

УДК 621.883.1

А. Кулинич; І. Ніщенко, канд. фіз.-мат. наук; І. Кулинич, канд. техн. наук

Львівський національний аграрний університет

ПАРАМЕТРИ ПРИВОДА БАГАТОШПИНДЕЛЬНОГО ГАЙКОКРУТА

Резюме. Представлено й проаналізовано кінематичну схему багатопшпindelного гайкокрута ударної дії для розбирання і складання різьбових з'єднань кріплення коліс автомобілів. Отримано математичні моделі технологічних параметрів багатопшпindelного гайкокрута – часу розгону до максимальної кутової швидкості системи привода гайкокрута й крутного моменту ударного імпульсу на шпindelі. Математична модель часу розгону системи привода отримана на основі теореми про зміну кінетичної енергії цієї системи, а математична модель крутного моменту ударного імпульсу – на основі теореми про збереження механічної енергії системи. Час розгону залежить від кутової швидкості й потужності електропривода гайкокрута, маси обертових деталей системи привода, їх діаметральних розмірів, а крутний момент, крім цього, ще залежить від жорсткостей кручення вала маховика і шпindelя.

Ключові слова: гайкокрут, шпindel, муфта, різьба, гайка, наживлення, нагвинчування, затягування, відгвинчування, потужність, час розгону, крутний момент, момент інерції.

A. Kulynych, I. Nishchenko, I. Kulynych

PARAMETERS OF MULTIPLE-SPINDLE POWER NUT-DRIVER

Summary. Kinematic diagram of percussive multiple-spindle power nut-driver for disassembly and assembly of threaded connections of motor vehicle wheels is presented and a brief description of its operation. The power nut-driver can fit in the nuts without damaging thread in case of their jamming owing to insignificant torque that ensures unhampered screwing of all the nuts onto studs simultaneously. If any jamming of the nut and stud threads occurs while fitting, a short-time reverse running of the spindles is activated from control panel and another fitting attempt is made. Reverse running of the spindle ensures accuracy of mutual location of the nut and stud necessary for fitting. After fitting and screwing on the nuts are tightened individually, and in the case of unscrewing – individual release from tightening with the aid of angular impact momentum, activating jaw-clutches of rotation transmission to spindles after acceleration of power nut-driver drive system. Mathematical study of technological parameters of multiple-spindle nut-driver – time of acceleration to maximum angular velocity of power nut-driver drive mechanical system and impact momentum torque on the spindle has been carried out. Mathematical models of these parameters have been substantiated. Mathematical model of the time of acceleration of the power nut-driver drive mechanical system was elaborated on the basis of the theorem on the change of kinetic energy of the system. This time depends on angular velocity and capacity of power nut-driver electric drive, weight of rotating parts of the drive system and their diameter dimensions. Mathematical model of impact momentum torque of the spindle was obtained on the basis of the theorem on the system mechanical energy conservation. Kinetic energy of rotating parts of the power nut-driver drive, the flywheel, in particular is transformed into potential energy of the flywheel shaft and the spindle during their rotation at the time of unscrewing or tightening of nuts. The torque depends on the same parameters as the parameters of acceleration and, besides, on torsional stiffness of the flywheel shaft and the spindle.

This multiple-spindle power nut-driver as compared with the known single-spindle power nut-drivers reduces the time for dismounting and mounting motor vehicle wheels. This is ensured by simultaneous capping of the heads on all the nuts of the wheel and replacement of manual fitting by mechanical fitting.

Key words: power nut-driver, spindle, clutch, thread, nut, fitting, screwing on, tightening, unscrewing, capacity, acceleration time, torque, moment of inertia.

Постановка проблеми. Під час ремонту й технічного обслуговування автомобілів часто виникає потреба демонтажу і монтажу коліс. Зокрема, під час обслуговування й ремонту гальмівних систем, демонтажу мостів автомобіля і

безпосередньо ремонту коліс або шин. При цьому найбільш трудомісткими операціями є відгвинчування та загвинчування гайок кріплення коліс, які затягуються зі значними крутними моментами.

Збільшення продуктивності виконання вказаних операцій можна досягти, використовуючи багатошпindelні гайкокрути з механізованим наживленням гайок [1]. Та в даний час інформації про обґрунтування параметрів такого гайкокрута в літературних джерелах не знайдено.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розбирання й складання різьбових з'єднань кріплення коліс автомобілів, залежно від виду виробництва, використовуються різноманітні ручні й механізовані засоби. Наприклад, балонні ключі, ручні пневматичні й електричні гайкокрути ударної дії [2, 3, 4], а також одношпindelні пересувні електромеханічні гайкокрути, які за принципом роботи є також гайкокрутами ударної дії [5, 6, 7]. Є багато різних моделей таких гайкокрутів, які відрізняються між собою деякими конструктивними особливостями механізму гайкокрута, елементами і прийомами керування, величиною крутного моменту, габаритами і масою. Їх механізми відгвинчування-загвинчування змонтовані на візку з двома котками та опорою, що дозволяє легко пересувати їх по підлозі майстерні й установлювати в робоче положення. Механізм гайкокрута складається зі шпindelя з голівкою для гайок і для центрування голівки на гайки колеса автомобіля його можна переміщувати вертикально за допомогою тягового гвинта з маховичком. Для пересування й утримування гайкокрута у робочому положенні призначена рукоятка з ручкою вимикання зчеплення шпindelя з приводом. Обертання на шпindel переддається від шківів електродвигуна через клинопасову передачу на маховик, вал якого можна з'єднувати зі шпindelем через кулачкову муфту зчеплення. Гайкокрут працює ударними імпульсами за рахунок кінетичної енергії маховика, що передаються на шпindel у момент вмикання кулачкової муфти.

Застосування електромеханічного гайкокрута під час демонтажу і монтажу коліс автомобілів зменшує трудомісткість робіт приблизно у 3 рази [6], збільшуючи відповідно і продуктивність праці робітника.

Наступного підвищення продуктивності операцій відгвинчування й загвинчування гайок коліс автомобілів можна досягти запропонованим багатошпindelним гайкокрутом [1]. Механізм відгвинчування-загвинчування гайкокрута (рис. 1) розташований також на візку з двома котками й опорою та має вигляд одноступінчастого редуктора, вали 8 якого виходять назовні й виконують функції шпindelів. Привод шпindelів 8 здійснюється від електродвигуна 6 через зубчасту муфту 1, клинопасову передачу від шківів 2 на маховик 3, вал 7, зубчасте колесо 4 і шестірні 5, які утворюють кулачкові муфти з півмуфтами 9 і фрикційні муфти з діафрагмами 11. Шестірні 5 вільно з'єднані зі шпindelями 8, а півмуфти 6 і мембрани 11 – через шліци. Фрикційні муфти постійно передають невеликий крутний момент на шпindelі 8, який регулюється зусиллям притискання мембран 11 до шестерень 5 гайками 12 і забезпечує наживлення і вільне нагвинчування одночасно всіх гайок на шпильки для кріплення коліс автомобіля. Для суміщення шпindelів 8 співвісно з осями шпильок колеса під час наживлення гайок механізм відгвинчування-загвинчування можна пересувати вертикально ходовим гвинтом і повертати на деякий кут навколо вала 7.

Принцип роботи гайкокрута ударний і базується на використанні моменту інерції від обертання маховика 3 та інших обертових деталей, що передається на шпindel у момент вмикання кулачкової муфти. Під час ударного обертового імпульсу маховик 3 і всі обертові деталі зупиняються. При цьому кулачкова муфта 1 проковзує, крутний момент якої регулюється пружиною 13. Кулачкові муфти по чергові передають повний

крутний момент маховика на шпинделі 8 і головки 10 під час їх вмикання в певній послідовності. Ця послідовність забезпечується відповідним вмиканням кнопок спеціального пульта керування. Після наживлення і нагвинчування гайок до контакту з диском колеса фрикційні муфти проковзують і шпинделі 8 з головками 10 не обертаються, поки на них не подіє черговий ударний обертовий імпульс.

Під час наживлення різьбових деталей механізованими засобами не завжди вдається забезпечити необхідну точність їх взаємного розташування перед спряженням і це або не дозволить їх з'єднати, або призводить до заклинювання різьби і руйнування її західного витка. Тому наживлення часто виконують вручну, а наступні етапи – загвинчування і затягування – засобами механізації й автоматизації [8, 9, 10].

Особливістю даного багатошпindelного гайкокрута є механізоване одночасне наживлення всіх гайок на шпильки колеса, яке здійснюється з незначним крутним моментом, що попереджує пошкодження різьби при заклиненні. Якщо станеться заклинення різьби, його усувають вмиканням короткочасного реверсу шпинделів і наступної спроби загвинчування. Реверс шпинделя дозволяє забезпечити необхідну для наживлення точність взаємного розташування гайки і шпильки. Затягування гайок при загвинчуванні й звільнення від затягування під час відгвинчування виконують почерговим вмиканням передачі ударних обертових імпульсів на шпинделі. Це дозволяє використати маховик такої ж маси і електродвигун такої ж потужності як у одношпindelному гайкокруті і, хоч вага гайкокрута при цьому дещо збільшиться за рахунок більшої кількості шпинделів, та це суттєво не погіршує умов його пересування і маніпулювання під час надівання головок на гайки колеса.

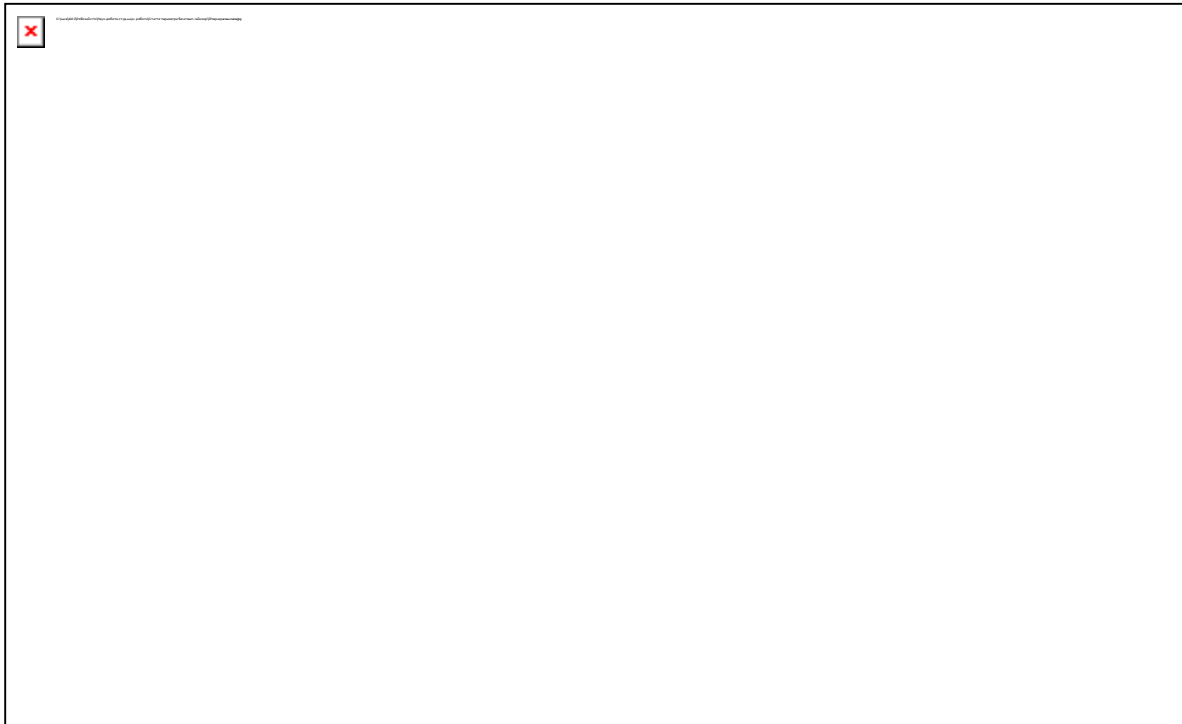


Рисунок 1. Кінематична схема багатошпindelного гайкокрута

Figure 1. Kinematic scheme of multispindle screw nut

Розроблений багатошпindelний гайкокрут в порівнянні з відомими одношпindelними гайкокрутами скорочує час демонтажу і монтажу коліс автомобіля.

Це забезпечується одночасним надіванням головок на всі гайки колеса і заміною ручного наживлення гайок механізованим.

Постановка завдання. Основним параметром привода багатошпindelного гайкокрута є крутний момент на його шпindelях, що повинен забезпечити звільнення гайки колеса (зрив різьби) від затягування під час відгвинчування і необхідний крутний момент її затягування під час загвинчування. Значення цих крутних моментів залежать від розмірів коліс автомобілів і задані для кожної марки автомобіля. Іншим важливим параметром є час розгону обертових деталей гайкокрута до максимальної кутової швидкості. Це забезпечує найбільший сумарний момент інерції обертових деталей і відповідно найбільший ударний імпульс, що передається на головку гайкокрута при вмиканні зубчастої муфти під час відгвинчування або затягування гайки. Завданням нашого дослідження є створення математичних моделей для розрахунку крутного моменту на шпindelях гайкокрута і часу розгону системи до максимальної кутової швидкості.

Виклад основного матеріалу. Для виконання необхідних розрахунків скористаємося кінематичною схемою багатошпindelного гайкокрута (рис. 1).

Нехай електромотор 6 має потужність P , а його вал обертається з кутовою швидкістю ω . Електромотор приводить в обертальний рух запобіжну муфту 1, шків 2, маховик 3, шестірню 4, зубчасті колеса 5 разом з півмуфтами, вал 7 і шпindelі 8.

Вважаємо, що деталі 1, 2, 3, 4, 5 суцільні однорідні диски діаметрами D_1, D_2, D_3, D_4, D_5 і масами m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 .

Знайдемо час розгону цієї механічної системи, використавши теорему про зміну кінетичної енергії [11]

$$T_1 - T_0 = A, \quad (1)$$

де T_0 – початкове значення кінетичної енергії;

A – робота привода

$$A = P \cdot t, \quad (2)$$

де P – потужність електромотора привода,

t – час розгону системи до максимальної кутової швидкості деталей

$$T_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^5 I_i \omega_i^2 = \frac{I_1 \omega_1^2}{2} + \frac{I_2 \omega_2^2}{2} + \frac{I_3 \omega_3^2}{2} + \frac{I_4 \omega_4^2}{2} + z \frac{I_5 \omega_5^2}{2}, \quad (3)$$

де I_i – момент інерції дисків,

$$I_i = \frac{m_i D_i^2}{8},$$

z – кількість зубчастих коліс 5.

Вважаємо, що $\omega_1 = \omega_2 = \omega$.

$$\text{Тоді } \omega_3 = \frac{\omega D_2}{D_3}, \quad \omega_4 = \omega_3, \quad \omega_5 = \frac{\omega_4 D_4}{D_5} = \omega \frac{D_2 D_4}{D_3 D_5}.$$

Підставимо значення моментів інерції дисків у вираз (3).

Після перетворень отримаємо

$$T_1 = \frac{\omega^2}{16} \left[m_1 D_1^2 + m_2 D_2^2 + m_3 D_2^2 + \frac{m_4 D_4^2 D_2^2}{D_3^2} + z \frac{m_5 D_2^2 D_4^2}{D_3^2} \right],$$

$$T_1 = \frac{\omega^2 D_2^2}{16} \left[m_1 \frac{D_1^2}{D_2^2} + m_2 + m_3 + \frac{D_4^2}{D_3^2} (m_4 + z m_5) \right]. \quad (4)$$

На основі рівності (2) знаходимо час розгону системи до максимальної кутової швидкості

$$t = \frac{A}{P} = \frac{T_1}{P} = \frac{\omega^2 D_2^2}{16P} \left[m_1 \frac{D_1^2}{D_2^2} + m_2 + m_3 + \frac{D_4^2}{D_5^2} (m_4 + z m_5) \right]. \quad (5)$$

Визначимо максимальний крутний момент M , який може виникати на головці, що закріплена на шпинделі 8, під час відкручування або затягування гайок коліс. Для цього використаємо теорему про збереження механічної енергії [8]. Набута кінетична енергія муфти 1, шківів 2, маховика 3, шестерні 4, зубчастих коліс 5 з півмуфтами перетворюється в потенціальну енергію вала 7 і шпинделя 8 при їх крученні, коли вмикаємо відкручування або затягування один зі шпинделів 8.

Кути закручування обчислюємо за формулами [11]

$$\varphi_7 = \frac{M}{C_7}, \quad \varphi_8 = \frac{M}{C_8}, \quad (6)$$

де C_7, C_8 – жорсткості вала 7 і шпинделя 8 при крученні.

Кінетична енергія обертюваних деталей тотожна потенціальній енергії закручених вала 7 і шпинделя 8, тобто

$$\frac{I_1 \omega_1^2}{2} + \frac{I_2 \omega_2^2}{2} + \frac{I_3 \omega_3^2}{2} + \frac{I_4 \omega_4^2}{2} + z \frac{I_5 \omega_5^2}{2} = \frac{M \cdot \varphi_7}{2} + \frac{M \cdot \varphi_8}{2}. \quad (7)$$

Підставивши значення моментів інерції і кутів закручування у рівність (7) отримаємо

$$\frac{m_1 D_1^2 \omega^2}{16} + \frac{m_2 D_2^2 \omega^2}{16} + \frac{m_3 D_3^2 \omega^2 D_2^2}{16 D_3^2} + \frac{m_4 D_4^2 \omega^2 D_2^2}{16 D_3^2} + z \frac{m_5 D_5^2 \omega^2 D_2^2 D_4^2}{16 D_3^2 D_5^2} = \frac{M^2}{2C_7} + \frac{M^2}{2C_8},$$

$$\frac{\omega^2 D_2^2}{8} \left[m_1 \frac{D_1^2}{D_2^2} + m_2 + m_3 + \frac{D_4^2}{D_3^2} (m_4 + z m_5) \right] = \frac{M^2}{C_7} + \frac{M^2}{C_8}.$$

Звідси

$$M = \omega D_2 \sqrt{\frac{C_7 \cdot C_8}{C_7 + C_8} \left[\frac{m_1 D_1^2}{8 D_2^2} + \frac{m_2 + m_3}{8} + \frac{D_4^2}{8 D_3^2} (m_4 + z m_5) \right]}. \quad (8)$$

Якщо вал 7 і шпинделі 8 мають круглі поперечні перерізи діаметрами d_7 і d_8 та довжиною l_7 і l_8 , то їх жорсткість при крученні можна обчислити за формулами [12]

$$C_7 = \frac{G \pi d_7^4}{32 l_7}, \quad C_8 = \frac{G \pi d_8^4}{32 l_8}. \quad (9)$$

Під час ударного імпульсу, що передається на один зі шпинделів 8, інші шпинделі будуть нерухомі, тому що крутний момент на них передається через тертя між зубчастими колесами 5 і мембраною 11. Цей крутний момент відрегульований на невелике значення і забезпечує тільки вільне відкручування або закручування гайки. Тобто ці крутні моменти тертя M_{mp} будуть дещо зменшувати крутний момент ударного імпульсу.

Тому максимальний крутний момент на шпинделі гайкокрута буде дорівнювати

$$M_{\max} = M - (z - 1) M_{mp}. \quad (10)$$

Висновки. Представлено й проаналізовано кінематичну схему багатошпиндельного гайкокрута ударної дії для розбирання і складання різьбових

з'єднань кріплення коліс автомобілів. Розроблено математичні моделі технологічних параметрів ударного багатшпindelного гайкокрута – часу розгону до максимальної кутової швидкості механічної системи привода гайкокрута і крутного моменту ударного імпульсу на шпindelі. Математичні моделі можна використати під час проектування ударного багатшпindelного гайкокрута з електроприводом.

Conclusions. Kinematic diagram of percussive multiple-spindle power nut-driver for disassembly and assembly of threaded connection of motor vehicle wheels has been analysed and presented. Mathematical models of technological parameters of percussive multiple-spindle power nut-driver have been elaborated – the time of acceleration to maximum angular velocity of mechanical system of the power nut-driver and the torque of impact momentum on the spindle. Mathematical model can be used in the process of design of a multiple-spindle power nut-driver with electric drive.

Список використаної літератури

1. Пат. 74296 Україна, МПК7 B25B21/02. Багатшпindelний гайкокрут для гайок коліс автомобілів [Текст] / І.Я. Кулинич, А.І. Кулинич, Т.В. Гринишин; заявник і патентовласник Львівський держ. аграр. ун-т. – № у 2012 03718; заявл. 27.03.2012; опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20, 2012 р.
2. Пат. 40759А Україна, МПК B25B21/00. Пневматичний гайковерт [Текст] / І.Я. Кулинич, В.С. Чухрай; заявник і патентовласник Львівський держ. аграр. ун-т. – № 99073826; заявл. 06.07.1999; опубл. 15.08.2001, Бюл. №7, 2001 р.
3. Пат. 47047 Україна, МПК (2009) B25B21/00. Пневматичний гайковерт [Текст] / І.Я. Кулинич, А.І. Кулинич, І.В. Паньків; заявник і патентовласник Львівський держ. аграр. ун-т. – № у 20090 08669; заявл. 17.08.02009; опубл. 11.01.2010; Бюл. №1, 2009 р.
4. Назаренко, І.І. Ручні машини: конспект лекцій [Текст] / І.І. Назаренко, Ю.О. Баранов. – К.: КНУБА, 2001. – 176 с.
5. Грибков, В.М. Справочник по оборудованию для технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей [Текст] / В.М. Грибков, П.А. Карпекин. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 223 с.
6. Крамаренко, Г.В. Техническое обслуживание автомобилей: учебное пособие [Текст] / Г.В. Крамаренко. – 2 изд. – М.: Транспорт, 1968. – 400 с.
7. Зеркалов, Д.В. Обладнання для технічного обслуговування і ремонту машин: довідник [Текст] / Д.В. Зеркалов, М.Л. Береславский, Ю.А. Обухов. – К.: Урожай, 1991. – 208 с.
8. Климовицкий, М.А. Механизация и автоматизация ремонта сельскохозяйственной техники [Текст] / М.А. Климовицкий. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 192 с.
9. Корсаков, В.С. Автоматизация сборочных работ: учебное пособие [Текст] / В.С. Корсаков. – М.: Машиностроение, 1985. – 56 с.
10. Новиков, М.П. Основы технологи сборки машин и механизмов [Текст] / М.П. Новиков. – М.: Машиностроение, 1980. – 550 с.
11. Павловський, М.А. Теоретична механіка: підручник [Текст] / М.А. Павловський. – К.: Техніка, 2002. – 512 с.
12. Шкельов, Л.Т. Опір матеріалів: підручник для студентів вищих навчальних закладів [Текст] / Л.Т. Шкельов, А.М. Станкевич, Д.В. Пошивач. – ЗАТ «Віпол», 2011. – 456 с.

Отримано 11.05.2013