов**  
**в городских условиях**

Проведено моделирование движения автобуса по маршруту № 2 г. Горловки «ул. Гречнева – пос. Бессарабка». Были собраны соответствующие исходные данные. Моделирование движения автобуса проводилось в программе «Расчет скорости и времени движения».

При помощи программного продукта графически представлены примеры расчетов скоростей и времени движения автобуса на маршруте № 2 и пример отчета, сформированного по результатам этих расчетов.

На основании полученных исходных данных, используя программный продукт «Расчет скорости и времени движения», произведен расчет времени движения на маршруте в прямом и обратном направлении при разном состоянии дорожного покрытия. Полученная информация позволяет построить графики «время – путь» и выполнить корректировку расписания движения автобусов на маршруте.

**АВТОБУС, МАРШРУТ, МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ, СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ**

*D. N. Samisko, T. A. Samisko, N. V. Iushkov*

*Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka*  
**Results of the Simulation Modelling Application of the Bus Movement in Urban Conditions**

The simulation of the bus movement along the route No. 2 of the city of Gorlovka «St. Grechneva – settl. Bessarabka» is carried out. Relevant basic data are collected. The simulation of the bus movement is carried out in the program «Speed and movement time calculation».

With the help of the software product, the examples of the bus speed and time calculations on the route No. 2 and the report example generated from the results of these calculations are graphically presented.

Based on the initial data obtained, using the software product «Speed and movement time calculation», the movement time calculation on the route in the forward and reverse direction under different road conditions is made. The information obtained allows us to build the graphs «time – way» and adjust the schedule of buses on the route.

**BUS, ROUTE, COMPUTER SIMULATION, MOVEMENT SPEED**

**Сведения об авторах:**

**Д. Н. Самисько**

SPIN-код РИНЦ: 6088-4257  
 ORCID ID: 0000-0002-4898-0963  
 SCOPUS: G-1244-2016  
 Телефон: +38 (071) 318-99-61  
 Эл. почта: sdn1982@yandex.ua

**Н. В. Юшков**

Телефон: +38 (071) 325-73-23  
 Эл. почта: nik.yushkov.97@mail.ru

**Т. А. Самисько**

SPIN-код РИНЦ: 8841-4450  
 ORCID ID: 0000-0002-2218-917X  
 SCOPUS: G-5056-2016  
 Телефон: +38 (071) 318-99-62  
 Эл. почта: samisko.ta.tt.adi@gmail.com

*Статья поступила 10.02.2022*

*© Д. Н. Самисько, Т. А. Самисько, Н. В. Юшков, 2022*

*Рецензент: В. В. Быков, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»*