

— оскільки двигун — єдина електростанція, що просуває транспортний засіб, то необхідно виробити достатню потужність для оптимальних робочих характеристик транспортного засобу з точки зору прискорення і подолання підйому.

В гібридних автомобілях для більш економної витрати палива та підвищення екологічної чистоти використовуються спеціальні високовольтні акумуляторні батареї та тягові електричні двигуни, які повністю замінюють, або частково допомагають двигунам внутрішнього згоряння при різних режимах роботи автомобіля [4]. При гальмуванні та інерційному русі відбувається зворотній процес: електричні машини починають працювати в генераторному режимі та заряджати акумуляторну батарею через спеціальний пристрій — перетворювач напруги (інвертор). Крім того, замість стандартного генератора встановлюють високовольтний стартер-генератор, який під час роботи ДВЗ, з допомогою перетворювача напруги заряджає акумуляторну батарею і при необхідності призводить автоматичний запуск ДВЗ.

Єдиним раціональним виходом є створення екологічно чистого міського транспорту. Можливість виходу з тупикової ситуації шляхом використання електромобільного транспорту не є коректною із-за низької ефективності чистого електромобіля. Тому раціональним шляхом рішення проблеми, що склалася, являється створення автомобіля з гібридною силовою установкою, яка дозволить вирішити низку проблем.

Висновки і перспективи подальших досліджень, розглянувши основні напрямки розвитку автомобільного транспорту, ми прийшли до висновку, що кожен напрямок має ряд переваг та недоліків. Розвиток кожного з них приречений на поразку.

На нашу думку необхідно поєднувати усі ці напрямки. І тільки спільними зусиллями усіх провідних знавців техніки можна отримати автомобіль майбутнього.

В подальших наших дослідженнях ми плануємо розкрити особливості використання програмного забезпечення для створення моделі гібридного автомобіля та подальшого дослідження характеристик моделі.

Література

1. Гібридні автомобілі / [Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А. та ін]:-Харків, ХНАДУ, 2008 р. — 327 с.
2. Туренко А.Н., Пятак А.И., Кудрявцев И.Н. и др. Экологически чистый криогенный транспорт: современное состояние проблемы // Вестник ХГАДТУ / Сб. научн. тр. Харьков: РИО ХГАДТУ. — 2000. — Вып. № 12-13. — С. 42-47.
3. Смирнов О.П. Аналіз схемних рішень побудови автомобіля з гібридною енергетичною установкою. // Вестник ХНАДУ / Сб. научн. тр. Харьков: РИО ХНАДУ. — Вып. № 32 -2006.-С. 41-43.
4. Бажинов А.В., Смирнов О.П. Концепция создания экологически чистого автомобиля. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. — Луганськ: СХУ ім. В. Даля. Луганськ, 2006. — №7, С. 15-19.

УДК 621.833.6

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОСТУПІНЧАСТОГО ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА

Тютін В.М.,
Левківський С.А.

У статті запропонована експериментальна методика для знаходження нерівномірності розподілу крутного моменту між шестернями планетарної передачі та в той же час розподілу навантаження вздовж зуба на основі п'яти датчиків навантаження на вісі кожної планетарної шестерні. Результати лабораторних випробувань планетарного редуктора показують, що мета цього експерименту була досягнута.

The experimental technique was created to find non – uniformity of torque distribution between planetary pinions and at the same time load distribution along the tooth. There were five strain gauges on axis of every planetary pinion. The result of laboratory test of the planetary reduction gear show that the purpose of this experiment was arrived.

Вступ. Подальший розвиток методів проектування планетарних редукторів здійснюється з метою створення конструкцій, які б мали меншу матеріаломісткість та більшу надійність. Розробити такі методики можна лише тоді, якщо мати достатній обсяг даних про реальні процеси формування навантаження в зубчастих зачепленнях. Така інформація може бути отримана тільки за результатами експериментального дослідження.

Існує декілька методик дослідження планетарних редукторів за допомогою методів тензометрії, які головним чином відрізняються одна від одної місцем розташування тензодатчиків. Вибір деталі, на яку наклеюють датчики, з одного боку визначає технічну складність реалізації експерименту, а з іншого – якість та повноту отриманої інформації. Найбільш простим експеримент буде у випадку, коли датчики розміщують на нерухомій деталі. Тоді не має потреби у використанні струмознімального обладнання. В більшості випадків такою деталлю є центральне колесо b з внутрішніми зубцями. Така методика передбачає розміщення тензорезисторів на обох торцях зубців. Проте, через необхідність використання датчиків з малою базою, експеримент значно ускладнюється. Це пов'язано з необхідністю виконання значного обсягу підготовчих операцій, а також низькою стабільністю роботи мікродротяних тензодатчиків. Точну інформацію про величини сил, які діють в зачепленнях центрального колеса a з сателітами g , можна отримати, якщо розташувати датчики безпосередньо в зоні деформацій. Таким місцем є ніжки зубців центрального колеса a [1]. Проте, реалізація такої методики утруднена через те, що центральне колесо a обертається з великою кутовою швидкістю і внаслідок цього виникає технічна проблема в передаванні електричного сигналу від тензорезисторів до підсилювача. Значно менше недоліків має спосіб розміщення датчиків на вісях сателітів [2]. Він дозволяє безперервно фіксувати значення навантажень в усіх зачепленнях сателітів з центральним колесом a . Водило планетарного редуктора має на багато меншу порівняно з зубчастим колесом a кутову швидкість, з огляду на це, проблема знімання електричного сигналу не постає.

Напруження, що виникають в зубцях коліс планетарного редуктора, обумовлені дією двох силових факторів. Це нерівномірність розподілу навантаження між сателітами та його концентрація по довжині зубців. З огляду на це, було б доцільним під час проведення експерименту мати можливість отримувати значення обох цих параметрів. З цією метою була розроблена спеціальна методика такого дослідження [3].

Мета роботи полягає в встановленні експериментальним шляхом взаємозв'язку між нерівномірністю розподілу навантаження серед сателітів та по довжині зубців в зачепленнях планетарного редуктора.

Основна частина. Лабораторні випробовування проводились методом тензометрування вісей сателітів. Тензорезистори наклеювались на кожну вісь. Для цього з обох боків вісей були зроблені спеціальні лиски. Для того, щоб разом з нерівномірністю розподілу навантаження проміж сателітів, отримувати інформацію про характер його концентрації по довжині зубців, рівномірно вздовж кожної вісі були наклеєні по п'ять пар тензодатчиків 2ПКБ-5× 100 з базою 5 мм та електричним опором 100 Ом. На рис. 1 зображена тензометрична вісь. При встановленні вісей у шоки водила вони були орієнтовані так, щоб датчики сприймали деформації згину, викликані дією колових сил у зачепленнях редуктора. Електричні кабелі виводились через отвір у вихідному кінці водила. Така схема розташування датчиків давала змогу безперервно на протязі кінематичного циклу отримувати інформацію про характер навантаження зачеплень. Показання тензорезисторів однієї вісі записувалися на протязі одного кінематичного циклу, який приблизно дорівнював шести обертам водила. Початок та кінець запису визначався за допомогою лічильника обертів водила. Водночас здійснювався запис значень крутного моменту на вихідному валу редуктора. Для цього на водилі був наклеєний тензодатчик типу ФКТБ. Тарування каналів підсилювача здійснювалося за допомогою балки рівного опору. Масштабні коефіцієнти для відповідних каналів мали такі значення: $k_1 = 1,81$; $k_2 = 1,41$; $k_3 = 1,12$; $k_4 = k_5 = 1$. Для того, щоб через показання датчиків можливо було б отримати справжні значення сил, які діють в зачепленнях редуктора під час його роботи, проводилась тарування тензорезисторів у статиці. Для цього в редукторі залишали один сателіт, встановлений на тензометричній вісі, а замість двох інших використовували ролики з метою центрування зачеплення. Навантаження редуктора здійснювали важелями, що мали форму секторних блоків і через які були перекинуті канати з гириями. Тарування тензодатчиків проводили при наступних значеннях крутного моменту на вихідному валу: 63,7 Н·м; 113,7 Н·м; 163,7 Н·м; 213,7 Н·м. На підставі отриманих даних для кожної вісі будувався тарувальний графік.

Об'єкт, стенд та результати експериментального дослідження. Випробування планетарного редуктора відбувалися на стенді, який складався з редуктора, привод якого здійснювався від двошвидкісного електродвигуна типу АО2-62-8/4 через пасову передачу. Навантаження створювалось порошковим галь-

мом марки ПГ-100М. На вільному кінці гальм було встановлено струмознімальне обладнання РАТ 2, а за ним лічильник обертів. Для реєстрації вимірjувальних параметрів застосовувалися підсилювач сигналу 8АНЧ-7М та осцилограф Н-115.



Рис. 1. Вісь сателіта з тензорезисторами

В якості об'єкта дослідження був прийнятий одноступінчатий планетарний редуктор. Вхідний вал встановлений на радіальних підшипниках у кришці корпусу. Центральне колесо з зовнішніми зубцями знаходиться у зачепленні з трьома сателітами, опорами яких є радіальні підшипники. Центральне колесо з внутрішніми зубцями нерухомо закріплено в корпусі. Вихідним валом редуктора є водило, в якому закріплені вісі сателітів. Кількість зубців: центральне колесо з зовнішніми зубцями $a Z_a = 21$, сателіти $g Z_g = 45$, центральне колесо з внутрішніми зубцями $b Z_b = 111$. Модуль зачеплення $m = 5$ мм, ступінь точності виготовлення – Ст. 9-8-7-В, крутний момент на вихідному валу $T = 500$ Н·м, кутова швидкість обертання $\omega_a = 157$ с⁻¹.

Центральне колесо a було виготовлене зі сталі 40 ХН2МА з послідуочим азотуванням робочих поверхонь до твердості HRC 52-56, сателіти – зі сталі 40 Х, термооброблені та азотовані. Для виготовлення центрального колеса b була застосована сталь 45 поліпшена. Корпус та водило були відлиті з чавуну СЧ 15-32 та ВЧ 60-2 відповідно.

Результати експериментального дослідження були отримані у вигляді осцилограм п'яти тензорезисторів кожної вісі сателітів. Крива показань n -го датчика j -ої вісі розподілялась на шість частин на протязі одного оберту водила, тобто на $I = 36$ частин на протязі всього запису. Для обробки отриманих даних був розроблений алгоритм, який був реалізований у вигляді комп'ютерної програми. Спочатку визначалось Π середнє значення показань усіх датчиків на всіх вісях. Ця величина дорівнює показанням датчиків за умови рівномірного розподілу навантаження проміж сателітів.

$$\Pi = \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{n=1}^5 \sum_{i=1}^{36} \Pi_{jni}}{3 \cdot 5 \cdot 36}, \quad (1)$$

де $j = 3$ — кількість сателітів;

$n = 5$ — кількість тензорезисторів на одній вісі;

$i = 36$ — кількість вимірювань на протязі одного кінематичного циклу (кількість положень водила). Потім знаходилося середнє арифметичне показань п'яти датчиків кожної вісі окремо в кожному з 36 положень водила.

$$\Pi_{jni}^{\Pi} = \frac{\sum_{n=1}^5 \Pi_{jni}}{5}. \quad (2)$$

Величину нерівномірності розподілу навантаження для кожного сателіта в усіх положеннях водила можливо визначити як відношення

$$\Omega_{ij} = \frac{\Pi_{jni}^{\Pi}}{\Pi}. \quad (3)$$

Як вже зазначалось, в цьому експерименті з метою визначення концентрації навантаження по довжині зубців, на кожен вісь було наклеєно по п'ять пар тензодатчиків на рівній відстані одна від одної. Це дозволило за допомогою математичної обробки отриманих даних, визначити для кожного зачеплення сателітів з центральним колесом a на протязі кінематичного циклу значення концентрації навантаження. Її величина розраховувалась через відношення показань четвертого резистора до середнього значення концентрації в даному зачепленні в i -му положенні водила.

$$K_{h\beta ij} = \frac{2\Pi_{i4j}}{\Pi_{i4j} + \Pi_{i2j}}. \quad (4)$$

Результати експериментального дослідження вказують на те, що найбільш навантаженим в цьому редукторі був сателіт під номером $j = 3$. Максимальне значення нерівномірності розподілу навантаження для цього сателіту спостерігалось в положенні водила $i = 12$ і дорівнювало $\Omega_{\max} = 1,476$. В цьому ж положенні концентрація навантаження по довжині зубців дорівнювала $K_{h\beta} = 1,431$. Максимальне значення концентрації навантаження по довжині контактних ліній $K_{h\beta \max} = 1,839$ було зафіксоване в положенні водила $i = 25$. Відповідно величина нерівномірності між сателітами в цьому положенні водила складала $\Omega = 1,249$.

Найменш навантаженим під час цього дослідження був сателіт $j = 4$. Максимальне значення нерівномірності навантаження для цього сателіту становило $\Omega_{\max} = 0,669$ в положенні водила $i = 6$. Відповідно концентрація в цьому положенні складала $K_{h\beta} = 1,689$. Найбільша величина концентрації навантаження по довжині контактних ліній для цього сателіту $K_{h\beta \max} = 2,0$ спостерігалась в положенні водила $i = 33$. В цьому ж положенні нерівномірність розподілу проміж сателітів становила $\Omega = 0,749$.

Висновки і напрямки подальших досліджень. Результати експериментального дослідження вказують на існування функціонального зв'язку між нерівномірністю розподілу навантаження серед сателітів та його концентрацією по довжині контактних ліній. Максимуми цих двох параметрів для одного і того ж зачеплення не співпадають у часі. Найбільша концентрація навантаження по довжині зубців спостерігається в момент часу, коли зачеплення передає момент, величина якого значно менша за номінальний.

Література

1. Arnaudov K. Untersuchung des Lastausgleiches in Planetengetrieben [Text] / K. Arnaudov // Maschinenbautechnik. — 1973. — № 8. — s. 361 – 366.
2. Кроль А.А. О некоторых особенностях экспериментального исследования планетарных передач с датчиками на осях сателлитов [Текст] / А.А. Кроль // Некоторые вопросы исследования авиационных передач: Сб. тр. Рижского института инженеров гражданской авиации.- Рига, 1964. – Вып.45.- С. 3 – 18.
3. Горобец И.П. О методике экспериментального исследования планетарных редукторов [Текст] / И. П. Горобец, В. Н. Власенко, В. Н. Тютин // Респ. межвед.науч. – техн. сб. – Киев, 1982. – Вып. 34. – С. 40 – 44.