

## Визначення складності автобусного маршруту за умовами експлуатації

(Представлено д.т.н., проф. Кравченко О.П.)

*Технічна експлуатація, як підсистема автомобільного транспорту, є суттєво впливовою на ефективність перевізного процесу і потребує постійної досконалості, а саме: за рахунок об'єктивного нормування (коригування) показників роботи на маршруті з урахуванням умов експлуатації рухомого складу.*

*Для детального аналізу швидкісних якостей і паливної економічності автобусу, при роботі на міських маршрутах, досить корисним являється експериментально-розрахунковий метод дослідження, який передбачає отримання експериментальних вихідних даних і використання їх для відповідних розрахунків через визначені критерії складності автобусного маршруту.*

*Важливим фактором для досконалого нормування витрати палива в умовах міських пасажирських перевезень треба вважати умови експлуатації транспортного засобу, під яким мається на увазі перш за все дорожні умови і режими руху, які надають основний вплив на витрати палива і середню швидкість руху автомобіля.*

*Вихідні показники автобусу (середня швидкість, витрати палива) на міських маршрутах досить низькі, незважаючи на рівнинний характер доріг. Це пояснюється несприятливими умовами міського руху (занадто низька дозволена швидкість, висока кількість перешкод, часті зупинки, несталі режими руху, висока частка використання низьких ступенів трансмісії і т.і.), що свідчить про необхідність врахування при розробці маршрутів значний вплив їх складності на середню швидкість, витрати палива і інші параметри руху.*

*Теоретична і експериментальна розробка методу оцінки складності автобусних маршрутів, їх класифікація, яка базується на зібранні інформації про роботу автобусу на лінії, дозволить передбачати та коригувати витрати палива при виконанні перевізного процесу на маршрутах.*

*Пропонується технологія визначення показника складності міського автобусного маршруту, яка базується на основі розробленої математичної моделі параметрів складності руху міських автобусів, вибору з них найбільш значущих і уточнення на їх основі класифікації, визначивши ступінь впливу кожного із факторів.*

**Ключові слова:** маршрутна мережа; складність маршруту; транспортний процес; перешкоди; умови експлуатації.

**Постановка проблеми.** Головне функціональне призначення автобусного сполучення щодо комфортності, безпечного і швидкого перевезення пасажирів має бути тісніше поєднаним із зниженням транспортних витрат. Це свідчить, що невідкладне завдання по підвищенню якості автобусних перевезень поширюється одночасно на всіх учасників транспортного процесу: пасажирів, перевізників, суспільство.

Для визначення ключових закономірностей умов експлуатації міського автобусу на маршруті, необхідно проаналізувати і виділити головні корінні експлуатаційні властивості, так як кожна з цих властивостей, при відповідних умовах руху, може виявитись основною, визначаючи відповідні поведінки автобусу а також обмежуючи допустиму швидкість руху, при якій витрати палива будуть оптимальними. Початковим етапом такого дослідження є класифікація автобусного маршруту за критерієм складності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вирішення транспортних проблем у великих сучасних містах завжди являється актуальною задачею, яка постійно потребує розвитку та вдосконалення і відповідно цьому приділяється значна увага як вітчизняних так і зарубіжних науковців.

Найважливішим направленням підвищення якості і ефективності використання автомобілів нерозривно поєднано не тільки зі створенням більш досконаліших конструкцій, але і з вдосконаленням методів досліджень і оцінки якісних показників в конкретних умовах експлуатації. В першу чергу це відноситься до показників паливної економічності, тягово-швидкісним і токсичності відпрацьованих газів [1].

Детальний аналіз теоретичних основ дослідження залежності паливної економічності і тягово-швидкісних якостей автомобіля від конструктивних, експлуатаційних і інших факторів, умов і режимів роботи, провів Токарев А.А. [9]. Аналіз робіт по вказаному направленню виконаний з виділенням режимів руху автомобіля, в тому числі циклічному, та розглянуто також вплив ряду експлуатаційних факторів.

Говорушченко М.Я. досить повно розглянув типові конструктивні і експлуатаційні фактори, які впливають на витрати палива. Викладена класифікація умов роботи автомобіля і методика досконалості нормування і керування витратами палива. Проведені в ХНАДУ експерименти підтверджують теоретичні

висновки, що самим економічним по витраті палива являється режим руху автомобіля з постійною швидкістю. При всяких інших режимах руху при витриманні однієї і тієї ж швидкості витрати палива збільшуються. Середній ефект оптимізації швидкісного режиму автомобіля коливається в межах 7...8 %. Ефективність оптимізації зростає зі збільшенням навантаження і погіршення дорожніх умов [1].

При вирішенні задачі оптимізації складності міської маршрутної мережі, дослідники використовували різні підходи.

Дослідження, проведені І.В. Коніним [6] показали, що серед факторів умов руху, найбільший вплив на витрати палива автобусами, мають частота технологічних і випадкових зупинок, швидкість руху і довжина перегону технологічного циклу. Серед факторів транспортних умов – є наповненість салону автобусу по перегонах і інтенсивність руху транспортного потоку і серед факторів дорожніх умов – стан дорожнього покриття. Доведено, що найбільше навантаження на головну компоненту мають «питома кількість гальмування» і «питома кількість виконаних зупинок». У відповідності алгоритму таксономії, було виконано групування маршрутів в 4 категорії складності.

У роботі [8] авторами наведено результати дослідження впливу на швидкість сполучення на маршруті пасажирського транспорту факторів постійного характеру, що доцільно використовувати для транспортно-град будівельного проектування.

Науковцями [5] запропонований метод оцінки складності маршруту руху автобусу, який дозволяє кількісно встановити зв'язок між показниками і різними факторами, які визначають якість автобусних перевезень. Кількісно визначено вклад кожного фактору в результуючу ознаку і запропонований комплексний показник екологічної ефективності пасажирських перевезень.

Автором статті [10] на основі проведеної кластеризації та зібраної інформації про маршрути, проведено розрахунок складності роботи водіїв на маршрутах міського пасажирського транспорту та визначено, що з урахуванням складності маршрутів для водіїв можливе збільшення тарифної ставки, що буде відповідною до категорії маршруту.

Узагальнюючи огляд останніх досліджень і публікацій, можна зробити висновок, що проблема об'єктивного оцінювання експлуатаційних умов роботи маршрутного автобусу, вплив їх на паливну економічність та екологічні показники, знаходиться в центрі уваги науковців.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є підвищення ефективності технічної експлуатації міських автобусів за рахунок визначення факторів складності маршруту з подальшим коригуванням нормативів технічної експлуатації та прогнозування витрати палива.

**Викладення основного матеріалу.** Автобусні перевезення в перспективі для більшості міст України залишаються основним видом пасажирських перевезень і мають велике соціальне значення. В теперішній період основними задачами пасажирського автомобільного транспорту являється: покращення організації його роботи, підвищення регулярності руху автобусів на маршрутах, досконалість управління перевізним процесом.

Для громадського пасажирського транспорту ринковим регулятором є конкуренція перевізників за досягнення оптимального відповідності попиту і пропозиції на транспортні послуги, заснована на ціновому і нецінових факторів. Це пов'язано з тим, що в останні роки галузь автомобільних пасажирських перевезень перетерпіла значні зміни, які виражені у зміні державних автопідприємств на велику кількість підприємств різної форми власності та господарські суб'єкти з власними транспортними засобами.

В теперішній час стан міських транспортних систем в Україні характеризується високим завантаженням транспортної мережі, збільшенням часу затримки міського пасажирського транспорту біля зупиночних пунктів через малу пропускну здатність та утворення заторів біля них. В зв'язку з цим знижується безпека і швидкість сполучення міського пасажирського транспорту. При досягнутому рівні автомобілізації і недостатньої пропускну спроможності міської транспортної мережі міста виникає проблема зниження швидкості сполучення міського пасажирського транспорту.

В сучасних умовах економічної самостійності пасажирських підприємств і вільної конкуренції в секторі міських пасажирських перевезень, необхідно виконувати оцінку параметрів маршрутних мереж з метою підвищення ефективності експлуатації рухомого складу, так як за цим слідує резерв підвищення паливної економічності, екологічних показників і зниження собівартості перевезень для перевізника.

В цей період значно зростає роль системи освоєння рухомого складу на пасажирському транспорті, вибору рухомого складу, здатності технічної експлуатації ефективно експлуатувати автобус в залежності від складності маршруту руху. При цьому, під складністю автобусного маршруту розуміється сукупність дії факторів, що визначають інтенсивність використання рухомого складу на маршруті (швидкість, середньодобовий пробіг, час в наряде, коефіцієнт використання пасажиромісності), параметри самого маршруту (число технологічних зупинок, перехресть, світлофорів, стан дорожнього покриття, наявність і величина спусків і підйомів і т. і.), транспортні умови і умови руху на маршруті [6].

Швидкість руху автомобіля є тим експлуатаційним параметром, який значно змінюється в залежності від умов експлуатації і суттєво впливає на витрати палива. Оптимізуючи і змінюючи у відповідних межах швидкість, можливо вибрати найвигідніші режими руху і добиватись значної економії палива.

В теперішній час, при значному зростанні вартості палива, об'єктивне нормування (коригування) експлуатаційних витрат автопідприємств, завдяки отриманій інформації про роботу автобусу на лінії та з досить точного обґрунтування показників складності будь якого маршруту, дозволить впливати на економічну ефективність автобусних перевезень.

Такий підхід в значній мірі визначається досконалістю теоретичних і експериментальних методів досліджень, які відображають швидкісні і навантажувальні режими руху в реальних умовах експлуатації. Оскільки швидкість сполучення на маршруті залежить від втрат часу який визваний наявністю різного роду перешкод, то виникає потреба пошуку прогнозування оцінки швидкості сполучення на маршруті через його складність.

Детальні обстеження автобусних маршрутів м. Житомира дозволили встановити, що умови експлуатації міських автобусів на різних маршрутах сильно відрізняються і мають відмінності у швидкісних характеристиках [7]. Тому, в якості основних параметрів, при оцінці паливної економічності автобусу є швидкість сполучення, визначена з урахуванням особливостей маршруту, які піддаються опису.

Для взаємозв'язку умов перевізного процесу, доцільно виникає необхідність у виділенні основних факторів різних груп, що впливають на параметри технологічного процесу перевезення пасажирів на маршруті (рис. 1) [3].



Рис. 1. Взаємозв'язок елементів технологічного процесу перевезення пасажирів і факторів, що впливають з них

При оцінці роботи пасажирського транспорту, з точки зору обслуговування населення, розглядається швидкість сполучення, тобто швидкість з якою переміщуються рухомі одиниці, включно необхідні і вимушені зупинки на маршруті.

Під умовами експлуатації вбачаються перш за все дорожні умови і режими руху, які надають основний вплив на витрати палива і середню швидкість руху автомобіля.

Швидкість руху маршрутних транспортних засобів визначає час переміщення усіх пасажирів громадського транспорту і являється самим важливим параметром руху автобусів на маршруті [2].

Сукупність індивідуальних техніко-експлуатаційних властивостей рухомого складу, їх тривалість проїзду по конкретним маршрутам, дає можливість в якості об'єкту регламентування основних параметрів технічної експлуатації вибирати кожний окремо взятий автобус.

Усі експлуатаційні фактори роботи автобусу на маршрутів визначені за результатами дослідження. Підсумкові значення зафіксованих факторів розраховувались як середнє арифметичне значення.

Питома кількість технологічних зупинок на маршруті:

$$n_m = \frac{n_i}{L_k}; \quad (1)$$

де  $n_i$  – загальна кількість технологічних зупинок на  $i$ -му маршруті;  
 $L_k$  – довжина  $k$ -го маршруту, м.

Питома кількість світлофорних об'єктів на маршруті:

$$n_{\text{св}} = \frac{N_{\text{св}}}{L_k}, \quad (2)$$

де  $N_{\text{св}}$  – загальна кількість світлофорних об'єктів на  $i$ -му маршруті.

Питома кількість поворотів на маршруті:

$$n_{\text{п}} = \frac{N_{\text{п}}}{L_k}, \quad (3)$$

де,  $N_{\text{п}}$  – загальна кількість поворотів на  $i$ -му маршруті.

Питома кількість нерегульованих пішохідних переходів на маршруті:

$$n_{\text{пп}} = \frac{N_{\text{пп}}}{L_k}, \quad (4)$$

де  $N_{\text{пп}}$  – загальна кількість нерегульованих пішохідних переходів на  $i$ -му маршруті.

Швидкість сполучення:

$$V_c = \frac{L_k}{t_p - t_{\text{пк}}}, \quad (5)$$

де  $t_p$  – час рейсу на  $i$ -му маршруті, сек.

$t_{\text{пк}}$  – час простою на кінцевих пунктах  $i$ -го маршруту, сек.

На першому етапі побудови математичної регресійної моделі здійснювався кореляційно-регресійний аналіз, який спрямований на встановлення стійкості зв'язку між частотами розглядуваних перешкод та технічною швидкістю руху автобусу і як наслідок, визначено найсуттєвіші фактори, що впливають на цю швидкість.

Перевірка зв'язку між вихідними признаками і змінною здійснюється на підставі раніше виконаних досліджень [4, 7], графічного аналізу досліджуваних залежностей, статистичного аналізу тісноти зв'язку між признаками і показниками на основі кореляційного аналізу і побудови регресійних моделей. Кореляційний аналіз підтвердив взаємозв'язок вибраних факторів складності маршруту руху міського автобусу.

Основою для визначення складності маршруту є показник – коефіцієнт складності маршруту руху, який враховує умови експлуатації автобусу на маршруті.

Згрупуємо зібрані статистичні дані за повний оберт для кожного маршруту, беручи до уваги лише значимі фактори ( $x_1$  – частота зупинок;  $x_2$  – частота світлофорів;  $x_3$  – частота пішохідних переходів;  $x_4$  – частота нерегульованих перехресть), доповнимо їх показником пасажиропотоку з розрахунку на один автобус ( $x_5$ ), та введемо показник складності маршруту  $\eta$  наступним чином:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^4 k_i x_i + \frac{x_5}{m}}{L}, \quad (6)$$

де  $L$  – довжина маршруту, м;

$m$  – кількість перегонів між зупинками, од.;

$k_i$  – допоміжні коефіцієнти, що характеризують ступінь впливу відповідного фактору на величину технічної швидкості  $V_t$ .

Результати дослідження наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати досліджень показника складності маршруту м. Житомира

№ маршруту	Загальна довжина маршруту, м	Пасажиропотік за добу, пас. / 1автобус	Показник складності
1	20,8	670	5,1406
4	27,4	543	4,3100
5	22,3	439	5,1067
8	35	728	3,6495
10	32,6	754	3,3248
11	33	497	4,2381
14	21,6	620	4,4228
19	35	548	3,5423
23	30,8	300	3,9330
25	23,3	456	3,6785
26	26,8	758	3,9716
30	24,7	696	4,4547
33	25,4	728	5,0414
37	20,3	334	4,9597
44	36	664	3,5421
58	24,3	770	5,4691

Методами кластерного аналізу [10] проведемо категорювання автобусних маршрутів. Для визначення оптимальної кількості та меж ешелонів скористаємось формулою Стерджеса:

$$h = \frac{\eta_{max} - \eta_{min}}{1 + 3,322 \cdot \lg n'} \quad (7)$$

де  $h$  – крок інтервалу;

$\eta$  – показник складності маршруту;

$n$  – кількість проведених спостережень.

У нашому випадку  $n=16$ , звідки оптимальне число категорій дорівнює 5 і крок групування  $h=0,429$ . Отримані таким чином результати категорювання зведені у таблицю 2.

Таблиця 2

Категорії складності автобусних маршрутів відповідно інтервалів групування

Категорія	Інтервал	Номери маршрутів
1	3,325–3,754	8, 10, 19, 25,44
2	3,754–4,133	23, 26
3	4,133–4,611	4, 11, 14, 30
4	4,611–5,040	37
5	5,040–5,469	1, 5, 33, 58

Аналіз отриманої класифікації дозволяє відмітити, що вона являється універсальною, яка коректує діючі класифікації міських автобусних маршрутів шляхом обліку нових впливових факторів і доповнює загальноприйнятту класифікацію умов експлуатації, дозволяє кількісно оцінити умови експлуатації (умови руху, дорожні і транспортні умови) і як слідство-ефективність роботи міських автобусів на лінії.

Введення технічно обґрунтованих категорій складності маршрутів або груп типових маршрутів, дозволить постійно контролювати ефективність роботи автобусів і запобігати нераціонального коливання швидкісних режимів руху, що можливо використовувати для прогнозування витрати палива.

**Висновки.** Проведені дослідження показали, що технологічні параметри перевізного процесу визначають фактор складності автобусного маршруту, який впливає на переміщення пасажирів та умови експлуатації автобусу. Отримані закономірності впливу параметрів перевізного процесу на швидкість руху в подальшому доцільно використовувати при розробці моделі прогнозування і нормування витрати палива міським автобусом при роботі на маршруті.

#### Список використаної літератури:

1. Говоруценко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говоруценко. – М. : Транспорт, 1990. – 135 с.
2. Параметри руху маршрутного автомобільного пасажирського транспорту в центральній частині м. Харкова / П.Ф. Горбачов, А.І. Воронков, О.С. Колій, І.М. Нікітченко // Вісник ХНАДУ, 2013. – № 60. – С. 34–37.
3. Давідич Ю.О. Розробка розкладу руху транспортних засобів при організації пасажирських перевезень / Ю.О. Давідич. – Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2010. – 345 с.
4. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента ; пер. с англ. / Н.Джонсон, Ф.Лион. – М. : Мир, 1981. – 520 с.
5. Ерохов В.И. Влияние дорожных факторов на выброс вредных веществ и расход топлива автотранспортными средствами / В.И. Ерохин, Е.В. Бондаренко // Вестник ОГУ. – 2005. – № 4. – С. 139–151.
6. Конин И.В. Разработка метода оценки сложности автобусных маршрутов : автореф. дис. ... к.т.н. : Спец. 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / И.В. Кошкин. – Москва : МАДИ, 1993. – 20 с.
7. До питання визначення технічної швидкості міського маршрутного автобусу в залежності від умов експлуатації / М.М. Маяк, С.В. Мельничук, Р.М. Головня, С.П. Чуйко // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – Луцьк : ЛНТУ, 2018. – № 1 (10). – С. 58–65.
8. Рейцен Е.А. Исследование зависимости скорости сообщения на маршруте пассажирского транспорта от сложности маршрута / Е.А. Рейцен, Э.В. Руденков // Вісник Дон.ААТ. – 2009. – № 4. – С. 26–31.
9. Токарев А.А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля / А.А. Токарев. – М. : Машиностроение, 1982. – 224 с.
10. Шапенко Є.М. Використання кластерного аналізу для визначення факторів, які впливають на складність роботи водіїв на маршрутах міського пасажирського транспорту / Є.М. Шапенко // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К. : НТУ. – Вип. 13. – С. 206–211.

**References:**

1. Govorushhenko, N.Ja. (1990), *Jekonomija topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobil'nom transporte*, Transport, M., 135 p.
2. Gorbachov, P.F., Voronkov, A.I., Kolij, O.S. and Nikitchenko, I.M. (2013), «Parametry ruhu marshrutnogo avtomobil'nogo pasazhyrs'kogo transportu v central'nij chastyni m. Harkova», *Visnyk HNADU*, No. 60, Pp. 34–37.
3. Davidich, Ju.O. (2010), *Rozrobka rozkladu ruhu transportnyh zasobiv pry organizacii' pasazhyrs'kyh perevezen'*, Hark. nac. akad. mis'k. gosp-va, HNAMEG, H., 345 p.
4. Dzhonson, N. and Lion, F. (1981), *Statistika i planirovanie jeksperimenta v tehnikе i nauke: Metody planirovanija jeksperimenta*, Translate by Enllish, Mir, M., 520 p.
5. Erohov. V.I. and Bondarenko, E.V. (2005), «Vlijanie dorozhnyh faktorov na vybros vrednyh veshhestv i rashod topliva avtotransportnyimi sredstvami», *Vestnik OGU*, No. 4, Pp. 139–151.
6. Konin, I.V. (1993), *Razrabotka metoda ocenki slozhnosti avtobusnyh marshrutov*, abstract of dis. k.t.n., Spec. 05.22.10 «Jekspluatacija avtomobil'nogo transporta», MADI, Moskva, 20 p.
7. Majak, M.M., Mel'nychuk, S.V., Golovnja, R.M. and Chujko, S.P. (2018), «Do pytannja vyznachennja tehnicnoi' shvydkosti mis'kogo marshrutnogo avtobusu v zalezhnosti vid umov ekspluatacii'», *Suchasni tehnologii' v mashynobuduvanni ta transporti*, LNTU, Luc'k, No. 1 (10), Pp. 58–65.
8. Rejcen, E.A. and Rudenkov, Je.V. (2009), «Issledovanie zavisimosti skorosti soobshhenija na marshrute passazhirskogo transporta ot slozhnosti marshruta», *Visnik Don.AAT*, No. 4, Pp. 26–31.
9. Tokarev, A.A. (1982), *Toplivnaja jekonomichnost' i tjagovo-skorostnye kachestva avtomobilja*, Mashinostroenie, M., 224 p.
10. Shapenko, Je.M. «Vykorystannja klasterного analizu dlja vyznachennja faktoriv, jaki vplyvajut' na skladnist' roboty vodiiv na marshrutah mis'kogo pasazhyrs'kogo transportu», *Upravlinnja proektamy, systemnyj analiz i logistyka*, NTU, K., Iss. 13, Pp. 206–211.

**Чуйко** Сергій Петрович – аспірант кафедри автомобілів і транспортних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– паливна економічність міського автобусу.

E-mail: [expertauto@ukr.net](mailto:expertauto@ukr.net).

Стаття надійшла до редакції 10.09.2018.