

УДК 629.114.7

П.М. Гащук<sup>1</sup>, М.В.Дубно<sup>2</sup>, В.М.Палюх<sup>2</sup><sup>1</sup>Національний університет "Львівська політехніка", Львів<sup>2</sup>Львівський інститут Сухопутних військ НУ "Львівська політехніка", Львів

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТА ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ РУХУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

*Розроблені методи моделювання режимів руху й отримано поліноміальні моделі для визначення часової витрати палива, середнього передатного числа трансмісії, середньої потужності і середньої частоти обертання вала двигуна, крутного моменту і додаткових витрат потужності на криволінійний рух залежно від перетину поздовжнього профілю дороги, повної маси автопоїзда, перешкодонасиченості маршруту руху, коефіцієнта зчеплення шин з дорогою, коефіцієнта опору коченню та інтенсивності руху.*

*дослідження, експеримент, автотранспортний засіб, модель, режими руху, моделювання*

### Вступ

Поліноміальні моделі можуть бути різного ступеня складності. Але оскільки затрати праці і засобів тим більше, чим складніша модель, то ступінь складності моделей, що практично застосовуються, повинна бути мінімально необхідною. У роботі показано моделі, які необхідні при визначенні показників руху АТЗ, і забезпечувана ними точність визначення показників руху.

### Методика і проведення досліджень

З метою визначення норм швидкостей руху автопоїздів КАЗ-608 з ОдАЗ-885 на дорогах України був здійснений модельний експеримент відповідно до плану експерименту, що являє собою піврепліку (шість змінних, кожна з яких приймалася на двох рівнях).

При моделюванні режимів руху змінними були прийняті: перетин поздовжнього профілю –  $\Pi$ , %; повна маса автопоїзда –  $G_a$ , кг; перешкодонасиченість маршруту руху –  $K$ , град/км; коефіцієнт зчеплення шин з дорогою –  $\varphi$ ; коефіцієнт опору коченню –  $f$ ; інтенсивність руху –  $u$ ; навед. од/год, при такому їх кодуванні:

$$x_1 = \frac{\Pi - 23}{17}; x_2 = \frac{G_a - 11820}{4970}; x_3 = \frac{K - 20}{20};$$

$$x_4 = \frac{\varphi - 0,6}{0,2}; x_5 = \frac{f - 0,02075}{0,00925}; x_6 = \frac{u - 450}{450}.$$

План експерименту за відомою методикою планування експерименту складався для визначення залежності середньої швидкості від шести факторів  $V_{\text{сеп}} = \xi(\Pi, G_a, K, \varphi, f, u)$  [1].

Вказані діапазони зміни чинників були визначені внаслідок проведеного обстеження магістральної дорожньої мережі України і у зв'язку з необхідністю визначення норм швидкостей для різних періодів року (зима, літо) як для повністю завантаженого ав-

топоїзду, так і для автопоїзда без вантажу.

Основні показники автопоїзда, який використано при проведенні експерименту: максимальна потужність двигуна,  $N_{\text{max}} = 110,3$  КВт, частота обертання вала двигуна при  $N_{\text{max}}$ ,  $n_N = 3200 \text{ хв}^{-1}$ , діапазон зміни маси 6850 – 16790 кг.

Для розрахункового відтворення режимів руху були сконструйовані два маршрути, подовжні профілі яких з вказівкою довжини в км і висотних відміток в м показані на рис. 1. Поздовжній профіль першого з цих маршрутів є рівнинним (схили не перевищують 40 % і не є зтяжними) і має показник перетину  $\Pi = 6$  %, а поздовжній профіль другого – горбистим (зтяжні схили досягають 60 %) і має показник перетину  $\Pi = 40$  %. На рис. 1 показані графіки швидкості руху, що відповідають плану експерименту. Вони дають певне уявлення про вплив варійованих факторів на режими руху.

Відповідно до плану експерименту в першому досліді моделювався рух автопоїзда без вантажу по рівнинному маршруту при відсутності кривих у плані, перетинів, звуженої проїзної частини і населених пунктів ( $K = 0$ ) при низькому значенні коефіцієнта зчеплення ( $\varphi = 0,4$ ), мінімальному опорі коченню і при відсутності випадкових перешкод (попутних і зустрічних АТЗ). Вказані умови руху відповідають нижнім рівням всіх факторів.

У другому досліді моделювався рух автопоїзда також без вантажу, але по горбистому маршруту і при максимальній інтенсивності руху. У цьому випадку на маршруті також відсутні криві в плані, перехрестя, звуження дороги і населені пункти та прийняті мінімальними коефіцієнти  $f$  і  $\varphi$ .

У третьому досліді моделювався рух автопоїзда знов на рівнинному маршруті, але з вантажем та при максимальній інтенсивності руху і т.д. При цьому у всіх випадках при моделюванні дотримувалося встановлене для вантажних автопоїздів обме-

ження максимальної швидкості руху (70 км/год).

Було розраховано графіки математичного сподівання швидкості руху при наявності випадкових перешкод (інтенсивність руху) на маршрутах обох типів.



Рис. 1. Графіки зміни швидкості автопоїзда ЗИЛ 130 при різних умовах руху на горбистому і рівнинному маршрутах

На основі отриманої залежності середньої швидкості від інтенсивності руху (рис. 2) проводилося коректування середніх швидкостей з урахуванням інтенсивності руху.

Внаслідок подальших розрахунків були знайдені коефіцієнти регресії інтерполяційної формули для визначення середньої швидкості, критерій

Фішера F і дисперсія помилки коефіцієнта регресії (табл. 1). За величиною останньої була зроблена оцінка коефіцієнтів регресії і відкинуті ті з них, які виявилися меншими  $\sigma_{bi}^2$ . Величина критерію F показує хорошу адекватність отриманої поліноміальної моделі щодо результатів модельного експерименту, тобто щодо результатів розрахункового відтворення режимів руху на ЕОМ. Однак, враховуючи недостатність такої оцінки адекватності отриманої поліноміальної моделі, був проведений натурний експеримент щодо визначення фактичних середніх швидкостей руху на ряді маршрутів.

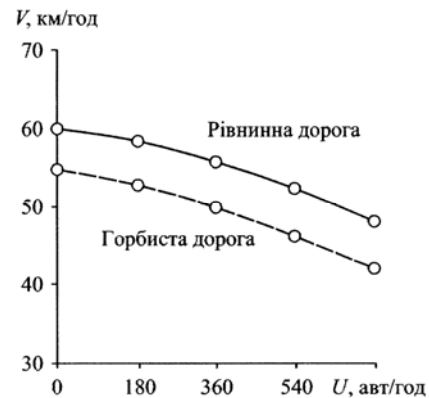


Рис. 2. Залежність середньої швидкості руху автопоїздів від інтенсивності руху для двосмугових доріг: рівнинна дорога ( $\Pi = 6\%$ ), горбиста дорога ( $\Pi = 40\%$ )

Таблиця 1

Коефіцієнти регресії інтерполяційної формули

Позначення	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_{12}$	$b_{14}$	$b_{15}$	$b_{24}$	$b_{25}$	$b_{34}$	$b_{36}$	$b_{45}$	$b_{46}$	F	$\sigma_{bi}^2$
Числове значення	12,394	-0,248	-1,367	-0,193	2,103	-0,635	-1,442	-0,613	-0,548	-0,140	-0,71	-0,439	-0,193	0,137	-0,433	-0,504	1,502	0,002

Шляхом хронометражу поїздок автопоїздів КАЗ-608 з ОДАЗ-885 у реальних експлуатаційних умовах були визначені їх технічні швидкості. При проведенні хронометражу яких-небудь додаткових вимог до рухомого складу (у тому числі і до повторності використання одного й того ж тягача), виду вантажу, режимів руху, крім установлених чинними правилами експлуатації автомобілів, перевезення вантажів і руху, не ставилося. Експеримент проводився у весняний період року при коефіцієнті зчеплення дороги  $\varphi = 0,7$ . Маса вантажу фіксувалася за транспортними документами.

У табл. 2 вказані маршрути, на яких проводився експеримент, вимірники умов руху на цих маршрутах, мінімальні і максимальні швидкості, зафіксовані при експерименті.

Як відомо, показники руху, зокрема середня швидкість і витрата палива, підпорядковується нормальному закону розподілу.

Оскільки статистичні оцінки експериментальних даних надалі прийняті: середня арифметична величина, емпіричний стандарт і симетричні довірчі оцінки, а при зіставленні результатів розрахунку з результатами експерименту може бути використана нуль-гіпотеза [2].

У передостанньому стовпці табл. 2 вказана середня швидкість, обчислена шляхом підстановки відповідних значень вимірників даного маршруту в інтерполяційній формулі (поліноміальну модель), а в останньому стовпці – відносна помилка визначення середньої швидкості (розходження між експериментальними і розрахунковими значеннями).

Оцінюючи отримані результати, потрібно визнати їх цілком задовільними, оскільки окремі випадки надмірного (понад 5%) розходження розрахункових і експериментальних даних пояснюється недостатньо точним обліком навантаження, яке фіксувалося за перевізними документами.

Таблиця 2

Середні швидкості автопоїздів КА3-608 з ОдА3-885 при різних умовах руху

Назва маршруту і вимірювачі умов руху				Кількість поїздок, п	Середня маса навантаження, т	Швидкість, км/год		Емпіричний стандарт, км/год	Розрахункове значення швидкості, км/год	Похибка, %
$P$ , %	$K$ , град/км	$f$	$u$ , авт/год			$V_{\min} \dots V_{\max}$	Середня			
1. Київ-Пирятин										
6,5	54,3	0,015	400	8	6,7	47,7...55,3	51,4	2,38	49,6	3,5
2. Київ-Житомир										
10,5	77,7	0,015	400	8	6,9	46,6...54,7	50,6	2,36	47,9	5,3
3. Київ-Чернігів										
6,8	94,8	0,015	500	7	7,2	44,6...49,3	47,3	2,57	46,2	2,4
4. Дніпропетровськ-Брагинівка										
3,65	63,75	0,021	500	10	5,9	35,1...47,1	42,4	3,66	44,1	4,0
5. Дніпропетровськ-Александрія										
12,1	58,7	0,018	350	10	6,5	37,4...55,5	48,1	5,40	48,3	0,4
6. Львів-Мукачево										
15,2	108,7	0,025	300	12	6,0	30,1...37,7	34,7	2,70	37,5	8,1
7. Львів-Івано-Франківськ										
12,0	84,6	0,022	350	8	6,8	36,6...46,0	41,4	2,92	43,8	5,8
8. Львів-Броди										
11,3	53,1	0,015	500	11	5,9	41,7...54,6	49,9	3,72	48,6	2,6
9. Львів-Луцьк										
12,0	88,0	0,025	250	8	6,1	41,6...45,7	43,2	2,7	44,2	2,3
10. Львів-Тернопіль										
12,4	69,4	0,016	350	16	6,4	39,4...53,9	46,2	3,99	47,3	2,4

У зв'язку з оцінкою ефективності використання автопоїздів були проведені дослідні поїздки автомобіля ЗИЛ-164А з різною кількістю причепів (для варіювання навантаження і повної маси) під керуванням одного і того ж водія, у порівняно короткий період літнього часу року, у світлий час доби, у природних умовах руху, по дорогах Львівської області III і IV технічних категорій з різним перетином поздовжнього профілю, з різною перешкодонасиченістю й інтенсивністю руху.

Режими руху визначалися водієм відповідно до дорожніх умов, без яких-небудь обмежень, крім обмежень, установлених правилами водіння автопоїздів.

При підготовці поїздок і в процесі їх проведення здійснювався контроль технічного стану АТЗ і необхідне регулювання для доведення його технічних параметрів до рівня нормативних вимог.

Двигун автомобіля був підданий стендовим випробуванням для зняття характеристик, які в пода-

льшому використовувалися при оцінці паливноїощадливості.

При дослідних поїздках за допомогою рахунково-реєструючої апаратури фіксувалися:

- час і шлях руху на передачах;
- розрідження у всмоктувальному трубопроводі (за діапазонами);
- частота обертання вала двигуна (діапазони);
- витрата палива;
- кількість вмикань передач, зчеплення і гальма.

В окремі моменти руху (при розгоні, на підйомах, на кривих у плані і т. д.) здійснювався запис тих же параметрів на стрічку осцилографа. Отримані при цьому дані були надалі використані при розробці і калібруванні моделі, призначеної для розрахункового відтворення режимів руху.

### Опрацювання результатів

Внаслідок обробки отриманих експериментальних даних були визначені середні швидкості і

витрата палива при русі автопоїздів у різних умовах і з різною повною масою. Експеримент проводився на маршрутах трьох типів: рівнинному, горбистому і що проходить по населених пунктах.

Внаслідок виконання відповідних обчислювальних процедур були отримані такі лінійні рівняння для визначення середньої швидкості (км/год) і витрати палива (л/100 км):

$$v_{\text{сер}} = 42,7 - 5,33x_1 - 2,21x_2 - 6,12x_3 - 8,53x_4; \quad (1)$$

$$Q_S = 45,7 + 1,33x_1 + 2,53x_3 + 9,63x_4, \quad (2)$$

$$\text{де } x_1 = \frac{\Pi - 11,5}{8,5}; \quad x_2 = \frac{\text{И} - 150}{150}; \quad x_3 = \frac{K - 7,5}{7,5};$$

$$x_4 = \frac{G_a - 14500}{6000}.$$

Розходження між експериментальними і розрахунковими значеннями коливається від 1 до 8 %, а в середньому становить 3,4 %. У трьох випадках з 16 розрахункові значення не укладаються у відповідні довірчі кордони.

У процесі подальших досліджень була отримана на основі модельного експерименту неповна квадратична модель для визначення витрати палива автопоїзда КА3-608 з ОдАЗ-885 (л/100 км):

$$\begin{aligned} Q_S = & 46,4 + 13,91x_1 + 2,35x_2 - 0,085x_3 + \\ & + 8,29x_4 - 0,78x_5 + 1,3x_1x_2 - 0,4x_1x_3 + \\ & + 2,55x_1x_4 + 0,53x_1x_5 - 0,15x_2x_3 + \\ & + 1,84x_2x_4 - 0,35x_2x_5 + 0,93x_3x_5 + 0,77x_4x_5, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{де } x_1 = \frac{G_a - 11400}{6500}; \quad x_2 = \frac{\Pi - 12,5}{7,5}; \quad x_3 = \frac{K - 50}{50};$$

$$x_4 = \frac{f - 0,02}{0,01}; \quad x_5 = \frac{\text{И} - 300}{300}.$$

Ця модель була використана при розробці проекту норм витрати палива вказаними автопоїздами. У ході випробування запропонованих норм і при їх дослідному впровадженні були проведені дослідні поїздки цих автопоїздів без вантажу на низькі маршрути та визначені фактичні витрати палива і середні швидкості руху. У першому випадку (при випробуванні) дослідні поїздки проводилися на різних автопоїздах у зв'язку з випадковим перебазуванням напівпричепів, без якої-небудь спеціальної підготовки рухомого складу до цих їздок, а у другому (при дослідному впровадженні) – на спеціально-виділених автопоїздах, підготовлених відповідно до відомих вимог, під керуванням закріпленими за ними водіями. Крім того, різниця в проведенні дослідних їздок при випробуванні і при дослідному впровадженні норм полягала також і в тому, що у другому випадку водії більш суворо дотримували встановлену швидкість обмеження (70 км/год).

Різниця в методиці проведення дослідних поїздок при випробуванні і при дослідному впровадженні

пояснює різницю у величині фактичних витрат палива в цих випадках. Зокрема, витрата палива на маршрутах Львів-Броди і Львів-Тернопіль при випробуванні на 8 – 10% більше, ніж при дослідному впровадженні.

Емпіричні стандарти і відповідно довірчі інтервали для дослідних даних, отриманих при випробуванні і при дослідному впровадженні, розрізняються в кілька разів. Основна різниця між цими результатами полягає в тому, що фактичні витрати палива при випробуванні виявилися більшими за норми, які розраховані за формулою (3), а при дослідному впровадженні – трохи менше. Отже, при дотриманні встановленого швидкісного режиму руху і при підтримці технічного стану рухомого складу на рівні нормативних вимог фактичні витрати відповідають нормам, розрахованим за формулою (3).

## Висновки

Розроблені методи моделювання режимів руху й отримання поліноміальних моделей дозволили визначити інші показники, а саме:

- часову витрату палива;
- середнє передатне число трансмісії;
- середню потужність і середню частоту обертання вала двигуна;
- крутний момент, що передається трансмісією (середні значення і квадратичне відхилення);
- додаткові витрати потужності на криволінійний рух.

Сила впливу змінних на вихід (показник, що визначається), що характеризується величиною відповідного коефіцієнта регресії, залежить від виду показника, типу і марки автомобіля. Так, наприклад, з шести факторів ( $N_{\text{пит}}$ ,  $G_a$ ,  $\Pi$ ,  $K$ ,  $f$ ,  $u$ ), що визначають середню швидкість, перетин поздовжнього профілю займає перше місце для автопоїздів з малою питомою потужністю й останнє – для міських автобусів. Для визначення додаткових витрат потужності на криволінійний рух потрібна розробка моделі другого порядку методом рототабельного планування.

## Список літератури

1. Нефедов А.Ф., Высочин Л.Н. Планирование эксперимента и моделирование при исследовании эксплуатационных свойств автомобилей. – Львов: Вища школа, 1976. – 160 с.
2. Московкин В.В. Выбор оптимальных параметров автомобиля. Эксперимент или расчет // Автомобильная промышленность. – 1997. – № 6. – С. 7-12.

Надійшла до редколегії 5.02.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.