

УДК 629.113

КОМПЛЕКСНИЙ ВПЛИВ ВАГОМИХ ЧИННИКІВ НА ТЕПЛОАВАНТАЖЕНІСТЬ ФРИКЦІОНІВ ГМП АВТОНАВАНТАЖУВАЧА

Г.С. Гудз, проф., д.т.н., М.В. Глобчак, доц., к.т.н., А.О. Коляса, асп.,
Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Досліджено взаємовплив діаметра і товщини дисків фрикціонів гідромеханічних передач (ГМП) автонавантажувача і часу буксування на їх температурний режим застосуванням методів математичного моделювання та планування експерименту.

Ключові слова: автонавантажувач, гідромеханічна коробка передач, фрикціон, температурний режим, математичне моделювання, планування експерименту.

КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ ВЕСОМЫХ ФАКТОРОВ НА ТЕПЛО-ЗАГРУЖЕННОСТЬ ФРИКЦИОНОВ ГМП АВТОПОГРУЗЧИКА

Г.С. Гудз, проф., д.т.н., М.В. Глобчак, доц., к.т.н., А.О. Коляса, асп.,
Национальный университет «Львовская политехника»

Аннотация. Исследовано взаимовлияние диаметра и толщины дисков фрикционов гидромеханических передач (ГМП) автопогрузчика и времени буксования на их температурный режим применением методов математического моделирования и планирования эксперимента.

Ключевые слова: автопогрузчик, гидромеханическая коробка передач, фрикцион, температурный режим, математическое моделирование, планирование эксперимента.

THE COMPLEX IMPACT OF IMPORTANT FACTORS UPON THE THERMAL LOAD OF HYDROMECHANICAL TRANSMISSION'S CLUTCHES OF THE FORK LIFTER

G. Gudz, Prof., Ph. D. (Eng.), M. Globchak, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
A. Kolyasa, P. G., National University «Lvovskaya polytehnyka»

Abstract. The mutual interference of the diameter and thickness of disc-clutches of hydromechanical transmissions of forklift truck and their slipping time upon their temperature mode was studied by the methods of mathematical simulation and planning of experiment.

Key words: forklift truck, hydromechanical transmission, clutch, temperature mode, mathematical simulation, planning of experiment.

Вступ

Фрикційні муфти ГМП автонавантажувачів працюють у складних напружених умовах, оскільки у процесі ввімкнення вони сприймають статичні та динамічні навантаження, а поверхні тертя фрикціонів піддаються впливу високої питомої температури та інтенсивному зношуванню.

Одним з основних чинників, що впливають на фізико-механічні властивості пар тертя, є поверхнева температура. Під час проведення досліджень, поряд із визначенням динамічних навантажень, становить інтерес прогнозування температурного режиму роботи фрикціонів, який залежить від конструктивних та режимних параметрів. До останніх відносимо діаметри D та товщини B , а також час буксування τ , який є визначальним під

час форсованих випробувань автонавантажувача [1] (перемикання передач здійснюється кожні 6–8 с, тобто практично безперервно).

Аналіз публікацій

Останні дослідження робочих процесів ГМП автонавантажувача проведені досить давно через реструктуризацію автомобілебудівної та автотранспортувальної галузей [2, 3]. Але останнім часом ситуація змінилась і з'явилися нові зразки автотранспортувальної техніки [4, 5], для яких будуть корисними результати проведених досліджень.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є дослідження комплексного впливу вагомих чинників на теплонавантаженість фрикціонів ГМП автонавантажувача під час форсованих випробувань.

Отримання регресійного рівняння для визначення температури поверхонь тертя фрикційних дисків

Досягнення означеної вище мети здійснювалось методом комп'ютерного моделювання [6], що передбачає побудову сіткової моделі фрикціона ГМП (рис. 1). Для мінімізації обсягу експериментальних робіт та зменшення їх похибки застосовано метод математичного планування експерименту [7], що дозволить отримати опис моделі його проведення і вивести математичну залежність між впливом чинників та вихідною досліджуваною величиною, тобто $T = f(D, B, \tau)$. Для цього вико-

ристано план експерименту 2^3 (табл. 1) для трьох незалежних чинників D , B , τ , варіювання яких здійснювалось на двох рівнях.

Таблиця 1 Матриця планування чинникового експерименту 2^3

Номер експерименту	Чинники			$T, ^\circ\text{C}$
	x_1 (D)	x_2 (B)	x_3 (τ)	
1	–	–	–	T_1
2	+	–	–	T_2
3	–	+	–	T_3
4	+	+	–	T_4
5	–	–	+	T_5
6	+	–	+	T_6
7	–	+	+	T_7
8	+	+	+	T_8

У табл. 2 наведені нульовий, нижній і верхній рівні, а також інтервали варіювання, за допомогою яких здійснюється перехід від натуральних значень чинників до кодованих. Допустимі рівні зміни чинників взято на основі аналізу конструктивних параметрів фрикціонів ГМП автонавантажувачів середньої вантажності й можливої зміни режимних.

Таблиця 2 Допустимі рівні зміни чинників та інтервали варіювання

Рівень та інтервал	x_1 $D, \text{мм}$	x_2 $B, \text{мм}$	x_3 $\tau, \text{с}$
Нульовий	190	1,6	0,4
Верхній	220	1,8	0,6
Нижній	160	1,4	0,2
Варіювання	30	0,2	0,2

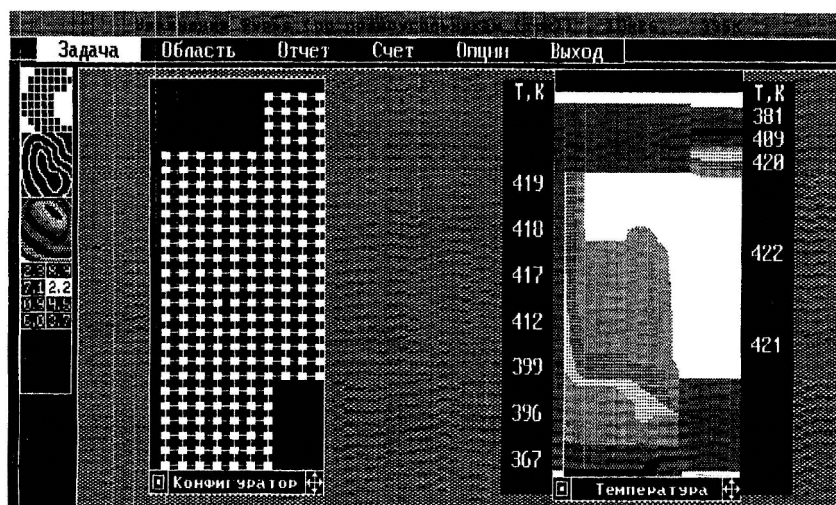


Рис. 1. Конфігуратор (а) і температурне поле (б) фрикціона вузла ГМП, отримані за допомогою програмного комплексу «Фур'є-2»

Матриця планування експерименту 2^3 є ортогональною й дозволяє визначити коефіцієнти регресії моделі $T = f(D, B, \tau)$, тобто [7]

$$T = b_0 + \sum_{j=1}^3 b_j x_j, \quad (1)$$

$$\text{де } b_0 = \frac{\sum^n T_i}{n}, \quad b_j = \frac{\sum^n x_{ij} T_i}{n}, \quad j = 1, 2, 3,$$

де T_i – значення параметра оптимізації в i -му експерименті; x_{ij} – значення j -го чинника в i -му експерименті; n – кількість експериментів.

Проте в повному чинниковому експерименті кількість експериментів є більшою за кількість коефіцієнтів лінійної моделі. Якщо при цьому припустити, що досліджуваний процес описується лінійною моделлю, або не потрібно оцінювати факт взаємодії чинників, чи частиною їх можна знехтувати, то матриця має надлишок експериментів і можна обійтись меншою їх кількістю.

Так, згідно матриці планування 2^3 можна визначити сім коефіцієнтів й отримати інтерполяційну формулу

$$T = b_0 | b_1 x_1 | b_2 x_2 | b_3 x_3 | b_{12} x_1 x_2 | + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3.$$

Один ступінь вільності (різниця між кількістю експериментів $n=8$ та кількістю коефіцієнтів моделі) може бути використаний для мінімізації кількості експериментів.

Таким чином, щоб скоротити кількість дослідів, необхідно новому чиннику присвоїти вектор-стовпець матриці, який визначатиме взаємодію, якою можна знехтувати. Нехтуючи однією взаємодією, отримаємо піврепліку (половину) від повного чинникового експерименту. Регулярні дробові репліки отримуємо діленням планів повних чинникових експериментів на число, кратне двом, й вони позначаються 2^{k-p} , де p – кількість лінійних ефектів, прирівняних до ефектів взаємодії. Тоді піврепліка плану 2^3 запишеться у вигляді 2^{3-1} .

Наприклад, планування 2^{3-1} може бути представлено двома піврепліками, кожна з яких задається одним з генеруючих співвідношень

$$x_3 = x_1 x_2 \text{ або } x_3 = -x_1 x_2.$$

Якщо обидві частини цих співвідношень помножити на x_3 , то отримаємо

$$x_3^2 = 1 = x_1 x_2 x_3 \text{ і } x_3^2 = -x_1 x_2 x_3,$$

оскільки завжди $x_i^2 = 1$.

Ці співвідношення називають визначальними контрастами, за якими можна знайти усі змішані оцінки. Для цього необхідно послідовно помножити усі незалежні змінні на визначальні контрасти.

$$\begin{aligned} x_1 &= x_2 x_3; & x'_1 &= -x_2 x_3; \\ x_2 &= x_1 x_3; & x'_2 &= -x_1 x_3; \\ x_3 &= x_1 x_2; & x'_3 &= -x_1 x_2. \end{aligned}$$

Визначені коефіцієнти при цьому будуть оцінками таких дійсних коефіцієнтів регресії

$$\begin{aligned} b_2 &= \beta_2 + \beta_{23}; & \beta'_1 &= \beta_1 - \beta_{23}; \\ b_2 - \beta_2 + \beta_{13}; & \beta'_2 &= \beta_2 - \beta_{13}; \\ b_3 &= \beta_3 + \beta_{12}; & \beta'_3 &= \beta_3 - \beta_{12}. \end{aligned}$$

Матриця планування 2^{3-1} визначається одним з визначальних контрастів (у нашому випадку $x_1 x_2 x_3 = 1$) та наведена у табл. 3. Такі плани широко використовуються при отриманні лінійних моделей.

Таблиця 3 Матриця планування 2^{3-1}

Номер експерименту	x_1 (D)	x_2 (B)	x_3 (τ)	T_e , К	T_p , К
1	+	-	-	356	356,076
2	-	+	-	359	359,056
3	-	-	+	423	423,056
4	+	+	+	390	390,076

Крім того, у табл. 3 наведені значення за комп'ютерним експериментом температури поверхні тертя фрикційного диска.

На основі експериментальних значень температури визначаємо коефіцієнти моделі

$$b_0 = \frac{356 + 359 + 423 + 390}{4} = \frac{1528}{4} = 382;$$

$$b_1 = \frac{356 - 359 - 423 + 390}{4} = \frac{-36}{4} = -9;$$

$$b_2 = \frac{-356 - 359 - 423 + 390}{4} = \frac{-30}{4} = -7,5;$$

$$b_3 = \frac{-356 - 359 + 423 + 390}{4} = \frac{98}{4} = 24.$$

Тоді рівняння для визначення температури поверхні тертя фрикціонів залежно від досліджуваних чинників має вигляд

$$T_p = 382 - 9x_1 - 7,5x_2 + 24,5x_3,$$

$$\text{де } x_1 = \frac{D-190}{30}; \quad x_2 = \frac{B-1,6}{0,2}; \quad x_3 = \frac{\tau-0,4}{0,2}.$$

У натуральних змінних температура поверхні тертя фрикційного диска ГМП автотранспорту при форсованих режимах випробувань визначається співвідношенням

$$T_p = 452,276 - 0,31D - 37,5B + 122,5\tau.$$

Розрахункові значення температури, отримані за допомогою регресійної моделі, наведені у табл. 3.

Аналіз температур (табл. 3), отриманих розрахунковим та експериментальним шляхом, дозволяє зробити висновок, що регресійне рівняння може бути рекомендоване для визначення температури фрикціонів ГМП автотранспорту вантажністю 5 т при форсованих режимах випробувань.

Окрім того, регресійна модель дозволяє оцінити ступінь впливу кожного з чинників на температурний режим фрикційного диска. Кількісна міра впливу – величина коефіцієнта регресії. Чим він більший, тим сильнішим вплив чинника.

Стосовно надійності ГМП автотранспорту, то вона є достатньою, оскільки максимальні температури фрикціонів ГМП (423К) не критичні для металокерамічних накладок за зміною коефіцієнта тертя та зносостійкості [8].

Висновки

Отримано регресійне рівняння для визначення температури поверхні тертя фрикційних дисків ГМП в залежності від вагомих чинників як базу знань для проектування трансмісії автотранспорту.

Література

1. Гудз Г.С. Температурные режимы фрикционных узлов автотранспортных средств: монография / Г.С. Гудз. – Х.: РИО ХГАДТУ, 1997. – 140 с.
2. Налбандян Г.Б. Исследование систем «ползучего хода» на малотоннажных автопогрузчиках с целью повышения их надежности: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. «Автомобили и тракторы» / Г.Б. Налбандян. – М.: НАМИ, 1991. – 16 с.
3. Глобчак М.В. Исследование температурных режимов фрикционов ГМП автопогрузчиков методами математического моделирования: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. «Автомобили и тракторы» / М.В. Глобчак. – Х.: ХГАДТУ, 1994. – 22 с.
4. <https://mikro-f.com.ua/vurobnuctvo/>.
5. Войтків С.В., Бубес Ю.Г., Ткаченко О.Ф.: 85210 У Автомобільне шасі спеціальне класу №1. Бюл. № 21. 11.11.2013.
6. Гудз Г.С. Розподіл теплових потоків в елементах дискових гальм автомобілів / Г.С. Гудз, М.В. Глобчак, М.М. Остапчук. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2014. – 110 с.
7. Круг Г.К. Планирование эксперимента в задачах идентификации и экстраполяции / Г.К. Круг, Ю.А. Сосулин, В.А. Фатуев. – М.: Наука, 1977. – 207 с.
8. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник: Электронная библиотека / Б.Н. Бабич; под ред. Ю.В. Левинского. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 502 с.

Рецензент: В.І. Клименко, професор, к.т.н., ХНАДУ.