

О. Д. Фірсов, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри транспортних систем та технологій Університету митної справи та фінансів
В. П. Зверєв, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, помічник Голови Національної поліції України
О. В. Шаповалов, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем та технологій Університету митної справи та фінансів
М. В. Михайлов, магістрант Університету митної справи та фінансів

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МАРШРУТНОГО РУХУ

Проаналізовано принципи та стан маршрутної транспортної системи міста Дніпро, параметри функціонування обраного маршруту. На основі проведеного аналізу та розрахунків для обраного маршруту, з урахуванням режимів підйому та спуску, розгону й гальмування, було обрано найефективніші режими руху транспортного засобу, що задовольнятимуть вимогу найменшого використання паливних і потужнісних ресурсів.

Ключові слова: *маршрутний рух; оптимізація; вдосконалення; рельєф; потужність двигуна.*

Проанализированы принципы и состояние маршрутной транспортной системы города Днепр, параметры функционирования выбранного маршрута. На основе проведенного анализа и расчетов для выбранного маршрута, с учетом режимов подъема и спуска, разгона и торможения, были избраны эффективные режимы движения транспортного средства, которые удовлетворяют требованию наименьшего использования топливных и мощностных ресурсов.

Ключевые слова: *маршрутное движение; оптимизация; совершенствование; рельеф; мощность двигателя.*

© О. Д. Фірсов, В. П. Зверєв, О. В. Шаповалов, М. В. Михайлов, 2019

The problem of reducing fuel consumption by buses, taxis and trucks is urgent. Fuel economy and efficient use of the power resources of the motor vehicle can significantly reduce fuel costs and maintenance. In today's passenger transportation, fuel and lubricant costs, the savings on these consumables make it possible to significantly reduce transportation costs for transport companies and trucking companies.

The purpose of the study is to analyze the situation on the road, helping drivers to slow down and accelerate with calculated efficiency. For the stationary route, you can use a terrain map and relief, allowing the driver to release gas in advance when approaching the turns, forks and stops where you have to brake. Analyzing the route parameters and engine modes allows you to provide guidance on the choice of speed mode and transmission. As a result, there is no need for frequent accelerations and brakes, which has a positive effect on fuel consumption.

The route under consideration identifies the relief features of the route, which, above all, enables the development of a more efficient driving schedule of the vehicle, which in turn will allow the driver to use the engine power with maximum benefit based on these data. External velocity characteristics, traction-velocity balance and fuel and economic characteristics of the engine of the vehicle under consideration are calculated. Based on this data, the driving mode for each section of the route is selected to match the lowest fuel consumption and engine power. The problem with the implementation of this plan is to communicate to the driver information on the optimal use of engine power, depending on road conditions. On the one hand, an application can be developed for the driver that will offer driving modes, but control of the parameters and the reaction of the driver in real operating conditions may not be effective. Therefore, the approach implemented in the work is rather a tool for automating the movement process. Obviously, after the full automatic movement of the vehicle is realized, the next steps will be the optimization of transportation costs.

Key words: engine power; route parameters; terrain map; fuel consumption; relief features.

Постановка проблеми. Ефективне функціонування міського пасажирського транспорту є одним із ключових напрямів розвитку соціальної та виробничо-економічної сфери будь-якого міста. Через зростання населення й розвиток міста збільшується навантаження на громадський транспорт, неминуче виникають проблеми, пов'язані з наданням транспортних послуг населенню; підвищується дорожньо-транспортна аварійність; зростає негативний вплив транспорту на стан навколишнього середовища і здоров'я населення; збільшуються втрати, пов'язані з транспортними заторами, а також викиди парникових газів і витрати палива.

Існує потреба у системному підході до організації пасажиропотоків у місті з урахуванням конфліктних інтересів безпосередніх учасників перевезень, третіх сторін із застосуванням сучасних можливостей техніки й обчислювальних приладів. Але побудова системи перевезень у місті, яка відповідала б усім необхідним вимогам, практично неможлива, хоча б через те, що самі вимоги у сучасному місті динамічно змінюються. Отже, йдеться про вдосконалення елементів системи перевезень, насамперед про пошук проблемних місць і способів їх модернізації.

Також важливим є пошук недоліків актуального маршрутного транспорту, що виконує перевезення на міських маршрутах Дніпра для того, щоб знайти варіанти усунення цих недоліків і способи раціоналізації руху маршрутних таксі.

Проблема зменшення витрат палива автобусами, маршрутними таксі та вантажними автомобілями досить актуальна. Так, наприклад, компанія Ford планує розв'язати цю проблему за допомогою своєї нової системи Eco Guide. Головне завдання Eco Guide у тому, щоб прогнозувати ситуацію на дорозі, допомагаючи автомобілістам здійснювати уповільнення й розгін з максимальною ефективністю. Комплекс використовує дані від системи супутникової навігації, дозволяючи водієві завчасно скидати газ під час наближення до поворотів, розвилок та інших дорожніх ділянок, де доведеться гальмувати. Eco Guide аналізує поведінку водія і дає рекомендації щодо вибору швидкісного режиму й передачі. В результаті відпадає необхідність у частих прискореннях і гальмуваннях, що позитивно позначається на витраті палива.

Компанія Volvo пропонує користувачам систему I-Save на технічному рівні та систему I-See на інтелектуальному, яка спирається на мапи місцевості, аналізує рельєф дороги та адаптує рух автомобіля відповідно.

Завдання цієї статті – визначити особливості заданого маршруту пасажирських перевезень та розрахувати оптимальний режим руху маршрутного транспорту.

Мета статті – розробка теоретичних положень і практичних рекомендацій з удосконалення технологічного процесу руху маршрутного пасажирського автотранспорту у межах міста.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі *завдання*:

- визначити характер та особливості розглянутого маршруту;
- описати технічні та експлуатаційні характеристики транспортного засобу, що виконує перевезення на розглянутому маршруті;
- розрахувати основні технічні та економічні показники роботи маршрутного таксі;
- визначити режим руху автобуса, який відповідатиме найменшим потужнісним і паливним витратам

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інфраструктура сучасних міст одночасно ускладнюється й породжує проблеми своєю складністю й

розмірами. Тому виникає цілий набір задач, розв'язку яких присвячено праці багатьох наукових шкіл.

На наш погляд, існує тільки один шлях до наближеного розв'язання проблем транспортної інфраструктури міст. Це – інтелектуалізація системи з додаванням сучасних технічних рішень [1–4].

Побудова інтелектуальної системи керування містом концептуально можлива тільки разом із розбудовою самого міста. Отже, для міста, що має історію свого існування, можливо сегментне впровадження елементів інтелектуальних технологій.

Принципи створення транспортної моделі міста можна побачити у праці [5]. Принципи формування міської транспортної системи та концепцію транспортного планування представлено в [6–9].

Особливості проектування інтелектуальної транспортної системи для міст Москва та Дніпро розглянуто у [10; 11].

Принципи формування маршрутної мережі міст та принципи керування транспортною системою досліджено у [12–16].

Удосконалення ефективності роботи міського пасажирського транспорту займає велику частку досліджень транспортних систем і технологій [17].

Отже, дослідження проводяться цілеспрямовано за різними напрямками і в цілому сприяють об'єднанню результатів під керуванням елементів штучного інтелекту.

Виклад основного матеріалу. Основним видом міського пасажирського транспорту Дніпра є маршрутні таксі, маршрути яких прокладено по всій території міста. Для багатьох районів Дніпра маршрутне таксі єдиний вид міського транспорту, а в інших складає конкуренцію електротранспорту.

Транспортна система м. Дніпро являє собою сукупність транспортних засобів, інфраструктури й управління, включає 158 різних маршрутів (без урахування приміських), загальною протяжністю до 2500 км, з більш ніж 600 зупинками. В межах правого берега міста діє 87 маршрутів й одна лінія метро, лівого – 12, зв'язок між правим і лівим берегом здійснюється 59 маршрутами.

Для виконання досліджень було обрано міський автобусний маршрут № 108. Це маршрут, що має кінцеві зупинки: станція метро “Покровська” та вул. Лисенка. За системою класифікації маршрутів він є:

- За часом дії: постійний (працює упродовж усього року).
- За призначенням: маршрут, що виконує перевезення до маршрутів інших видів транспорту або транспортних вузлів.
- За характером шляху слідування: маятниковий (має шлях слідування у прямому та зворотньому напрямі по одній і тій самій трасі).
- За характером розміщення на території міста: тангенціальний (з'єднує окремі периферійні райони міста й не проходить через центр).
- За умовою використання зупинкових пунктів: *звичайний*, маршрут на якому зупинка виконується на всіх проміжних пунктах в обов'язковому порядку.

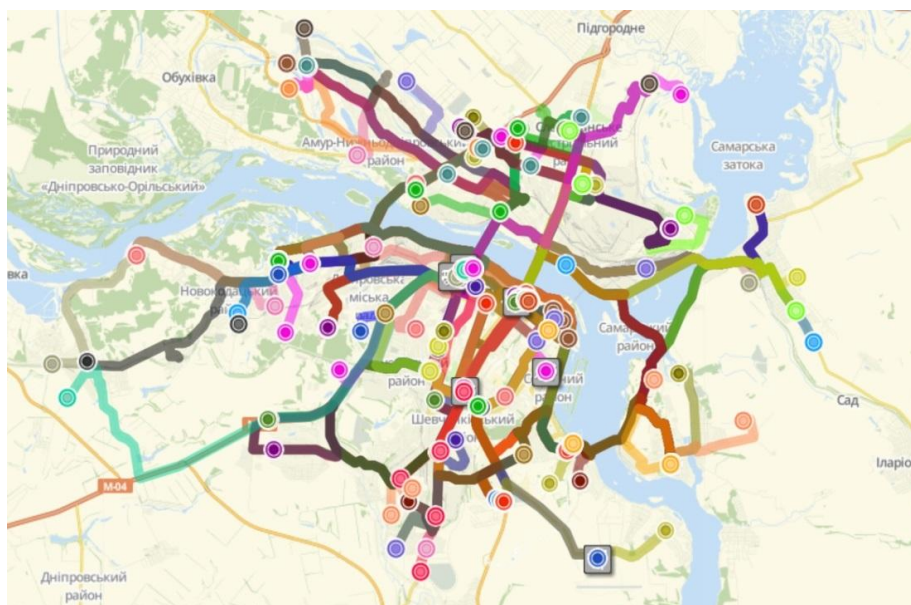


Рис. 1. Схема міських автобусних маршрутів міста Дніпра

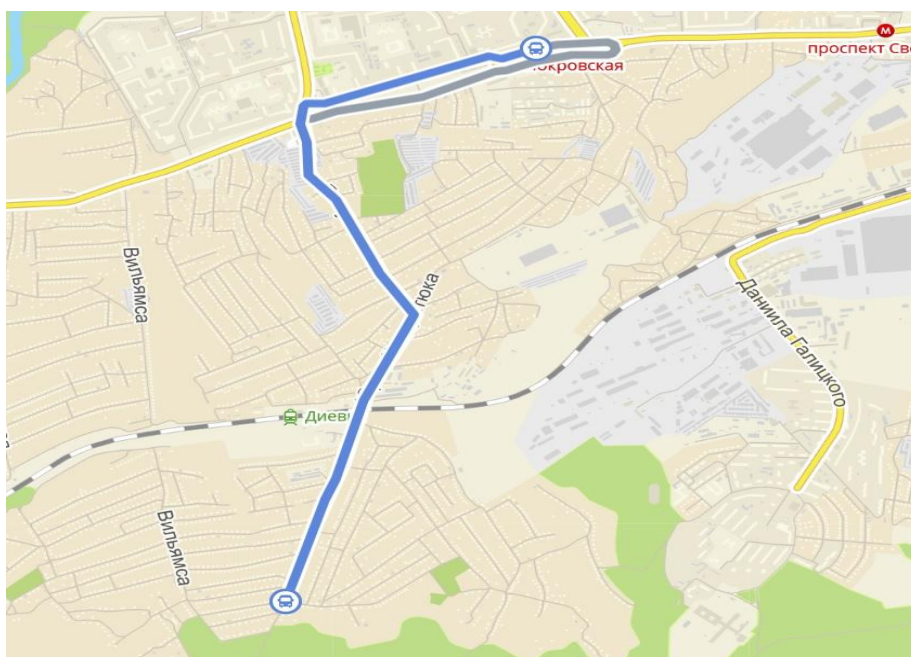


Рис. 2. Схема руху маршрутного таксі № 108

Як було зазначено вище, маршрут № 108 не є основним міським маршрутом, тобто не проходить через центр міста й не з'єднує спальні райони та житлові масиви з промисловими. Використовується жителями селища Діївка для того, щоб дістатися зупинок інших видів транспорту, зокрема станції метро “Покровська”, на житловому масиві “Покровський” та кінцевої зупинки багатьох маршрутних таксі на житловому масиві “Парус”.

Загальна протяжність маршруту – 4 кілометри. Середній інтервал між рейсами 10–15 хв. Починає роботу маршрут о 5:30 і закінчує о 22:00. Година-пік припадає на такі інтервали часу: з 7:00 до 10:30 та з 17:00 до 21:00. У годину-пік інтервал між рейсами на маршруті становить 5–10 хв.

Рельєф на маршруті № 108 відповідно до географічних координат, отриманих у програмі Google Earth Pro зображено на рис. 3.

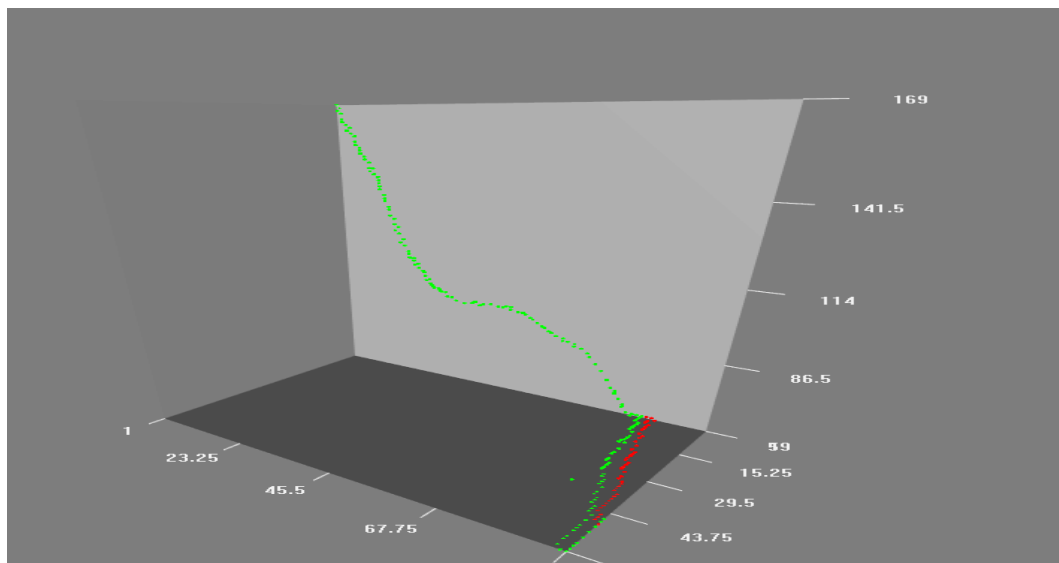


Рис. 3. 3D модель маршруту № 108

Найнижча точка маршруту міститься на висоті 60 м над рівнем моря (станція метро “Покровська”), а найвища – на висоті 169 м над рівнем моря. Максимальний ухил на маршруті – 6 градусів, а середній – 2 градуси. Перша частина маршруту (приблизно 1 км) має сталий характер, висота на цій частині маршруту не змінюється. Друга частина маршруту (приблизно 1,2 км) має нерівномірний характер зміни рельєфу – ділянки з великим кутом ухилу дороги (3–4 град.) межують з рівними ділянками (до 1 град.). Остання частина маршруту (приблизно 1,4 км) характеризується рівномірним збільшенням (зменшенням) висоти при куті ухилу дороги 3–4 градуси.

БАЗ-А079 “Еталон” – автобус малого класу, призначений для перевезення пасажирів на міських, приміських і міжміських комерційних маршрутах. На БАЗ-А079 “Еталон” так само, як і на всі автобуси, побудовані на основі шасі ТАТА LPT-613, встановлюється дизельний двигун індійського виробництва – ТАТА 697 ТС 55L.

Швидкісна характеристика двигуна – залежність основних показників роботи двигуна від частоти обертання (кутової швидкості) колінчастого вала. Отримана за повної подачі палива характеристика називається зовнішньою, за певної неповної сталої подачі палива – частковою. Основними показниками роботи двигуна є ефективні потужність та обертовий момент, питома й годинна витрати палива тощо.

Зовнішня швидкісна характеристика двигуна розраховується за емпіричними формулами:

$$N_e = N_{e\max} \left[a \frac{n_e}{nN} + b \left(\frac{n_e}{nN} \right)^2 - c \left(\frac{n_e}{nN} \right)^3 \right], \text{кВт}, \quad (1)$$

$$M_e = 10^3 \frac{N_e}{\omega_e}, \text{Нм}, \quad (2)$$

$$g_e = g_N K \omega, \text{г/кВт/год}, \quad (3)$$

де

a, b, c – параметри двигуна;

n_e – поточне значення обертів колінчастого вала, об/хв;

M_e – крутний момент на колінчастому валу двигуна Нм;

ω_e – кутова швидкість за максимальних обертів двигуна дорівнюватиме:

$$\omega_e = \frac{3,14 \cdot 2400}{30} = 251,2 \text{ рад/сек};$$

g_e – питома витрата палива;

g_N – питома витрата палива за максимальної потужності. Для дизельного двигуна $g_N = 190 \dots 240$ г/кВт · год.

За прототипом двигуна автомобіля БАЗ-А079 “Еталон” приймаємо: $a = 0,68$; $b = 1,38$; $c = 1,06$.

K_ω – коефіцієнт, який ураховує зміну питомої витрати палива залежно від швидкості обертання вала двигуна.

$$K_{\omega} = a_{\omega} - b_{\omega} \frac{\omega_e}{\omega_N} + c_m \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2, \quad (4)$$

де $a_{\omega} = 1,26$; $b_{\omega} = 0,85$; $c_m = 0,59$ – статичні коефіцієнти;

ω_e – поточне значення кутової швидкості;

ω_N – значення кутової швидкості за максимальних обертів двигуна;

Під час максимальних обертів двигуна коефіцієнт K_{ω} дорівнює:

$$K_{\omega} = 1,26 - 0,85 \frac{251,2}{251,2} + 0,59 \left(\frac{251,2}{251,2} \right)^2 = 1.$$

За вищенаведеними залежностями виконано розрахунки, отримано результати (табл. 1). Побудовано зовнішню швидкісну характеристику.

Таблиця 1

Зовнішня швидкісна характеристика двигуна ТАТА 697 ТС

№ з/п	Оберти двигуна n , об/хв	Потужність N_e , кВт	Крутний момент M_e , Н · м	Питома витрата палива g_e , г/кВт · год
1	800	33,7	402	224,08
2	960	43,6	433	218,10
3	1120	50,7	432	213,24
4	1280	59,8	446	209,52
5	1440	67,9	450	206,92
6	1600	76,1	454	205,44
7	1760	82,2	446	205,10
8	1920	89,3	444	205,88
9	2080	94,3	433	207,80
10	2240	98,4	419	210,83
11	2400	101,5	404	215

Для подальших розрахунків потрібні значення передаточних чисел різних передач (табл. 2).

Таблиця 2

Передаточні числа коробки передач

№ передачі	1	2	3	4	5
Передаточне число коробки передач	6,34	3,37	2,11	1,28	1

Потужний баланс автомобіля – це залежність потужності двигуна, потужності на ведучих колесах, потужності опору коченню та потужності опору повітря від швидкості автомобіля на різних передачах.

Величину потужності на ведучих колесах визначають за формулою:

$$N_k = N_e \cdot \eta_m, \text{ кВт.} \quad (5)$$

За максимальної потужності $N_{e_{\max}}$, N_k дорівнюватиме:

$$N_k = 101,5 \cdot 0,88 = 89,32, \text{ кВт.}$$

Динамічна характеристика – це залежність динамічного фактора автомобіля від швидкості руху на різних передачах.

Динамічний фактор автомобіля визначається за формулою:

$$D_0 = \frac{P_k - P_n}{m_a g}, \quad (6)$$

де m_a – повна вага автобуса, що дорівнює 7730 кг;

P_k – сила на ведучих колесах, яку визначають за виразом:

$$P_k = \frac{M_e \cdot U_k \cdot U_0 \cdot \eta_m}{r_k}, \quad (7)$$

де M_e – крутний момент двигуна;

U_k – передавальне число поточної передачі;

U_0 – передавальне число головної передачі;

η_m – ККД трансмісії автомобіля. Для вантажних автомобілів та автобусів на їх базі ККД = 0,85–0,92 приймаємо ККД = 0,88;

r_k – радіус кочення коліс, що визначається за формулою:

D_0 – зовнішній діаметр шини для БАЗ-А079 дорівнює 605,75 мм;

P_n – сила опору повітря, яку визначають за формулою:

$$P_n = K_n \cdot F_n \cdot V^2, \quad (8)$$

K_n – коефіцієнт опору повітря рекомендується визначити залежно від типу автомобіля. Для автобуса $K_n = 0,5 H c^2 / m^3$;

F_n – площа міделевого перерізу автомобіля, яку визначають за формулою:

$$F_n = \alpha \cdot B_0 \cdot H_0, m^2, \quad (9)$$

де α – коефіцієнт заповнення площі, для вантажних автомобілів та автобусів на їх базі: $\alpha = 0,75 \dots 0,9$.

За результатами розрахунків будемо динамічну характеристику.

Таблиця 3

Тяговий та потужнісний баланс автомобіля

1 передача $U = 6,34$				
V , м/с	P_k , Н	N_e , кВт	N_k , кВт	D
1,25	23 749,96	33,7	29,66	0,313
1,50	25 581,42	43,6	38,37	0,338
1,75	25 522,34	50,7	44,62	0,337
2,00	26 349,46	59,8	52,62	0,348
2,25	26 585,77	67,9	59,75	0,351
2,49	26 822,09	76,1	66,97	0,354
2,74	26 349,46	82,2	72,34	0,348
2,99	26 231,30	89,3	78,58	0,346
3,24	25 581,42	94,3	82,98	0,337
3,49	24 754,31	98,4	86,59	0,326
3,74	23 868,12	101,5	89,32	0,315

2 передача $U = 3,37$				
V , м/с	P_k , Н	N_e , кВт	N_k , кВт	D
2,35	12624,19	33,7	29,66	0,166
2,82	13597,7	43,6	38,37	0,179
3,28	13566,29	50,7	44,62	0,179
3,75	14005,94	59,8	52,62	0,184
4,22	14131,55	67,9	59,75	0,186
4,69	14257,17	76,1	66,97	0,187
5,16	14005,94	82,2	72,34	0,184
5,63	13943,13	89,3	78,58	0,183
6,10	13597,7	94,3	82,98	0,178
6,57	13158,05	98,4	86,59	0,172
7,04	12687	101,5	89,32	0,166
3 передача $U = 2,11$				
V , м/с	P_k , Н	N_e , кВт	N_k , кВт	D
3,75	7904,17	33,7	29,66	0,104
4,50	8513,69	43,6	38,37	0,112
5,25	8494,03	50,7	44,62	0,111
6,00	8769,30	59,8	52,62	0,114
6,75	8847,95	67,9	59,75	0,115
7,50	8926,59	76,1	66,97	0,116
8,24	8769,30	82,2	72,34	0,113
8,99	8729,97	89,3	78,58	0,112
9,74	8513,69	94,3	82,98	0,109
10,49	8238,42	98,4	86,59	0,105
11,24	7943,49	101,5	89,32	0,100
4 передача $U = 1,28$				
V , м/с	P_k , Н	N_e , кВт	N_k , кВт	D
6,18	4794,94	33,7	29,66	0,062
7,41	5164,70	43,6	38,37	0,066
8,65	5152,78	50,7	44,62	0,065
9,88	5319,76	59,8	52,62	0,067
11,12	5367,47	67,9	59,75	0,066
12,36	5415,19	76,1	66,97	0,066
13,59	5319,76	82,2	72,34	0,064
14,83	5295,91	89,3	78,58	0,062
16,06	5164,70	94,3	82,98	0,059
17,30	4997,72	98,4	86,59	0,055
18,53	4818,80	101,5	89,32	0,052

5 передача $U = 1$				
V , м/с	P_k , Н	N_e , кВт	N_k , кВт	D
7,91	3746,05	33,7	29,66	0,047
9,49	4034,92	43,6	38,37	0,050
11,07	4025,61	50,7	44,62	0,049
12,65	4156,07	59,8	52,62	0,049
14,23	4193,34	67,9	59,75	0,048
15,81	4230,61	76,1	66,97	0,047
17,40	4156,07	82,2	72,34	0,044
18,98	4137,43	89,3	78,58	0,042
20,56	4034,92	94,3	82,98	0,038
22,14	3904,47	98,4	86,59	0,034
23,72	3764,69	101,5	89,32	0,030

За даними, отриманими з табл. 3, будемо графік тягової характеристики автомобіля (рис. 4).

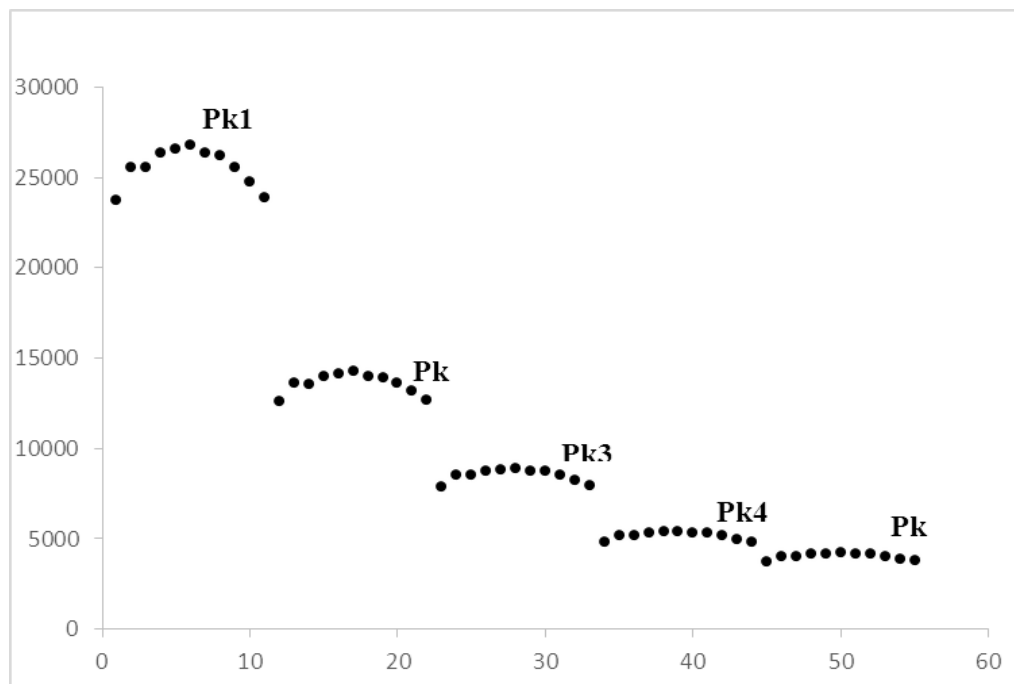


Рис. 4. Тягова характеристика двигуна автомобіля БАЗ-А079 "Еталон"

Під час визначення часу розгону автомобіля двигун працює в режимі зовнішньої швидкісної характеристики, переключення передач відбувається за максимального динамічного фактора автомобіля, а розгін починається зі швидкості автомобіля, яка відповідає мінімальним обертам двигуна й нижній передачі в трансмісії. За динамічною характеристикою автомобіля визначається швидкість автомобіля, за якої відбувається переключення передач.

Сумарний час розгону автомобіля складається з часу розгону на кожній передачі й визначається за формулою:

$$t_p = \sum_{j=1}^n \Delta t_n. \quad (10)$$

Час розгону визначається за формулою:

$$\Delta t_1 = \frac{2(V_{i+1} - V_i)\delta}{g[D_i + D_{i+1} - f_0(1 + V_i^2/1500) \cdot f_0(1 + V_{i+1}^2/1500)]}, \quad (11)$$

де δ – коефіцієнт обертових мас, що враховує обертові маси трансмісії і коліс, який розраховують за формулою:

$$\delta = 1.03 + 0.05U_k^2, \quad (12)$$

де U_k – передаточне число коробки передач, на яке визначається час розгону.

Сумарний шлях розгону автомобіля складається зі шляху, який пройде автомобіль на кожній передачі, часу і шляху за час переключення передач. Величину S_p визначаємо за формулою:

$$S_p = \sum_{i=1}^n S_i + \sum \Delta S_n. \quad (13)$$

Значення шляху під час розгону автомобіля в інтервалі швидкостей від V_i до V_{i+1} :

$$\Delta S_i = \frac{V_i + V_{i+1}}{2} \Delta t_i. \quad (14)$$

Тоді шлях розгону на i -тій передачі дорівнюватиме:

$$S_i = \sum_{i=1}^K \Delta S_1, \quad (15)$$

де K – кількість інтервалів швидкостей на i -й передачі.

На підставі обчислених даних побудовано швидкісну характеристику розгону автомобіля.

Час та шлях розгону автомобіля

1 передача $U = 6,34$			
$V1, \text{ м/с}$	$V2, \text{ м/с}$	$T, \text{ с}$	$S, \text{ м}$
1,25	1,50	0,238	0,328
1,50	1,75	0,230	0,374
1,75	2,00	0,227	0,425
2,00	2,25	0,222	0,472
2,25	2,49	0,211	0,501
2,49	2,74	0,221	0,578
2,74	2,99	0,224	0,641
2,99	3,24	0,227	0,707
3,24	3,49	0,234	0,787
3,49	3,74	0,242	0,875
2 передача $U = 3,37$			
$V1, \text{ м/с}$	$V2, \text{ м/с}$	$T, \text{ с}$	$S, \text{ м}$
2,35	2,82	0,444	1,147
2,82	3,28	0,419	1,279
3,28	3,75	0,422	1,485
3,75	4,22	0,414	1,650
4,22	4,69	0,411	1,830
4,69	5,16	0,413	2,034
5,16	5,63	0,418	2,255
5,63	6,10	0,425	2,491
6,10	6,57	0,438	2,773
6,57	7,04	0,454	3,088
3 передача $U = 2,11$			
$V1, \text{ м/с}$	$V2, \text{ м/с}$	$T, \text{ с}$	$S, \text{ м}$
3,75	4,50	0,890	3,673
4,50	5,25	0,861	4,198
5,25	6,00	0,850	4,784
6,00	6,75	0,835	5,326
6,75	7,50	0,831	5,918
7,50	8,24	0,826	6,501
8,24	8,99	0,850	7,323
8,99	9,74	0,867	8,117
9,74	10,49	0,897	9,075
10,49	11,24	0,935	10,159

4 передача $U = 1,28$			
$V1, \text{ м/с}$	$V2, \text{ м/с}$	$T, \text{ с}$	$S, \text{ м}$
6,18	7,41	2,181	14,819
7,41	8,65	2,141	17,194
8,65	9,88	2,115	19,599
9,88	11,12	2,115	22,205
11,12	12,36	2,126	24,956
12,36	13,59	2,154	27,948
13,59	14,83	2,240	31,827
14,83	16,06	2,307	35,630
16,06	17,30	2,463	41,082
17,30	18,53	2,617	46,883
5 передача $U = 1$			
$V1, \text{ м/с}$	$V2, \text{ м/с}$	$T, \text{ с}$	$S, \text{ м}$
7,91	9,49	3,586	31,195
9,49	11,07	3,529	36,275
11,07	12,65	3,560	42,226
12,65	14,23	3,583	48,154
14,23	15,81	3,666	55,062
15,81	17,40	3,853	63,973
17,40	18,98	4,057	73,796
18,98	20,56	4,354	86,069
20,56	22,14	4,816	102,818
22,14	23,72	5,459	125,186

Також важливим показником є шлях ефективного гальмування.

Шлях ефективного гальмування визначається за умови переходу кінетичної енергії автомобіля в роботу сил тертя між протектором шини та дорогою:

$$S_e = \frac{V_a^2}{2g\varphi}, \quad (16)$$

де $\varphi = 0,6, \dots, 0,7$ – коефіцієнт зчеплення.

На підставі обчислених даних побудовано швидкісну характеристику розгону автомобіля.

Гальмівний шлях автобуса БАЗ-А079 “Еталон”

U1		U2		U3		U4		U5	
V, м/с	Se, м	V, м/с	Se, м	V, м/с	Se, м	V, м/с	Se, м	V, м/с	Se, м
1,25	0,122	2,35	0,432	3,75	1,102	6,18	2,996	7,91	4,91
1,50	0,176	2,82	0,622	4,50	1,587	7,41	4,314	9,49	7,07
1,75	0,239	3,28	0,847	5,25	2,161	8,65	5,871	11,07	9,62
2,00	0,313	3,75	1,106	6,00	2,822	9,88	7,669	12,65	12,56
2,25	0,396	4,22	1,400	6,75	3,572	11,12	9,706	14,23	15,90
2,49	0,488	4,69	1,729	7,50	4,410	12,36	11,982	15,81	19,63
2,74	0,591	5,16	2,092	8,24	5,336	13,59	14,498	17,40	23,75
2,99	0,703	5,63	2,489	8,99	6,350	14,83	17,254	18,98	28,27
3,24	0,825	6,10	2,921	9,74	7,452	16,06	20,250	20,56	33,18
3,49	0,957	6,57	3,388	10,49	8,643	17,30	23,485	22,14	38,48
3,74	1,099	7,04	3,889	11,24	9,921	18,53	26,960	23,72	44,17

Визначення оптимального режиму руху автобуса базуватиметься на даних з табл. 1, 2, 3, 4, 5. Для кожної ділянки маршруту дібрано режим руху, що залежить від рельєфних показників ділянки та задовольняє умову ефективної витрати палива й потужності двигуна.

На кожній ділянці маршруту було встановлено швидкісний проміжок: від 40 до 60 км/год для рівних ділянок та від 25 до 60 км/год – для ділянок з ухилом. Такий проміжок був установлений як оптимальний, автобус, рухаючись у такому діапазоні швидкостей, не перевищуватиме дозволений швидкісний ліміт для руху в межах міста й не заважатиме іншим учасникам дорожнього руху, рухаючись занадто повільно. Розгін до швидкості 40 км/год виконується з використанням максимальної потужності двигуна, тому в розрахунках участі не бере.

Маршрут № 108 було поділено на 11 ділянок в один та інший бік.

Швидкісний діапазон: $V1 = 11\text{--}16$ м/с (40–60 км/год) $V2 = 6,75\text{--}16$ м/с (25–60 км/год);

Загальна протяжність маршруту: $S = 3,65$ км.

Шлях розгону до швидкості 40 км/год: $S = 90$ м; до 25 км/год: $S = 50$ м;

Гальмівний шлях для різних швидкостей показано в табл. 5 (для 40 км/год $S_{\text{г}} = 9,62$ м).

Розрахунок режиму руху для ділянки 1-11

V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{е}}$, кВт	$M_{\text{е}}$, Н·м	$g_{\text{е}}$, г/кВт·год
11–16	313	0	4	67,9–94,3	433–454	205,1–207,8
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{е}}$, кВт	$M_{\text{е}}$, Н·м	$g_{\text{е}}$, г/кВт·год
11–16	548	0	4	67,9–94,3	433–454	205,1–207,8
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{е}}$, кВт	$M_{\text{е}}$, Н·м	$g_{\text{е}}$, г/кВт·год
6,75–8,99	109	0	3	67,9–89,3	444–454	205,1–206,9
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{е}}$, кВт	$M_{\text{е}}$, Н·м	$g_{\text{е}}$, г/кВт·год
6,00–9,74	558	4	3	59,8–94,3	433–454	205,1–209,5
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{е}}$, кВт	$M_{\text{е}}$, Н·м	$g_{\text{е}}$, г/кВт·год
6,75–10,5	377	2,3	3	67,9–98,4	419–454	205,1–210,8
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{е}}$, кВт	$M_{\text{е}}$, Н·м	$g_{\text{е}}$, г/кВт·год
9,88–14,8	251	1	4	67,9–89,3	444–454	205,1–206,9
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{е}}$, кВт	$M_{\text{е}}$, Н·м	$g_{\text{е}}$, г/кВт·год
11–16	236	0	4	67,9–94,3	433–454	205,1–207,8
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{е}}$, кВт	$M_{\text{е}}$, Н·м	$g_{\text{е}}$, г/кВт·год
8,99–10,5	401	1,8	3	89,3–98,4	419–444	205,8–210,8
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{е}}$, кВт	$M_{\text{е}}$, Н·м	$g_{\text{е}}$, г/кВт·год
6,00–9,74	189	4	3	59,8–94,3	433–454	205,1–209,5
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{е}}$, кВт	$M_{\text{е}}$, Н·м	$g_{\text{е}}$, г/кВт·год
7,5–9,74	332	3	3	76,1–94,3	433–454	205,1–207,8
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{е}}$, кВт	$M_{\text{е}}$, Н·м	$g_{\text{е}}$, г/кВт·год
7,5–9,74	306	3	3	76,1–94,3	433–454	205,1–207,8

Під час руху на маршруті № 108 у напрямку вул. Лисенка – станція метро “Покровська” на ділянках з достатнім ухилом АТЗ рухатиметься за допомогою вибігу (накатом), водієві достатньо підтримувати зазначений швидкісний режим, час від часу натискаючи на педаль газу, на проміжках після розгону до 40 км/год та до гальмування на зупинках.

Визначений режим руху для кожної ділянки маршруту забезпечує ефективне використання потужності двигуна та паливно-економічну ефективність транспортного засобу під час руху в умовах міста.

Розрахунок режиму руху для ділянки 11-1

V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{г}}$, кВт	$M_{\text{г}}$, Н·м	$g_{\text{г}}$, г/кВт·год
11–16	337	– 3	5	50,7–76,1	432–454	205,4–213,2
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{г}}$, кВт	$M_{\text{г}}$, Н·м	$g_{\text{г}}$, г/кВт·год
11–16	267	– 3	5	50,7–76,1	432–454	205,4–213,2
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{г}}$, кВт	$M_{\text{г}}$, Н·м	$g_{\text{г}}$, г/кВт·год
11–16	236	– 4	5	50,7–76,1	432–454	205,4–213,2
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{г}}$, кВт	$M_{\text{г}}$, Н·м	$g_{\text{г}}$, г/кВт·год
11–16	409	– 1,7	5	59,8–76,1	446–454	205,4–209,5
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{г}}$, кВт	$M_{\text{г}}$, Н·м	$g_{\text{г}}$, г/кВт·год
11–16	235	0	4	67,9–94,3	433–454	205,1–206,9
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{г}}$, кВт	$M_{\text{г}}$, Н·м	$g_{\text{г}}$, г/кВт·год
12,6– 15,8	274	– 0,9	5	59,8–82,2	446–454	205,1–209,5
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{г}}$, кВт	$M_{\text{г}}$, Н·м	$g_{\text{г}}$, г/кВт·год
11–15,8	354	– 2,1	5	50,7–76,1	432–454	205,4–213,2
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{г}}$, кВт	$M_{\text{г}}$, Н·м	$g_{\text{г}}$, г/кВт·год
8–16	487	– 3,7	5	33,7–82,2	402–444	205,1–224
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{г}}$, кВт	$M_{\text{г}}$, Н·м	$g_{\text{г}}$, г/кВт·год
11–16	736	0	4	67,9–94,3	433–454	205,1–207,8
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{г}}$, кВт	$M_{\text{г}}$, Н·м	$g_{\text{г}}$, г/кВт·год
11–16	204	0	4	67,9–94,3	433–454	205,1–207,8
V , м/с	S , м	α , град.	U	$N_{\text{г}}$, кВт	$M_{\text{г}}$, Н·м	$g_{\text{г}}$, г/кВт·год
8,6–13,6	625	0	4	50,7–82,2	432–454	205,1–213,2

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Паливна економічність та раціональне використання потужнісних ресурсів двигуна автотранспортного засобу дає змогу суттєво знизити витрати на паливо та його обслуговування. В сучасних умовах пасажирських перевезень, вартості палива та мастильних засобів економія на цих витратних матеріалах дає змогу суттєво знизити витрати на перевезення для транспортних компаній та автотранспортних підприємств.

Аналіз принципів формування та стан транспортної системи міста Дніпро показав, що транспортна система міста має нерівномірний розподіл розгалуженості, тобто в центрі та прилеглих до нього районах міста розгалуженість транспортних маршрутів досить велика, а на околицях міста коефіцієнт розгалуженості зменшується, що виражається в невеликій кількості різноманітних транспортних шляхів.

На розглянутому маршруті № 108, визначено рельєфні особливості маршруту, що насамперед дає змогу розробити більш ефективний графік руху автотранспортного засобу, що, зі свого боку, даватиме змогу водієві, на основі цих даних, використовувати потужність двигуна з максимальною користю. Розраховано зовнішню швидкісну характеристику, тягово-швидкісний баланс та паливно-економічну характеристику двигуна розглянутого транспортного засобу. На основі цих даних обрано режим руху для кожної ділянки маршруту, що відповідатиме найменшим витратам палива та потужності двигуна.

Проблемою реалізації цього плану є донесення до водія інформації про оптимальне використання потужності двигуна залежно від дорожніх обставин. Є декілька способів розв'язання цієї проблеми:

1. Установлення спеціальних дорожніх знаків, які вказуватимуть швидкісний та потужнісний режим для конкретної ділянки маршруту, дотримуючись якого, водії матимуть змогу більш ефективно долати великі й малі відстані.

2. Обладнання автобусів спеціальними навігаторами, що будуть сповіщати водія про оптимальний режим руху на ділянці, до якої наближається автобус.

3. Розробка спеціального мобільного додатка для водіїв, що сповіщатиме їх про оптимальний режим руху на наступній ділянці маршруту.

Реалізація цих способів дозволить суттєво знизити витрати автотранспортних підприємств на перевезення.

Список використаних джерел:

1. *Фірсов О. Д., Бібля А. Н.* Проектування інтелектуальної транспортної системи міста // Вісник АМСУ. Серія: "Технічні науки". 2015. № 1 (53). С. 20–31. URL: file:///D:/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/Downloads/vamsutn_2015_1_5.pdf

2. Мозлевич Г. Я., Риздванецький Д. В. Оптимізація функціонування міського транспорту шляхом впровадження інтелектуальних транспортних систем. 2013. 7 с.

3. Кочегурова Е. А., Мартынова Ю. А. Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений // Известия Томского политехнического университета. 2013. № 5. Т. 323. С. 56–57.

4. Алексеев О. П., Пронин С. В. Интеллектуализация транспортных систем в задачах розвитку великих міст // Автомобільний транспорт. 2007. № 21. URL: <http://www.cyberleninka.ru/article/n/intellektualizatsiya-transportnyh-sistem-v-adachah-razvitiya-bolshih-gorodov>

5. Осетрін М. М., Беспалов Д. О., Дорош М. І. Основні принципи створення транспортної моделі міста. URL: <https://bespalov.me/2015/10/07/osnovni-prynzupu-stvorennuya-transportnoi-modeli-mista>

6. Принципы формирования городской транспортной системы. URL: <https://konspekta.net/lek-16024.html>

7. Гаген А. Транспортне планування: мета та інструменти. URL: <http://urbanua.org/eksperty/ukrayinski-eksperty/95>, 2017

8. Комаров В. В., Гараган С. А. Архітектура і стандартизація телематичних і інтелектуальних транспортних систем. Зарубіжний досвід і вітчизняна практика. Москва: Энергия, 2012. 352 с.

9. Гузенко А. В. Розвиток міського пасажирського транспорту мегаполіса: проблеми та перспективи // Вісник Томського державного університету. 2009. № 321.

10. Бернстайн В. Транспортная концепция Днепра: очевидное невероятное от горсовета. URL: <https://dengi.informator.ua/2016/12/21/transportnaya-kontseptsiya-dnepra-ochevidnoe-neveroyatnoe-ot-gorsoveta/>

11. Інтелектуальна транспортна система Москви // ЦОДД. URL: <http://www.gucodd.ru/index.php/component/content/article/58>

12. Грабельников В. А., Шевченко О. В. Організація регулювання системою міського громадського пасажирського транспорту // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. 2013. № 4. С. 4–9. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vdiat_2013_4_3

13. Маршрутная система городского пассажирского транспорта. URL: <https://studfiles.net/preview/5609178/page:26/>

14. Мелихов В. А., Гудков В. А. Принципы формування маршрутної мережі. URL: <http://www.cyberleninka.ru/article/n/printsiipy-formirovaniya-marshrutnoy-seti>

15. Бойко Г. В. Методика оптимізації структури транспорту для обслуговування міських пасажирських перевезень. Волгоград: ВДТУ, 2006. 162 с.

16. *Возулякова А. С.* Управління рухом міського транспорту. URL: <http://www.beriki.ru/2008/10/18/upravlenie-dvizheniem-gorodskogo-transporta-chast-1>

17. *Енин Д. В., Бочаров М. А.* Удосконалення ефективності роботи міського пасажирського транспорту відповідно до заданого розкладу руху. URL: http://www.science-bsea.narod.ru/2003/ekonom_2003/enin.htm

Referenses:

1. Firsov O. D. and Biblya A. N. (2015), Proektuvannya intelektual'noi transportnoi systemy mista [Designing the city's intelligent transportation system], AMSU. Series: "Technical Sciences ", vol. 1 (53), p. 20–31. URL: file:///D:/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/Downloads/vamsutn_2015_1_5.pdf

2. Mozlevych H. Ya. and D. V. Ryzdvanec'kyi (2013), Optimizaciya funkcionuvannya mis'kogo transportu shlyahom vprovadzhennya intelektual'nih transportnih system [Optimization of the functioning of urban transport through the introduction of intelligent transport systems], p. 2–17 [Ukraine]

3. Kochehurova E. A. and Martinova Yu. A. (2013), Optimizaciya skladannya marshrutiv gromads'kogo transportu pri stvorenni avtomatizovanoi sistemi pidtrimki priinyattya rishen' [Optimization of public transport routes when creating an automated decision support system], journal Izvestiya Toms'kogo politekhnichnogo universitetu., vol. 5 (323), p. 56–57. [Ukraine]

4. Alekseev O. P. and Pronin S. V. (2007), Intelektualizaciya transportnih sistem v zadachah rozvitku velikih mist [Intellectualization of transport systems on the problems of the development of large cities], journal Avtomobil'nij transport, vol. 21, available at: <http://www.cyberleninka.ru/article/n/intellektualizatsiya-transportnyh-sistem-v-adachah-razvitiya-bolshih-gorodov> [Ukraine]

5. Osetrin M. M., Bepalov D. A. and Dorosh M. I. (2015), Osnovni principi stvorennya transportnoi modeli mista [Basic principles of creating a city transport model], site, available at: <https://bespalov.me/2015/10/07/osnovni-prynzypu-stvorennya-transportnoi-modeli-mista> [Ukraine]

6. Principi formuvannya mis'koi transportnoi sistemi [Principles of formation of urban transport system], site, available at: <https://konspekta.net/lek-16024.html> [Ukraine]

7. Gagen A. (2017), Transportne planuvannya: meta ta instrumenti [Transport planning: goals and tools], site, available at: <http://urbanua.org/eksperty/ukrayinski-eksperty/95> [Ukraine]

8. Komarov V. V. and Garagan S. A. (2012), Arhitektura i standartizaciya telematichnih i intelektual'nih transportnih sistem. Zarubizhnij dosvid i vitchiz-

nyana praktika [Architecture and standardization of telematics and intelligent transport systems.Foregin experience and domestic practic], journal, Energiya, 2012, 852 p. [Ukraine]

9. Huzenko A. V. (2009), Rozvitok mis'kogo pasazhirs'kogo transportu megapolisu: problemi ta perspektivi [Development of urban passenger transport of the metropolis: problems and perspectives], journal Visnik Toms'kogo derzhavnogo universiteta, vol.321, pp. 64–85. [Ukraine]

10. Bernstajn V. (2016), Transportna koncepciya Dnipra [Transport concept of the Dnieper], site, available at: <https://dengi.informator.ua/2016/12/21/transportnaya-kontsepsiya-dnepra-ochevidnoe-neveroyatnoe-ot-gorsoveta/> [Ukraine]

11. Intelktual'na transportna sistema Moskvi (2012), [Intellectual transport system of Moscow], site, available at: <http://www.gucodd.ru/index.php/component/content/article/58> [Ukraine]

12. Grabel'nikov V. A. and Shevchenko O. V. (2013), Organizaciya reguluvannya sistemoyu mis'kogo gromads'kogo pasazhirs'kogo transportu [Organization of regulation of the urban passenger transport system] : article, p. 4–26 [Ukraine]

13. Marshrutna sistema mis'kogo pasazhirs'kogo transport [Route system of urban passanger transport], site, available at: <https://studfiles.net/preview/5609178/page:26/> [Ukraine]

14. Melihov V. A. and Gudkov V. A. (2011), Principi formuvannya marshrutnoï merezhi [Principles of the route network formation], site, available at: <http://www.cyberleninka.ru/article/n/printsipy-formirovaniya-marshrutnoy-seti> [Ukraine]

15. Boiko H. V. (2006), Metodika optimizacii strukturi transportu dlya obslugovuvannya mis'kih pasazhirs'kih perevezen' [Method of optimization of the structure of transport for servicing urban passenger transportation], tutorial, VDTU, 162 p. [Ukraine]

16. Vogulyakova A. E. Upravlinnya ruhom mis'kogo transportu [Urban traffic managment], site, available at: <http://www.beriki.ru/2008/10/18/upravlenie-dvizheniem-gorodskogo-transporta-chast-1> [Ukraine]

17. Enin D. V. and Bocharov M. A. Udoskonalennya efektyvnosti roboti mis'kogo pasazhirs'kogo transportu vidpovidno do zadanogo rozkladu ruhu [Improving the efficiency of urban passenger transport in accordance with the set schedule], site, available at: http://www.science-bsea.narod.ru/2003/ekonom_2003/enin.htm [Ukraine]