

systems, which are exactly the elements that will allow humanity to gain time and gradually switch to clean sources of energy.

The historical development of electric vehicles and vehicles with hybrid power plants (ICE and electric motor) is considered. The main stages of the development of a hybrid car are cited, they are founder of hybrid drive, single researches of scientists and creation of prototypes and serial models. The basic stages of introduction of the combined drive conventional vehicles are presented. The leading firms which are worked on the development of prototypes and serial manufacturers of hybrid cars are described. The numbers of sales for cars of different brands in different countries with hybrid power plants are cited.

KEYWORDS: HYBRID CAR, ELECTRIC CAR, COMBINED POWER PLANT.

#### РЕФЕРАТ

Тимков А.Н., Луцик А.П. История развития гибридных силовых установок / Алексей Николаевич Тимков, Артур Петрович Луцик // Весник НТУ. – К.: НТУ – 2012. – Вып. 26.

Данная статья акцентирует внимание на истории развития гибридных силовых установок, характеризуется значительным периодом в развитии автомобильного транспорта. Раскрыты важнейшие годы, которые меняли ход зарождения комбинированного привода в соответствии с постепенного развития научно-технического прогресса. Обращено внимание на целесообразность исследования и использования гибридных силовых установок, которые являются именно тем звеном, которое позволит человечеству выиграть время и постепенно перейти на экологически чистые источники энергии.

Рассмотрено историческое развитие электромобилей и автомобилей с гибридными силовыми установками (ДВС и электродвигателя). Приведены основные этапы развития гибридного автомобиля, а именно: основоположник гибридного привода; единичные разработки ученых, создание прототипов и серийных образцов. Изложены основные этапы внедрения комбинированного привода в обычные транспортные средства. Описаны ведущие фирмы, которые работали над разработками прототипов и производители серийных гибридных автомобилей. Приведены цифры продаж автомобилей различных марок в разных странах с гибридными силовыми установками.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГИБРИДНЫЙ АВТОМОБИЛЬ, ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ, КОМБИНИРОВАННАЯ СИЛОВАЯ УСТАНОВКА.

УДК 531.19

#### СТАТИСТИЧНА ДИНАМІКА СИСТЕМИ З ВНУТРІШНІМ РОЗГАЛУЖЕННЯМ СИЛОВОГО ПОТОКУ

Тютін В.М.

Постановка проблеми. В силових приводах різноманітних машин широко використовуються планетарні редуктори. Розподіл крутного моменту, як правило, на три потоки сприяє зменшенню їх радіального габариту та маси в порівнянні з рядовими зубчастими передачами. Разом з тим, через виникнення в зачепленнях зазорів, які викликані помилками виготовлення деталей редуктора, що мають випадкове походження, розподіл навантаження проміж сателітів відбувається нерівномірно. В певний момент часу одне зачеплення буде перевантаженим, а два інших – недовантажені. В наступний момент характер розподілу навантаження може мати протилежний вигляд. Таким чином, щоб забезпечити надійність планетарних редукторів на стадії проектування, необхідно мати рішення задачі статистичної динаміки системи з внутрішнім розгалуженням силового потоку та випадковими внутрішніми силами, що збуджують коливання

Метою роботи є розробка теоретичних положень, спрямованих на уточнення розрахунків на міцність зубчастих зачеплень планетарних редукторів.

Основна частина. Динамічна і відповідна їй математична моделі, наведені в [1] дозволяють вирішувати задачу примусових коливань, що виникають в планетарному редукторі. Головною проблемою, яка залишається невирішеною – в якому вигляді завести до моделі випадкові зазори, щоб отримати рішення, які б досить точно відображали реальні процеси навантаження зачеплень у редукторі. Для серійної продукції помилки розмірів та геометричної форми деталей є випадковими і тому повинні визначатися за законами теорії ймовірностей. Помилки окремих розмірів вважаються первинни-

ми. Вони розподілені за зніаними з практики законами. Їх вичерпними характеристиками є математичне очікування та дисперсія. Одночасний вплив усіх первинних помилок на положення зубців під час їх входження до контакту призводить до виникнення в зачепленнях зазорів – натягів. Вплив первинних помилок на положення сполучених профілів буде мати неоднакові періоди повторення через різні кутові швидкості деталей. Це зумовлює необхідність застосування апарату випадкових функцій для описання зазорів в зачепленнях.

В планетарному редукторі функція зазорів – натягів визначає не тільки внутрішні сили, які збуджують коливання, але і закономірності розподілу навантаження серед сателітів. Ця функція згідно [2] є сумою трьох складових:

$$\Delta_j = \Delta_{pj} + \Delta_{nj} + \Delta_{bj}, \quad (1)$$

де  $j$  – номер сателіта;

$\Delta_{pj}$  – постійна складова;

$\Delta_{nj}$  – низькочастотна складова, яка змінюється з частотою обертання водила;

$\Delta_{bj}$  – високочастотна складова, яка змінюється з частотою обертання центрального колеса “а” та сателітів “g”.

Для знаходження складових функції зазорів – натягів треба визначити які первинні помилки призводять до їх появи, закони розподілу цих випадкових величин та їх числові характеристики. Більшість випадкових первинних помилок розмірів деталей редуктора розподілені за законом Релея. Первинні помилки є центрованими випадковими величинами. Це означає, що їх математичні очікування дорівнюють нулю  $M[e] = 0$ . Слід також враховувати, що випадкова первинна помилка  $\bar{e}$  є векторною величиною. Тобто, вона має випадкове значення модуля та випадкову кутову координату. Складові функції зазорів – натягів в зачепленнях центрального колеса “а” з сателітами “g”, яка спричинена відповідною первинною помилкою, може бути представлена у вигляді:

$$\Delta\varphi_{ij} = \frac{y_{ij} + z_{ij} \operatorname{tg} a_w}{r_a}, \quad (2)$$

де  $y_{ij}, z_{ij}$  – проекції вектора  $\bar{e}_i$  на вісі прямокутної системи координат;

$a_w$  – кут зачеплення;

$r_a$  – радіус центрального колеса “а”.

Таким чином, для знаходження випадкової функції необхідно перейти до прямокутних координат. При цьому релеєвський вектор  $\bar{e}_i$  перетворюється в вектор розподілений за нормальним законом з некорельованими компонентами  $y = e_i \sin \gamma$  та  $z = e_i \cos \gamma$ . Випадкові величини  $y$  та  $z$  також розподілені за нормальним законом. Для знаходження їх числових характеристик необхідно визначити закони розподілу та характеристики складових компонент нормального вектора. Випадкові величини  $\sin \gamma$  та  $\cos \gamma$  розподілені за законом арксинуса. Їх математичне очікування дорівнює  $M[\cos \gamma] = M[\sin \gamma] = 0$ , а дисперсія  $D[\cos \gamma] = D[\sin \gamma] = \frac{1}{2}$ . На підставі цього можливо знайти характеристики компонент. Їх математичне очікування також дорівнює нулю  $M[\cos \gamma] = M[\sin \gamma] = 0$ , а дисперсії – половині дисперсії випадкової первинної помилки  $D[\cos \gamma] = D[\sin \gamma] = \frac{1}{2} D[e]$ . Зробивши перехід від дисперсій до середньоквадратичних відхилень, отримаємо  $\sigma[e \cos \gamma] = \sigma[e \sin \gamma] = \sqrt{D[e \sin \gamma]} = \pm \frac{\sqrt{2}}{2} \sigma[e]$ . Звідси, можна зробити висновок, що геометричною інтерпретацією

середньоквадратичного відхилення компонент є вектор з модулем  $\sigma[e]$  який розташований під кутом  $\frac{\pi}{4} + k\pi$  в прийнятій системі координат.

Загальний вигляд випадкової функції зазорів – натягів при одночасному прояві всіх первинних помилок буде таким

$$\Delta\varphi_{ij} = \sum a_n + \frac{\sum e_i \sin(\gamma_{0i} - \omega_k t) + \sum e_i \cos(\gamma_{0i} - \omega_k t) \operatorname{tg} a_w}{r_a}, \quad (3)$$

де  $a_n$  – випадкові первинні помилки, які є незмінними у часі;

$e_i$  – випадкові первинні помилки, які змінюються з частотами обертання деталей редуктора;

$\gamma_{0i}$  – випадкові початкові фази розташування векторів первинних помилок;

$\omega_k$  – частоти обертання деталей редуктора.

Безпосередньо оперувати випадковими функціями в математичних перетвореннях неможливо. З цієї причини користуються апаратом числових характеристик, який складається з функцій математичного очікування, дисперсії та кореляційної. Визначення функцій математичного очікування, дисперсії та оперування з ними, в багатьох випадках, не викликає ускладнень. Проте, слід зазначити, що вони ні є вичерпними характеристиками для випадкової функції. Внутрішню структуру випадкового процесу розкриває лише кореляційна функція. Разом з тим, в більшості спроб отримання кореляційної функції, особливо її виразу в явному вигляді, призводить до необхідності виконання громіздких операцій, а досить часто це не вдається зовсім. Складнощі з оперуванням кореляційними функціями зумовлені тим фактом, що вони залежать від двох аргументів. В зв'язку з цим, практичне застосування числових характеристик випадкових функцій є обмеженим і до них звертаються тоді, коли можливо отримати прості рішення та коли неможливо використати інші методи.

Одним з таких є метод канонічного розкладання. Справді, він дозволяє досить просто здійснювати лінійні перетворення певного класу випадкових функцій [3]. Його суть полягає в тому, що випадкову функцію математично коректно представляють у вигляді суми елементарних функцій. До них відносять функції, в яких випадковість зосереджена в амплітуді, а залежність від часу описується звичайною функцією. Типовою для цього класу є функція виду  $E \sin t$ . При перетворенні таких функцій лінійним оператором випадковий множник “E” виноситься за знак оператора, а від функції береться інтеграл. Ще більше можливостей має метод канонічного розкладання у випадку, коли випадкова функція є стаціонарною. До стаціонарних відносять функції, які описують випадковий процес, що минає у часі однорідно без значних змін амплітуди та середнього положення. При цьому за початок процесу може бути прийнятий будь-який момент часу. Його фізичною інтерпретацією є примусові коливання, які викликані дією зовнішньої сили, що змінюється за гармонічним законом. Стаціонарність випадкової функції більш точно визначається через математичні залежності, а саме через значення числових характеристик. Однорідність визначається сталістю функції математичного очікування  $M[\theta(t)] = \text{const}$ . Відсутність значних змін у значеннях амплітуди відбувається за рахунок сталості дисперсії  $D[\theta(t)] = \text{const}$ . Крім того, її кореляційна функція є такою сталою та дорівнює дисперсії  $K[\theta(t)] = D[\theta(t)] = \text{const}$ . Стаціонарна функція може бути представлена у вигляді канонічного розкладання  $\theta(t) = \sum (b_s \sin \omega_k t + c_s \cos \omega_s t)$ . У цій формулі кожна пара випадкових величин “b” та “c”, з однаковими значеннями індексу “s”, мають рівні дисперсії  $D[b_s] = D[c_s] = D_s$ , а їх математичні очікування  $M[b_s] = M[c_s] = 0$ . Завдяки цьому, можна визначити дисперсію функції  $D[\theta(t)] = (\sin^2 \omega_k t + \cos^2 \omega_k t) D_s = \sum D_s$ . Таким чином, дисперсія випадкової функції у вигляді канонічного розкладання дорівнює сумі дисперсій випадкових величин, що її спричинили.

Перейдемо до аналізу випадкової функції зазорів – натягів на відповідність вимогам стаціонарності. Для цього треба визначити її математичне очікування та дисперсію. З цією метою здійснено перетворення виразу (3) за допомогою формули додавання тригонометричних функцій. В результаті отримаємо, що випадкова функція  $\Delta\varphi_{ij}$  є сумою випадкових величин  $a_i$  та елементарних випадкових функцій типу  $e_i \sin \gamma_{0i} \cos \omega_i t$ , в яких випадковим є множник  $e_i \sin \gamma_{0i}$ . Випадкові вели-

чини  $a_i$  є проєкціями певних первинних помилок на лінію зачеплення. Внаслідок того, що ці первинні помилки по суті – центровані випадкові величини, їх математичне очікування дорівнює нулю  $M[a_i]=0$ . Математичне очікування елементарної функції можна записати у вигляді  $M[e_i \sin \gamma_{0i} \cos \omega_k t] = M[e_i \sin \gamma_{0i}] \cos \omega_k t$ . Зважаючи на те, що математичне очікування випадкової величини, як було раніше доведено, становить  $M[e_i \sin \gamma_{0i}] = 0$ , то й математичне очікування елементарної функції теж дорівнює нулю. Відповідно до теореми складання математичних очікувань, математичне очікування випадкової функції зазора – натяга є сумою математичних очікувань її складових і тому також дорівнює нулю  $M[(\Delta\varphi_{ij})] = 0$ .

Перейдемо до визначення дисперсії випадкової функції зазорів, яка виникає в зачепленнях.

$D[(\Delta\varphi_{ij})] = \sum D[e_i \sin \gamma_{0i}] (\cos^2 \omega_k t + \sin^2 \omega_k t) = \sum D[e_i \sin \gamma_{0i}] = \frac{1}{2} \sum D[e_i]$ . Отриманий результат вказує на те, що дисперсія випадкової функції зазора – натяга дорівнює половині суми дисперсій випадкових первинних помилок, які призвели до її виникнення, і є сталою. З огляду на те, що математичне очікування розглядаємої випадкової функції  $M[(\Delta\varphi_{ij})] = 0$ , можна зробити висновок, що вона є стаціонарною.

Висновки. Завдяки тому, що вдалося застосувати метод канонічного розкладання до випадкової функції зазора – натяга та довести, що вона відноситься до класу стаціонарних, створені передумови для спрощення рішення задачі статистичної динаміки планетарного редуктора та наближення результатів розрахунку моделі до реальних процесів навантаження зубчастих зачеплень.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Левківський С. А. Динамічна модель планетарної передачі / С. А. Левківський, В. М. Тютін, І. І. Кульбовський // Збірник наукових праць Державного економіко – технологічного університету транспорту. Серія “Транспортні системи і технології”. – 2011. – Вип. 21. – С. 351 – 353.
2. Планетарные редукторы общего назначения: методические рекомендации / Всесоюзный научно – исследовательский и проектно – конструкторский институт редукторостроения. – М.: Научно – исследовательский институт информации по машиностроению, 1980. – 63 с.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: учебник для вузов / Е. С. Вентцель. – Изд. 4-е стер. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

#### РЕФЕРАТ

Тютін В.М. Статистична динаміка системи з внутрішнім розгалуженням силового потоку. / В.М. Тютін // Вісник НТУ. – К.: НТУ. – 2012. – Вип. 26.

Метою роботи є розробка теоретичних положень, спрямованих на уточнення розрахунків на міцність зубчастих зачеплень планетарних редукторів.

Випадкова функція зазорів в зачепленнях планетарного редуктора може бути віднесена до класу стаціонарних. У стаціонарних випадкових функціях, які представлені у вигляді канонічного розкладання, випадковість зосереджена в амплітудах, а функції є звичайними тригонометричними. Це значно спрощує рішення задачі статистичної динаміки планетарних редукторів.

Динамічна і відповідна їй математична моделі, наведені в [1] дозволяють вирішувати задачу примусових коливань, що виникають в планетарному редукторі. Головною проблемою, яка залишається невирішеною – в якому вигляді завести до моделі випадкові зазори, щоб отримати рішення, які б досить точно відображали реальні процеси навантаження зачеплень у редукторі. Для серійної продукції помилки розмірів та геометричної форми деталей є випадковими і тому повинні визначатися за законами теорії ймовірностей. Помилки окремих розмірів вважаються первинними. Вони розподілені за заними з практики законами.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ФУНКЦІЯ ЗАЗОРІВ, СИЛОВИЙ ПОТІК, СТАТИСТИЧНА ДИНАМІКА.

#### ABSTRACT

Tyutin V.M. Statistical dynamics of a system with internal branching power flow. / VM Tyutin // Visnyk NTU. – K.: NTU. – 2012. – Vol. 26.

The aim is to develop theoretical propositions aimed at clarifying the calculation of strength gears planetary gear boxes.

Random function of gaps in the linkages of the planetary gear reducer can be classified as stationary function. In stationary random function, which represented as canonical decomposition, amplitudes – random

numbers, and functions – the usual trigonometric functions. Such representation of the gaps greatly simplifies the solution of the statistical dynamics of the planetary unit.

Dynamic and the corresponding mathematical model presented in [1] allow to solve the problem of forced oscillations occurring on a planetary gear. The main problem that remains unresolved – in what forms do random gaps occur to obtain a solution that would accurately reflect the actual processes load affected in the gearbox. For serial production error size and geometry parts are random and the reasons should be determined by the laws of probability theory. Errors of certain size are considered primary. They are distributed by the well-known practice of law.

KEY WORDS: FUNCTION GAP, POWERFLOW, STATISTICAL DYNAMICS.

#### РЕФЕРАТ

Тютин В.М. Статистическая динамика системы с внутренним разветвлением силового потока. / В.М. Тютин // Вестник НТУ. – К.: НТУ. – 2012. – Вып. 26.

Целью работы является разработка теоретических положений, направленных на уточнение расчетов на прочность зубчатых зацеплений планетарных редукторов.

Случайная функция зазоров в зацеплениях планетарного редуктора может быть отнесена к классу стационарных. В стационарных случайных функциях, которые представлены в виде канонического разложения, случайность сосредоточена в амплитудах, а функции являются обычными тригонометрическими. Это значительно упрощает решение задачи статистической динамики планетарных редукторов.

Динамическая и соответствующая ей математическая модели, приведенные в [1] позволяют решать задачу принудительных колебаний, возникающих в планетарном редукторе. Главной проблемой, которая остается нерешенной – в каком виде завести в модели случайные зазоры, чтобы получить решение, которое бы достаточно точно отражало реальные процессы нагрузки зацеплений в редукторе. Для серийной продукции ошибки размеров и геометрической формы деталей являются случайными и поэтому должны определяться законами теории вероятностей. Ошибки отдельных размеров считаются первичными. Они распределены по известным из практики законам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ФУНКЦИЯ ЗАЗОРА, СИЛОВОЙ ПОТОК, СТАТИСТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА.

УДК 621.43.

#### ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ В ЯКОСТІ МОТОРНОГО ПАЛИВА НА КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

Шиманський С.І.

Постійно зростаючі потреби людства в енергії зумовлюють збільшення витрати енергоресурсів, що призводить до їх виснаження та забруднення навколишнього середовища. Відомо, що на даний час теплові двигуни є основним джерелом енергії для транспортних засобів. Останнім часом гостро постає питання необхідності економії природних ресурсів та збереження навколишнього середовища при збільшенні виробництва енергії, необхідної для задоволення потреб людства.

Найбільшу кількість енергії виробляють двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ), які одночасно споживають основну масу продуктів переробки нафти і є основним джерелом хімічного, механічного, теплового, шумового та інших видів шкідливого забруднення навколишнього середовища. Найбільш значне хімічне забруднення атмосфери відбувається шкідливими речовинами (ШР) відпрацьованих газів (ВГ).

В енергетичному комплексі розвинутих країн близько 80 % енергії, що виробляється енергетичними установками, отримують при роботі ДВЗ [1]. Основна частка потужностей ДВЗ зосереджена в автомобільному транспорті – 60 % та в агропромисловому комплексі – 25 % [2].

Одним із порівняно нових, перспективних (економічно вигідних і екологічно чистих) моторних палив є біогаз, який являє собою продукт, одержуваний за допомогою анаеробних бактерій в процесі розкладання і бродіння при певних умовах (температура, вологість і кислотність) у відсутності повітря, різних органічних матеріалів. Він є практично невичерпним видом палива.