УДК 629.13

В.В. РУДЗІНСЬКИЙ, В.П. ШУМЛЯКІВСЬКИЙ
Житомирський державний технологічний університет

ПІДВИЩЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ТЕХНІЧНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ МІСЬКИХ МАРШРУТНИХ АВТОБУСІВ

Викладено методику та результати проведення експериментальних досліджень швидкісних характеристик руху міських маршрутних транспортних засобів (ТЗ) категорії М2. Проаналізовано експериментальні дані щодо параметрів повної маси автобуса, наявних штучних перешкод руху на перегонах маршруту та їх впливу на показник середньої технічної швидкості руху. Побудована математична модель руху автобуса, яка відображає залежність між середньою технічною швидкістю, повною масою ТЗ та наявними перешкодами руху. Показано, що покращення реалізації тягово-швидкісних властивостей автобуса в умовах інтелектуальних транспортних систем (ІТС) міста досягається шляхом усунення перешкод руху та керуванням його наповненістю пасажирами.

Ключові слова: експлуатація маршрутних автобусів, середня технічна швидкість, перешкоди руху, інтелектуальні транспортні системи.

V.V. RUDZINSKYI, V.P. SHUMLIAKIVSKYI
Zhytomyr State Technological University

ON THE ISSUE OF INCREASING THE AVERAGE TECHNICAL SPEED OF CITY ROUTED BUSES

Abstract - The research paper outlines methods and results of experimental studies considering speed characteristics of city routed vehicles of M2 category. Experimental data on the parameters of the buses' curb weight, existing artificial barriers to movement on the route and their impact on the average technical speed were thoroughly analyzed. In addition, a mathematical model of routed bus movement, which reflects correlation between the average technical speed, curb weight of vehicle and the existing obstacles to movement was developed. It was concluded, that the improvement of traction properties and speed characteristics of bus under conditions of the intelligent transport systems (ITS) is achieved by elimination of traffic obstacles and control on the fullness of the bus.

Keywords: exploitation of routed buses, the average technical speed, traffic obstacles, intelligent transport systems.

Постановка задачі

Зростання транспортного навантаження на міську дорожню мережу ускладнює експлуатацію транспортних засобів та погіршує якість наданих послуг, в тому числі із перевезення пасажирів маршрутними транспортними засобами категорії М2. Ускладнені дорожні, транспортні умови та умови руху автобуса негативно впливають на безпеку та ефективність їх експлуатації в містах. В процесі експлуатації маршрутних транспортних засобів в містах актуальним постає питання найбільш повної реалізації тягово-швидкісних властивостей. На сучасному етапі впровадження інформаційно-комунікаційних технологій надає можливість ефективно вирішувати цю задачу.

Аналіз досліджень та публікацій

Питання збільшення інтенсивності руху при наближенні до центру міста вивчалось Горбачовим П.Ф. [1], автором аналітично підтверджено зростання інтенсивності руху ТЗ при наближенні до центру міста. Класифікацію умов функціонування дорожніх транспортних засобів (ДТЗ) розкрито в роботі [2], визначено відносні коефіцієнти зміни швидкості руху ТЗ від експлуатаційних умов. Авторами Гащуком П.М. та Пельо Р.А. оцінюється вплив миті початку перемикання передач на ефективність розгону транспортного засобу та на витрату палива при заданому рівні динамічності [3].

Науковцями: Вовк Л.П., Македонською Л.А., Волковим В.П., Комовим Е.А., – в праці [4] розглянута сучасна структура системи організації технічної експлуатації автобусів на основі ІТС міст. Висвітлено питання проведення в режимі реального часу моніторингу технічного стану експлуатаційних параметрів ТЗ та управління системою їх технічного обслуговування та ремонту. Методи і засоби підвищення ефективності експлуатації колісних ТЗ в умовах ІТС розглянуто і систематизовано [5] Волковим В.П., Матейчиком В.П. Грицуком І.В., Волковим Ю.В. Авторами сформована методологія та приведені результати моніторингу параметрів технічного стану та керування працездатністю автомобілів в середовищі ІТС. В роботі [6] описано систему, яка динамічно генерує інформацію про транспортний рух в місті, з використанням GPS та даних з дорожньої мережі.

В монографії [7] вченим досліджені фактори, які впливають на поведінку водія міського автобуса при рушанні від зупинки: миттєва швидкість, прискорення та їх вплив на витрату палива. За результатами дослідження встановлено, що при збільшенні прискорення дослідного ТЗ в діапазоні від 0,5 м/с^2 до 1,5 м/с^2, витрата палива виросла на 67%. В монографії [8] використані множинні лінійні регресії, які враховують спільний вплив сигналів світлофорів, системи керування пріоритетним рухом, інтенсивності транспортного потоку, часу доби, місця розташування зупинки на час поїздки від зупинки до зупинки. Запропоновано стратегію скорочення часу поїздки на автобусі і підвищення надійності транспортних послуг.

Однак у повній мірі залишаються невирішеними питання оптимізації експлуатації ДТЗ категорії М2 в сучасних умовах функціонування ІТС в містах України.

Виділення невирішених частин

Для підвищення якості перевезення і транспортного обслуговування пасажирів маршрутними ТЗ на вулично-дорожній мережі (ВДМ) потрібно покращувати використання тягово-швидкісних властивостей шляхом надання переваги у русі, по відношенню до інших учасників руху. Така перевага реалізується за допомогою застосування методів забезпечення пріоритетного руху, до яких насамперед відносяться: впровадження сучасних інформаційних та комунікаційних систем управління транспортною мережею міста, ідентифікація маршрутних ДТЗ, інформаційний обмін між ТЗ і об'єктами інфраструктури ВДМ. Невирішеним залишається питання якісної та кількісної оцінки перешкод руху маршрутним ТЗ. Усунення перешкод руху буде сприяти кращому розподілу пасажирів між транспортними засобами, в тому числі в години пікових навантажень. Тому для визначення методів підвищення експлуатаційної ефективності міських автобусів виникає потреба у їх вивченні, дослідженні та вдосконаленні.

Формулювання цілей

Дати якісну та кількісну оцінку перешкодам руху міського автобуса при виконанні пасажироперевезень. Встановити залежність середньої технічної швидкості від наявності штучних перешкод та завантаженості салону на основі проведених експериментальних досліджень ДТЗ категорії М2.

Викладення основного матеріалу

На першому етапі було проаналізовано парк транспортних засобів, якими надаються послуги міських пасажирських перевезень в Житомирі. Найбільш розповсюдженими автобусами були ДТЗ категорії М2 Рута пасажиромісткістю від 20 до 25 чоловік. Для проведення дослідження обрали автомобіль Рута-20 Інва, яким надаються послуги з пасажироперевезень на діагональному маршруті № 4 «Крошня – Комбінат силікатних виробів».

Наступним етапом було проведення лабораторних випробувань на базі випробувальної лабораторії ТОВ «Велтест», з метою визначення технічного стану, розподілу маси між вісями, дослідження ефективності гальмівних систем ДТЗ об'єктів дослідження. Для різних вагових станів були проведені дорожні випробування автомобіля Рута 20 Інва з використанням дослідницького програмно-апаратного комплексу Corrsys-Datron з оптичним датчиком Correvit L-400: розгін з місця до встановленої швидкості (до 60 км/год для міських автобусів). вибіг зі швидкості 60 км/год. гальмування зі швидкості 60 км/год для визначення фактичної ефективності гальмівної системи, отримання значень прискорень, уповільнень при вибігу, уповільнень при гальмуванні на горизонтальній дорозі з асфальтобетонним покриттям.

Для проведення досліджень на міському маршруті на автобус Рута-20 Інва були встановлені пристрій спостереження за рухомим об'єктом «BI-820 TREK», датчики навантаження на вісь ДП-01 для ДТЗ з ресорної підвіскою, відеореєстратор для фіксації перешкод руху, а також були підготовлені форми для ведення обліку пасажирів. Дослідження проводились за встановленими графіками руху в пікових та позапікових періодах експлуатації.

В ході проведених досліджень на маршруті було виявлено штучні перешкоди, які виникають на вулицях міста і стають причиною маневрування та зменшення швидкості ТЗ.

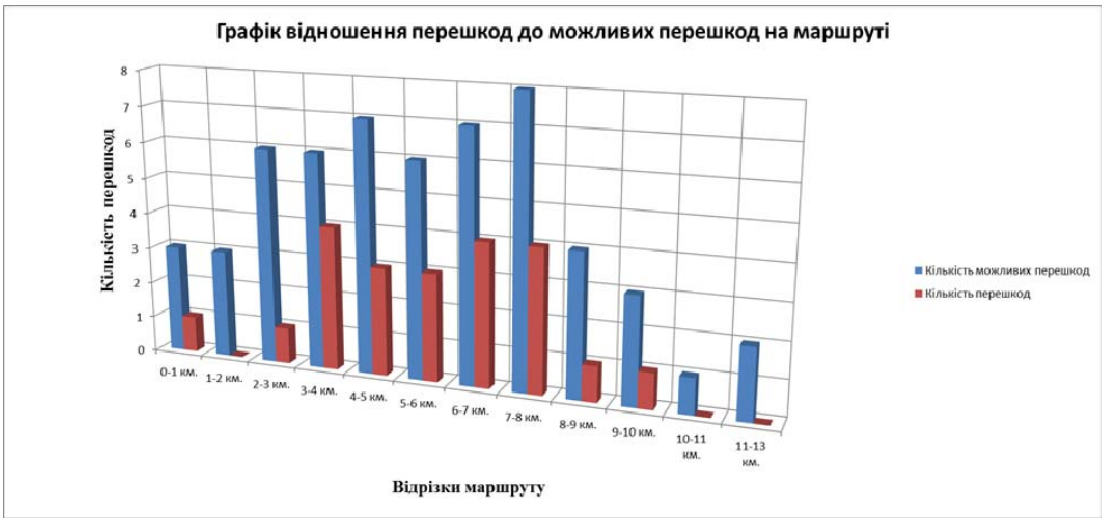

Рис. 1. Статистичні дані по фактичним перешкодам руху на діаметральному маршруті міста Житомира

Для автобуса Рута-20 Інва було експериментальним шляхом відтворено швидкісний режим руху з доланням штучної перешкоди з повною зупинкою ТЗ. Такий режим руху відповідає вимогам безпеки і комфорту для пасажирів, поєднує в собі фази вибігу, гальмування з уповільненням 2,5 м/с^2 та розгону до рекомендованої для ділянки руху швидкості $V_{k\,cp}$. Така перешкода відповідає режимам руху при під'їзді до зупинки громадського транспорту та від'їзді від неї. Що враховується при формуванні найбільш сприятливого режиму руху на перегоні між плановими зупинками в місті. Було визначено експериментально втрати часу на долання перешкоди та прогнозовано втрати часу на долання перешкоди з урахуванням проїзду цієї ділянки шляху зі сталою швидкістю $V_{k\,cp}$ без зупинки.

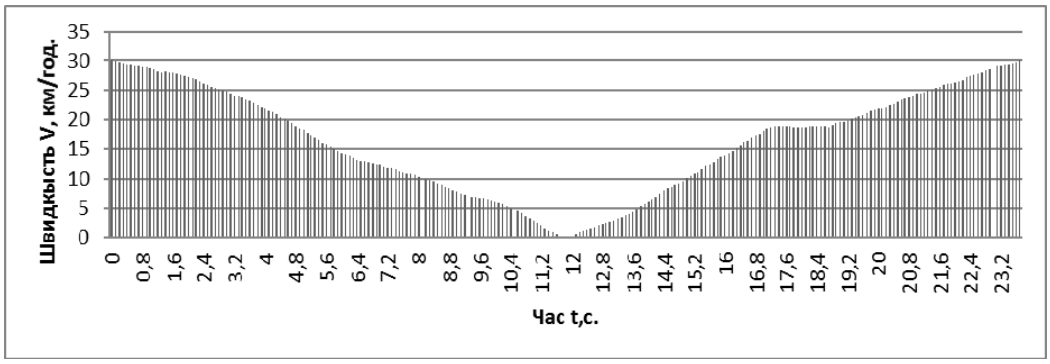

Рис. 2. Швидкісний режим руху з доланням штучної перешкоди з повною зупинкою ТЗ

За отриманими даними можемо визначити кількісні показники, що відповідають еквівалентній перешкоді. Довжина ділянки маршруту, на якій досліджуємо долання ДТЗ категорії М2 штучної перешкоди, складає $S_{сум}$ = 107 м. Уповільнення та гальмування з початкової швидкості V_0=30 км/год до повної зупинки відбулося на ділянці $S_{гальм}$= 52,6 м на протязі часу $t_{гальм}$ =11,8 с із середнім уповільненням -2,54 м/с^2. Розгін після повної зупинки до швидкості V_0=30 км/год відбувся на ділянці $S_{розгону}$= 54,6 м на протязі часу $t_{розгону}$ =11,8 с із середнім прискоренням 2,54 м/с^2. Якщо перешкоду руху буде виключено за рахунок надання пріоритету руху автобусу, даний відрізок шляху зі сталою швидкістю V_0=30 км/год буде пройдений за $t_{пост}$ =12,8 с. Тоді, затримка в часі руху автобуса у зв'язку з доланням еквівалентної перешкоди становить $t_{пост}$= ($t_{гальм}$+ $t_{розгону}$)-$t_{пост}$ = (11,8+11,8)-12,9= 10,7 с.

За такою схемою було визначено втрати часу на інших штучних перешкодах руху на перегоні між зупинками.

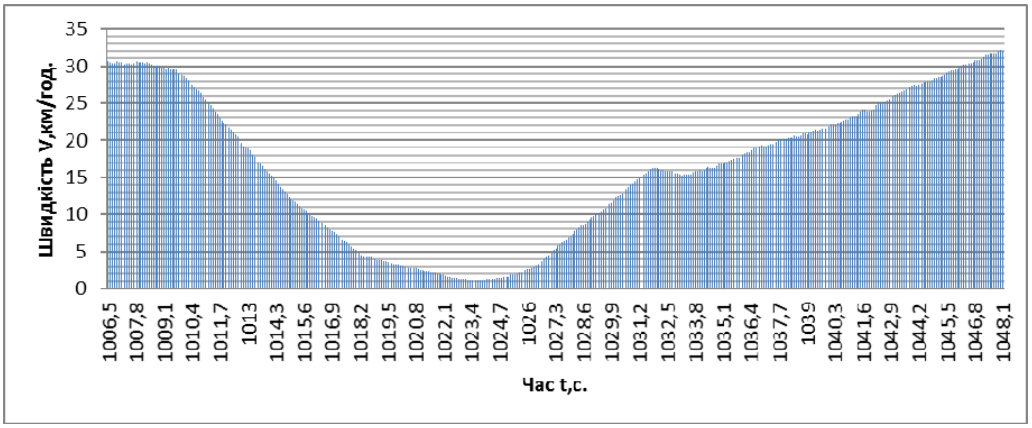

Рис. 3. Графік залежності швидкості руху від часу автобуса Рута 20 на ділянці з перешкодою типу «Світлофор»

Кількісні показники руху ДТЗ категорії М2 з перешкодою:

Розташування перешкоди (координати): 50.270685, 28.657560. Тип перешкоди: «Світлофор». Реакція на перешкоду: Уповільнення (У). Середнє уповільнення вибігу: -0,32 м/с^2. Час вибігу: 3,1 с. Середнє уповільнення при гальмуванні: -2,1 м/с^2. Час гальмування: 13,6 с. Середнє прискорення розгону: 1,25 м/с^2. Час розгону: 24,7 с. Довжина ділянки з перешкодою: 187,6 м. Час проїзду без перешкоди: 22,5 с. Втрата часу на долання перешкоди: 18,9 с.

Математичне моделювання експерименту

Об'єктом математичного дослідження є середня технічна швидкість руху ДТЗ категорії М2 за міським маршрутом. Серед факторів впливу вибираємо ті, що мають найбільший вплив на об'єкт [9]. До таких факторів, значення яких отримано експериментальним шляхом (табл. 1), відносяться повна маса ТЗ та кількість еквівалентних перешкод його руху. Модель об'єкта дослідження представимо у вигляді «чорної скрині»:

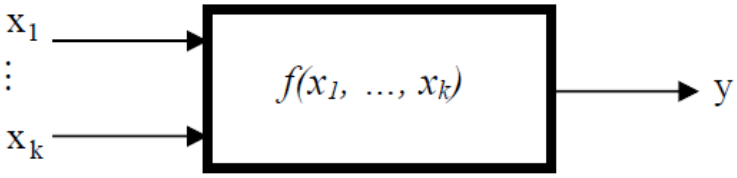

Рис. 4. Модель об'єкта дослідження у вигляді «чорної скрині»

Таблиця 1

Зведені експериментальні дані щодо середньої технічної швидкості та еквівалентних перешкод руху автобуса Рута 20 на маршруті № 4 між зупинками «АЗС» та «Комбінат силікатних виробів» в прямому напрямку

№ перегону між зупинками	Найменування перегону між зупинками	Повна маса автобуса, кг	Середня технічна швидкість, км/год	Відстань між зупинками, м	Еквівалентні перешкоди
1	АЗС - вул. Піщана	3405	17,3	230	1
2	вул. Піщана - вул. Андріївська	4005	15,2	440	2,09
3	вул. Андріївська - вул. Цегляна	4755	17,2	400	1
4	вул. Цегляна - Крошня	4980	14,6	250	1,45
5	Крошня - вул. Гранітна	5130	18,5	400	1
6	вул. Гранітна - вул. Чешська крошня	5055	17,3	270	1
7	вул. Чешська крошня - вул. С. Наливайка	5130	20,5	160	0,5
8	вул. С. Наливайка - Стомат.поліклініка	4980	20,5	450	0,97
9	Стомат.поліклініка - Агроколедж	5130	12,7	370	1
10	Агроколедж - вул. Героїв Чорнобиля	5055	9	375	2,17
11	вул. Героїв Чорнобиля - Пр. Незалежності	5055	9	350	5,95
12	Пр. Незалежності - пров. 2-й Капітульний	4905	13,3	310	0,5
13	пров. 2-й Капітульний - Сінний ринок	4905	13,3	380	5,01
14	Сінний ринок - вул. Лесі Українки	4830	18,6	460	1
15	вул. Лесі Українки - вул. М. Грушевського	4905	16,6	590	3,52
16	вул. М. Грушевського - майдан Перемоги	4530	14,8	550	2,56
17	майдан Перемоги - вул. Перемоги	4530	7	120	1,79
18	вул. Перемоги - ЖАДК	4380	11,8	360	2,46
19	ЖАДК - майдан Корольва	4380	12,1	350	2,32
20	майдан Корольва - Старий бульвар	4155	15	400	2,36
21	Старий бульвар - Університет ім. І. Франка	4005	14,6	350	2,35
22	Університет ім. І. Франка - вул. Довженка	3705	15,4	590	3,54
23	вул. Довженка - вул. Гагаріна	3555	18,6	320	1
24	вул. Гагаріна - вул. Жуйка	3555	12	300	3,23
25	вул. Жуйка - пров. 3-й Магазиний	3780	29,2	400	1
26	пров. 3-й Магазиний - майдан Смолянський	3855	29,2	310	1
27	майдан Смолянський - вул. Гонти	3855	11,7	350	3,27
28	вул. Гонти - пров. 1-й Смолянський	3930	30,5	300	0,5
29	пров. 1-й Смолянський - Інститут бізнесу і технологій	3930	30,5	300	0,5
30	Інститут бізнесу і технологій - майдан Станішівський	3630	22,5	250	1
31	майдан Станішівський - вул. Слобідська	3555	20,1	400	0,5
32	вул. Слобідська - Житомирзооветпостач	3555	20,1	400	0
33	Житомирзооветпостач - вул. Промислова	3555	20,1	650	0,5
34	вул. Промислова - Комбінат силікатних виробів	3480	20,1	550	1
35	Комбінат силікатних виробів	3255			

Тоді, функція відгуку має вигляд

$$V_T = f(M_a, n_{екв}), \quad (1)$$

де M_a – повна маса автобуса,

$n_{екв}$ – кількість еквівалентних перешкод руху автобуса.

Розглянемо повнофакторний експеримент типу 2^k. Число рівнів факторів впливу дорівнює 2 (мінімальне та максимальне значення), а число самих факторів дорівнює k. В нашому дослідженні розглядаємо два фактора k=2. Складаємо матрицю [10] планування експерименту.

Таблиця 2

Матриця планування експерименту

№ досліду	Фактори		Позначення	Параметр оптимізації
	$x_1(M_a)$	$x_2(n_{екв})$		V_T
1	-1	-1	*(1)*	V_{T1}
2	+1	-1	*a*	V_{T2}
3	-1	+1	*b*	V_{T3}
4	+1	+1	*ab*	V_{T4}

Діапазону значень параметру x_1 [-1;+1] відповідає діапазон зміни значень фактору впливу M_a від мінімального до максимального значення [3480;5130]. Діапазону значень параметру x_2 [-1;+1] відповідає діапазон зміни значень фактору впливу $n_{екв}$ від мінімального до максимального значення [0,5;5,95].

Тоді, регресійна модель приймає такий вигляд

$$V_T = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2, \quad (2)$$

де середня технічна швидкість ТЗ $V_{Tcep} = B_0$.

$$B_1 = \frac{(-1)V_{T1} + (+1)V_{T2} + (-1)V_{T3} + (+1)V_{T4}}{4}, \quad (3)$$

$$B_2 = \frac{(-1)V_{T1} + (-1)V_{T2} + (+1)V_{T3} + (+1)V_{T4}}{4}, \quad (4)$$

Результати розрахунків вносимо в таблицю 3

Таблиця 3

№ досліду	Фактори		Параметр оптимізації	Коефіцієнти		
	M_a	$n_{екв}$	V_T	B_0	B_1	B_2
1	3480	0,5	20,1	16,25	-4,05	-1,5
2	5130	0,5	20,5			
3	3705	3,54	15,4			
4	5055	5,95	9			

Рівняння регресії для середньої технічної швидкості приймає вигляд

$$V_T = 16,25 - 4,05x_1 - 1,5x_2, \quad (5)$$

Таким чином, отримана модель, за допомогою якої ми зможемо впливати на збільшення середньої технічної швидкості через керування наповненістю салону та усунення перешкод руху шляхом надання переваги в дорожньому русі маршрутному автобусу з використанням технології ІТС.

Висновки

Наведена модель зміни швидкості дозволяє оцінити та оптимізувати організаційно адміністративно структурну характеристику маршруту перевезень пасажирів. з позиції наявності місць тяжіння пасажирів (за заповненням салону) та організації дорожнього руху (за кількість еквівалентних перешкод на перегонах руху). Сплановане та проведене дослідження щодо визначення швидкості в умовах роботи ІТС. Експериментально доведено, що при усуненню наявних штучних перешкод на маршрутних перегонах за допомогою компонентів ІТС, швидкість руху автобусів категорії М2 можливо збільшити в середньому на 23%. Для подальших досліджень можна рекомендувати виміри в режимі реального часу відстані до рухомих об'єктів. які можуть викликати затримку в русі маршрутних транспортних засобів, дотримання безпечної відстані до транспортного засобу що рухається попереду.

Література

1. Горбачов П.Ф. Вплив поїздок у приміському сполученні на інтенсивність руху на автомобільних

дорогах загального користування / П.Ф. Горбачов, А.А. Кочина // Вісник ХНАДУ. – 2016. – С. 83–87.

2. Рудзінський В.В. Інтелектуальні транспортні системи автомобільного транспорту (функціональні основи) : навч. посібник / Рудзінський В.В. – Житомир : ЖДТУ, 2012. – 98 с.

3. Гащук П.М. Досконалість автомобільної трансмісії в системі оцінок проектного менеджменту / П.М. Гащук, Р.А. Пельо // Вісник ЛДУ БЖД. – 2014. – № 9. – С. 53–71.

4. Вовк Л.П. Организация технической эксплуатации автобусов на основе интеллектуальных транспортных систем / Л.П. Вовк, Л.А. Македонская, В.П. Волков, Е.А. Комов // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. Науковий журнал. Серія «Транспорт». – Харьків : ХАДІ, 2012. – № 1(14) – С. 5–11.

5. Интелектуальные системы управления работоспособностью автомобилей : [монография] / под ред. Волкова В.П. – Харьков : Майдан, 2016. – 503 с.

6. Biem, A., Bouillet, E., Feng, H., Ranganathan, A., Riabov, A., Verscheure, O., Koutsopoulos, H., Moran, C.: Ibm infosphere streams for scalable, real-time, intelligent transportation services. In: Proc. of the 2010 ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of data. pp. 1093–1104. ACM (2010).

7. Munzilah Md. Rohani Bus driving behaviour and fuel consumption: Thesis for the degree of Doctor of Philosophy: Transportation Engineering / Munzilah Md. Rohani. Southampton. 2012. 382 p.

8. Wei Feng. Analyses of Bus Travel Time Reliability and Transit Signal Priority at the Stop-To-Stop Segment Level: Thesis for the degree of Doctor of Philosophy: Civil and Environmental Engineering / Wei Feng. Portland, 2014. 140 p.

9. Пастух І.М. Формування моделей процесів на основі експериментальних даних / І.М. Пастух, О.С. Здибель // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – № 1(233). – С. 98–102.

10. Соколова Г.М. Моделювання багатофакторних процесів з взаємозалежними факторами впливу / Г.М. Соколова // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – № 1(233). – С. 117–120.

Рецензія/Peer review : 24.11.2016 р. Надрукована/Printed : 15.12.2016 р..
Рецензент: д. т. н., проф. Кравченко О.П.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
http://vestnik.ho.com.ua/rules/

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол № 6 від 24.11.2016 р.

Підп. до друку 25.11.2016 р. Ум.друк.арк. 29,67 Обл.-вид.арк. 28,22
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63