

*М.З. Лаврівський, ад'юнкт, ЛДУ БЖД,
Л.М. Королевич, ст. викладач, НКЦ НТУ,
Р.В. Зінко, к.т.н., доцент,
І.С. Лозовий, к.т.н., доцент, НУ «Львівська політехніка»*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБІЛЯ АЦ-40

(представлено д-ром техн. наук О.М. Ларіним)

Отримано аналітичну залежність впливу коефіцієнту опору коченню, маси автомобіля і швидкості руху на витрату палива автомобіля АЦ-40. Ця залежність дозволить відлагодити математичну модель роботи перспективного пожежного автомобіля модульної компоновки.

Постановка проблеми. Створення пожежних автомобілів, що відповідають сучасним концепціям, потребує великих матеріальних та інтелектуальних затрат. Зменшити ці затрати можна, використавши попереднє комп'ютерне моделювання функціонування пожежного автомобіля. Однак розробка адекватних комп'ютерних програм неможлива без співставлення результатів їх роботи з експериментальними даними.. При цьому проблемою є те, що всі дослідження проводяться для автомобілів загального призначення, а дослідження для пожежних автомобілів відсутні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] одержано математичну модель рухання спеціального автомобіля з додатковим відбором потужності для виконання технологічних робіт за умови включеного технологічного обладнання з постійною швидкістю обертання колінчастого вала двигуна. Досліджено питання стабілізації швидкісного режиму руху спеціального автомобіля за умов зміни навантаження, що дозволяє покращити його паливні та екологічні показники. Розраховано тягово-динамічні властивості спеціального автомобіля.

В роботі [2] розглянуто питання покращення динамічності розгону та тягових властивостей легкового автомобіля шляхом визначення оптимальної форми швидкісної характеристики та параметрів двигуна.

За удосконаленою розрахунковою схемою системи складено диференціальне рівняння прямолінійного прискореного руху автомобіля, математичну модель і комп'ютерну програму для дослідження показників розгону. Створено експериментальну установку на стенді з біговими барабанами. В результаті проведеного

випробування автомобіля одержано дані, що підтверджують достовірність математичної моделі та методику розрахунку показників його динамічності.

Запропоновано методику визначення передаточних відношень трансмісії газобалонних автобусів [3]. Досліджено вплив передаточних відношень трансмісії та параметрів компонування на показники їх тяго-швидкісних властивостей, паливної економичності та стійкості руху.

В роботі [4] на основі розробленої математичної моделі, адекватність якої підтверджено експериментальним шляхом, визначено кількісний вплив ряду передаточних чисел трансмісії на швидкісні властивості та витрату палива за цикли поїздок, які визначаються згідно з відповідними стандартами. Розроблено методику визначення оптимального ряду передаточних чисел трансмісії вантажних автомобілів КрАЗ на підставі варіаційного числення в додатку до інтегралів.

В роботі [5] розроблено математичну модель для вибору параметрів системи "двигун - трансмісія" у разі переобладнання автомобілів "ГАЗель" за наявності різних типів дизелів та коробок передач. Запропоновано методику визначення оптимальних параметрів системи "двигун - трансмісія" переобладнаних автомобілів категорії N1, з використанням якої реалізовано один зі шляхів підвищення показників тяго-швидкісних властивостей і паливної економичності переобладнаних автомобілів сімейства "ГАЗель".

В роботі [6] проведено вибір оптимальних параметрів системи двигун - трансмісія з метою підвищення техніко-експлуатаційних властивостей легкових автомобілів малого класу підвищеної прохідності. Розроблено комплекс показників та методику аналізу взаємозв'язків між базовими конструктивними параметрами автомобілів та їх техніко-експлуатаційними властивостями, за допомогою яких проаналізовано вплив передаточних чисел трансмісії на показники тяго-швидкісних властивостей і паливної економичності автомобіля.

Постановка завдання та його вирішення. Задачею досліджень, є визначення залежностей між основними чинниками, що впливають на ефективність функціонування пожежної автоцистерни АЦ-40 в реальних умовах експлуатації. Ці залежності необхідні для відлагодження комп'ютерної моделі і подальшого дослідження інших пожежних автомобілів, зокрема, автомобілів нових конструкцій, які ще знаходяться на стадії проектування. Відлагодження математичної моделі проводилося за допомогою триетапної апробації [7]. Методика триетапної апробації складалася з

таких етапів:

- перевірка адекватності моделей та пакетів комп'ютерних програм на основі аналізу тестових задач статички і динаміки руху досліджуваного автомобіля;
- співставлення результатів відомих досліджень з отриманими результатами;
- співставлення результатів комп'ютерного і фізичного експериментів.

При проведенні фізичного експерименту використовувалися методи планування експерименту, зокрема багаточинниковий експеримент [8]. Його використання дало можливість визначити залежності між основними впливовими чинниками в заданих межах. На основі цих залежностей проводиться остаточне відлагодження математичної моделі і перевірка точності її роботи.

Параметром оптимізації є витрата палива. Він відповідає всім вимогам до параметрів оптимізації: простий, однозначний, кількісний і має ясний фізичний смисл.

При дослідженні витрати палива автоцистерни АЦ-40 істотними виявилися чинники: коефіцієнт опору коченню f , маса автомобіля M , швидкість руху V .

При проведенні експерименту автомобіль рухався по двох типах опорної поверхні (асфальтове покриття у задовільному стані $f = 0,01$ і дорога, покрита травою $f = 0,2$) із заданими швидкостями (3 і 12 км/год) (рис.1). Заміри проводилися з цистерною, повністю заповненою водою (маса автомобіля становила 11030 кг) і з порожньою (маса – 8780 кг).

При експерименті вимірювалися крутні моменти на карданному валі (рис. 2 а), витрата палива (рис. 2 б), швидкість руху та пройдений шлях. Межі зміни істотних для експерименту чинників наведено в табл.1.



Рисунок 1 – Ділянки дороги з асфальтовим покриттям і ґрунтової дороги



Рисунок 2 – Розміщення тензометричного моста, передавального пристрою на карданному валі (а) і витратоміра в моторному відсіку автомобіля (б)

Таблиця 1 - Межі значень досліджуваних чинників

Чинники	верхня межа	нижня межа
f	0,01	0,2
M, кг	8780	11030
V, км/год	3	12

Кількість дослідів експерименту обумовлюється вибором плану. Найбільш простим і найчастіше використовуваним є план типу 2^k , де k - кількість чинників, а цифра 2 відображає рівні варіювання чинників

Перехід від дійсних значень чинників до їх відносних величин (до кодованих значень) здійснюється за формулою

$$x_i = \frac{z_i - z_{i0}}{J}, \quad (1)$$

де x_i - кодоване значення чинника; z_i - дійсне значення чинника; z_{i0} - дійсне значення нульового рівня (значення чинника в середині інтервалу варіювання); J - інтервал варіювання чинника.

При прогнозуванні процесу перерахунок будь-якого дійсного значення чинника з діапазону його варіювання проводять за формулою (1).

$$x_1 = \frac{f - 0,105}{0,095}; \quad x_2 = \frac{M - 9905}{1125}; \quad x_3 = \frac{V - 7,5}{4,5}.$$

Значення чинників, що відповідають розглянутим рівням, зведено у табл. 2.

План типу 2^k повного чинникового експерименту для трьох незалежних чинників $k = 3$ і тому для отримання результату потрібно виконати $N = 2^3 = 8$ дослідів.

Таблиця 2 – Дійсні і кодовані значення інтервалів варіювання чинників

Параметр	Формула для розрахунку	Кодоване значення чинника	Дійсне значення чинника		
			f	M	V
Інтервал варіювання	$x_{0,5} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}$	-	0,095	1125	4,5
Верхній рівень		+1	0,01	8780	3
Нижній рівень		-1	0,2	11030	12
Нульовий рівень	$x_0 = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}$	0	0,0105	9905	7,5

В табл.3 позначено: X_1 – значення коефіцієнту опору коченню, X_2 - маса автомобіля, X_3 – швидкості руху автоцистерни.

Таблиця 3 – Значення чинників і отримані результати замірів

№ досліду	X_1	X_2	X_3	Q
1	0,01	8780	3	41,1
2	0,2	8780	3	41,7
3	0,01	11030	3	42,9
4	0,2	11030	3	43,8
5	0,01	8780	12	44,1
6	0,2	8780	12	45,4
7	0,01	11030	12	46,7
8	0,2	11030	12	48,5

Для отримання полінома (2) і при проведенні експерименту використовують тільки кодовані значення меж діапазону варіювання (+1 і -1).

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (2)$$

де b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} - коефіцієнти регресії, що визначаються в результаті розрахунків; x_i - кодовані змінні чинників.

Коефіцієнти регресії виразу (2) визначаються з формули

$$b_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N y_n x_{in},$$

де y_n - експериментальне значення параметра оптимізації в n -тому

досліді; N – кількість дослідів; x_{in} – значення i -го чинника в n -му досліді.

Після визначення значень коефіцієнтів b_i отримуємо аналітичну залежність (інтерполяційну формулу) витрати палива автоцистерною АЦ-40

$$Q = 44,275 + 0,0575x_1 + 1,2x_2 + 1,9x_3 + 0,1x_1x_2 + 0,2x_1x_3 + 0,225x_2x_3.$$

Далі необхідно оцінити, як узгоджуються експериментальні дані (див. четвертий етап) з даними, отриманими за аналітичною залежністю (2), тобто визначити ступінь їх відмінності. Оцінка проводиться за F -критерієм Фішера:

$$F_p = \frac{\sigma_{ad}^2}{\sigma_y^2},$$

де σ_{ad}^2 – дисперсія адекватності; σ_y^2 – помилка дослідів (дисперсія дослідів).

Визначення похибки дослідів σ_y^2 і оцінка значимості знайдених коефіцієнтів регресії.

Для того, щоб можна було встановити похибку дослідів, необхідно кожен дослід повторити не менше трьох разів. Якщо всі величини чинників і критерії оптимізації визначаються з однаковою похибкою, тоді достатньо ставити паралельні дослідів тільки на нульовому рівні (в «нульовій точці»). В цьому випадку помилка дослідів визначається за формулою

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{m-1} \cdot \sum_{j=1}^m (y_{j0} - \bar{y}_0)^2,$$

де: m – число паралельних дослідів; y_{j0} – значення параметра оптимізації в j -тому паралельному досліді; $\bar{y}_0$ – середнє значення параметра оптимізації в даній серії паралельних дослідів.

З цією метою було проведено три додаткові дослідів в яких визначили витрату палива автоцистерни АЦ-40. Значення чинників відповідають нульовому рівневі (див. табл.2). В табл. 4 записані умови проведення дослідів.

Таблиця 4 – План додаткових дослідів в нульовій точці

№ дослідів	X_1	X_2	X_3	Параметр оптимізації
1	0,0105	9905	7,5	43,1
2	0,0105	9905	7,5	43,3
3	0,0105	9905	7,5	43,6

Похибка досліду складає $\sigma_y^2 = 0,0633$ для середньої витрати палива $Q_0 = 43,3$.

Оцінка значимості коефіцієнтів регресії проводиться за величиною довірчого інтервалу

$$\Delta b_i = \pm t \cdot \sqrt{\frac{\sigma_y^2}{N}},$$

де: Δb_i - довірчий інтервал i -го коефіцієнта; $t \cdot$ - значення критерію Стюдента для 5%-го вибраного рівня значимості, $t \cdot = 1,96$.

Величина довірчого інтервалу для оцінки значимості коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_i = \pm t \cdot \sqrt{\frac{\sigma_y^2}{N}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{0,0633}{8}} = \pm 0,174392.$$

Оскільки усі коефіцієнти полінома, крім b_{12} , є більшими від Δb_i , то остаточно приймаємо

$$Q = 44,275 + 0,0575x_1 + 1,2x_2 + 1,9x_3 + 0,2x_1x_3 + 0,225x_2x_3.$$

Оцінюємо адекватність отриманої моделі. Для цього розраховуємо дисперсію адекватності

$$\sigma_{ад}^2 = \frac{1}{N - k - 1} \cdot \sum_{n=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2,$$

де: $\bar{y}_i$ - значення параметра оптимізації в i -му експерименті згідно отриманої моделі.

$$\text{Тоді: } \sigma_{ад}^2 = 0,5831.$$

Розрахункове значення F - критерію Фішера становитиме:

$$F_p = \frac{\sigma_{ад}^2}{\sigma_v^2} = 9,2072.$$

Табличні значення F - критерію Фішера залежать від числа ступенів вільності при визначенні досліду і дисперсії адекватності. Кількість ступенів вільності в основних та додаткових дослідях відповідно рівні:

$$r_o = N - k - 1 = 4; \quad r_d = m - 1 = 2.$$

Взявши рівень ймовірності отримання помилкового результату $P_d = 0,05$, знаходимо табличне значення критерію Фішера $F_m = 19,25$. Оскільки $F_p < F_m$, то отримана математична модель узгоджується в межах вимог до багаточинникового процесу, тобто адекватно її записує.

Розрахункова формула для визначення витрати палива має вигляд:

$$Q = 44,275 + 0,0575x_1 + 1,2x_2 + 1,9x_3 + 0,2x_1x_3 + 0,225x_2x_3. \quad (3)$$

Залежність витрати палива (3) від перерахованих чинників описується неповною квадратичною моделлю. При зростанні опору коченню, маси автомобіля і швидкості руху витрата палива зростає. За силою впливу на витрату палива чинники розміщуються в наступному порядку: швидкість руху V , маса автомобіля M , опір коченню f . На рис.3. представлено приклад графічної залежності витрати палива за розрахунковою формулою (3) для зміни значень опору коченню $f = 0,018 \dots 0,03$ і маси автоцистерни $M = 8600 \dots 9800$ кг при сталій швидкості руху $V = 10$ км/год.

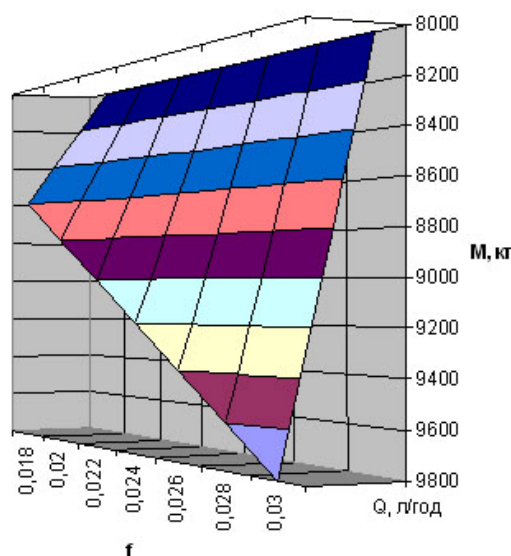


Рисунок 3 – Зміна витрати палива автоцистерни АЦ-40 залежно від опору рухові і маси автоцистерни при сталій швидкості руху

Залежно від необхідних умов досліджень можна отримати витрату палива, змінивши межі трьох основних чинників в аналітичній залежності (3).

Висновки. Отримано аналітичну залежність витрати палива автоцистерни АЦ-40 від коефіцієнту опору коченню, маси автоцистерни, швидкості руху автомобіля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Покращення паливних і екологічних показників спеціальних автомобілів системою стабілізації їх швидкісного режиму. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.02 / О.М. Березовський; Нац. трансп. ун-т. – К., 2002. – 18 с.
2. Покращення тягово-швидкісних властивостей легкового автомобіля визначенням оптимальної швидкісної характеристики двигуна. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.02 / О.І. Гринів; Нац. транспорт. ун-т. – К., 2004. – 20 с.

-
3. Покращання показників техніко-експлуатаційних властивостей міських газобалонних автобусів. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.02 / О.Д. Бумага; Нац. трансп. ун-т. – К., 2005. – 20 с.
 4. Покращення швидкісних властивостей автомобілів КрАЗ за рахунок оптимізації передаточних чисел трансмісії Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.02 / О.В. Павленко; Нац. трансп. ун-т. – К., 2002. – 20 с.: рис. – укр.
 5. Покращання показників техніко-експлуатаційних властивостей автомобілів при їх переобладнанні. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.02 / М.М. Горбаха; Нац. трансп. ун-т. – К., 2006. – 20 с. - укр.
 6. Підвищення техніко-експлуатаційних властивостей легкових автомобілів малого класу підвищеної прохідності шляхом оптимізації параметрів системи "двигун - трансмісія". Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.02 / О.П. Сітовський; Нац. транспортний ун-т. – К., 2002. – 19 с.
 7. Зінько Р.В. Апробація математичної моделі роботи і руху автотранспорту // Вісник Технологічного університету Поділля. – Хмельницький: ТУП.– 2000. – Випуск 3. С.129 – 134.
 8. Нефедов А.Ф., Височин Л.Н. Планирование эксперимента и моделирование при исследовании эксплуатационных свойств автомобилей. Львов: Высшая школа, 1976. 160 с.

Стаття надійшла до редакції 19.03.2009 р.