

ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В МЕХАНІЧНИХ ПРИВОДАХ З КУЛЬКОВИМИ ОБГІННИМИ МУФТАМИ

Малащенко В.В.

Національний університет «Львівська політехніка»,

Куновський Г.П.

Бушитинський енергетичний коледж

Розглянуто принцип роботи та визначено максимальні навантаження нової кулькової обгінної муфти привода серійного стартера технічних засобів, що обладнані двигунами внутрішнього згорання. Наведено аналітичні залежності для визначення обертового моменту, який виникає під час неусталеного режиму його роботи.

Ключові слова: муфта, кулькова обгінна муфта, муфта вільного ходу.

Вступ. У механічних приводах стартерів різноманітних транспортних засобів застосовуються механізми односторонньої дії. Основною особливістю їх є те, що їхні вали автоматично з'єднуються на початку запуску та роз'єднуються, якщо основний двигун запусився. Це здійснюють обгінні муфти, які передають енергію двигуна традиційно за рахунок тертя заклинених між поверхнями напівмуфт роликів [1-4]. Але вони схильні до проковзування чи навіть буксування під час перевантажень і особливо взимку. Це спонукало розроблення кулькових обгінних муфт, що передають обертовий момент двигуна стартера за рахунок зачеплення кульок з боковими поверхнями пазів напівмуфт [5-15]. Такі нові технічні рішення створюють деяку специфіку дослідження динамічних явищ, що мають місце в кінематичному ланцюгу технічної системи з кульковими обгінними муфтами. Певні дослідження у цьому напрямку на сьогодні проведені в роботах [16-21].

Актуальність роботи. Актуальність виконаних досліджень полягає в тому, що залишається потреба у підвищенні точності визначення навантажувальної здатності основних елементів нової кулькової муфти вільного ходу, яка може застосовуватися у стандартних стартерах двигунів внутрішнього згорання різноманітних транспортних засобах.

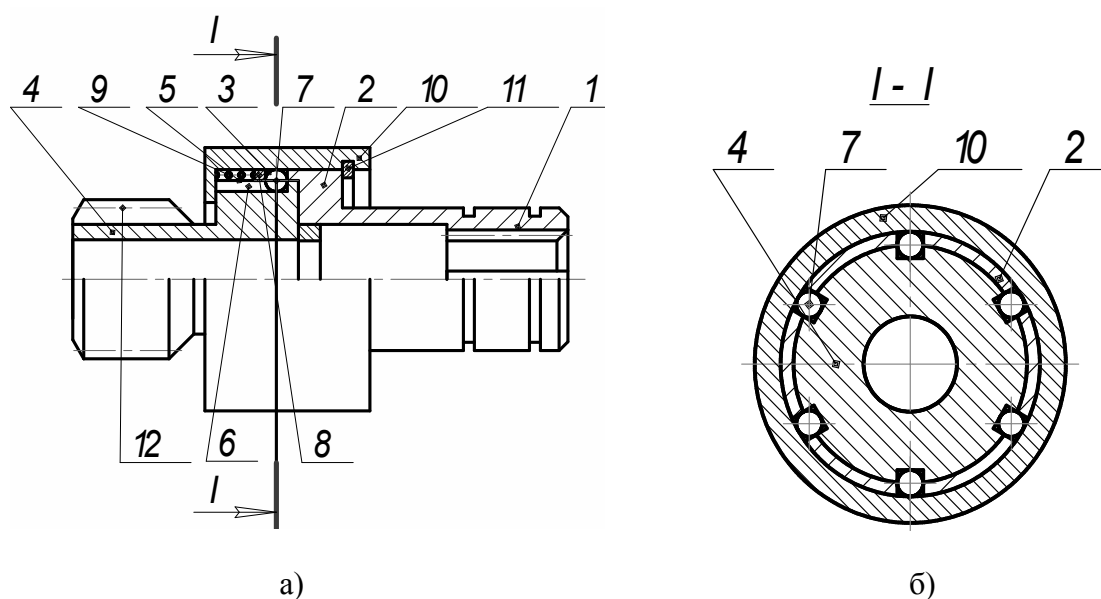


Рисунок 1 – Конструкція кулькової обгінної муфти стартера автомобілів: а – загальний вигляд; б – переріз I-I загального вигляду муфти

Метою роботи є визначення дійсного значення максимального навантаження нової кулькової обгінної муфти з урахуванням динамічних явищ, які виникають під час неусталених режимів роботи (на другому етапі вмикання), тобто в кінці повного вмикання муфти і набуття нею максимального обертового моменту стартера.

Виклад основного матеріалу У роботі розглядається одна із запатентованих кулькова обгінна муфта стартера транспортних засобів, що наведена на рис. 1. Вона складається із: ведучої напівмуфти – 1, що має фланець – 2 з пазами – 3; веденої напівмуфти – 4, що має циліндричну поверхню – 5 з пазами – 6; кульок – 7, що розміщені в цих пазах; натискного кільця – 8, що спирається на пружину – 9; корпуса – 10 зі стопорним кільцем – 11. Ведена напівмуфта включає в себе привідну шестірню – 12, а ведуча – внутрішні похилі пази для з'єднання з валиком ротора електродвигуна серійного стартера.

Таблиця 1 – Параметри розробленої нової кулькової обгінної муфти

<i>Назва параметра</i>	<i>Одиниці вимірювання</i>	<i>Значення параметра</i>
Ділильний діаметр привідної шестирні	мм	26
Діаметр кола вершин зубців		29
Діаметр кола западин		20
Модуль зубців		2,5
Кут зачеплення	град	15
Зовнішній діаметр веденої напівмуфти чи діаметр кола центрів кульок	мм	36
Діаметр кульок		6
Кількість кульок	–	6
Довжина пазів для розміщення кульок	мм	17,8
Кут нахилу пазів до твірної зовнішнього циліндра напівмуфти	град	45
Зовнішній діаметр фланця ведучої напівмуфти	мм	42
Зовнішній діаметр муфти (стакана)		48
Товщина фланця веденої напівмуфти		16
Ширина корпуса (стакана) муфти		30
Робоча ширина корпуса		24
Товщина фланця ведучої напівмуфти		11,5
Глибина пазів ведучої напівмуфти		5

Цикл функціонування муфти, подібно до традиційних роликкових, поділяється на чотири характерні етапи: вкочування кульок в пази веденої напівмуфти; повне зачеплення кульок пазами веденої напівмуфти (робочий хід); викочування кульок з пазів веденої напівмуфти; ковзання кульок по торцю веденої напівмуфти (холостий хід). Другий етап (стан) муфти є більш навантаженим тому, що це є явно виражений неусталений режим, у кінці якого ймовірні поштовхи чи навіть удари. Дослідженню динамічних явищ, що мають місце під час вкочування кульки в паз веденої напівмуфти присвячена ця робота.

Таблиця 2 – Основні показники серійного стартера СТ230-Д4

<i>Параметри</i>	<i>Одиниці виміру</i>	<i>Чисельні значення</i>
Корисна потужність стартера, P	кВт	1,50
Швидкість обертання якоря, ω_1	рад/с	417,66
Частота обертання якоря, n	об/хв	4000
Обертовий момент, T	Н·м	3,6
Максимальний момент, T_{\max}	Н·м	20

Основні параметри запропонованої муфти наведені в табл. 1, за якими виготовлено дослідний, що показав бездоганне функціонування у складі серійного автомобільного стартера, параметри якого наведено в табл. 2.

Принцип роботи такої муфти є очевидним із рис. 1, де неважко бачити, що робочій і холостий її режими безпосередньо залежать від відносного розташування кульок в пазах напівмуфт. Якщо кульки займають крайнє ліве положення, то передача муфтою обертального моменту неможлива. Кульки знаходяться в пазах тільки веденої напівмуфти та проковзують по торцю ведучої напівмуфти, тобто настає холостий хід і муфта функціонує як звичайний підшипник. Це відбувається тоді, коли ведуча напівмуфта змінить напрям руху чи зупиниться, а ведена – продовжує рухатись. Це початок роботи основного двигуна внутрішнього згорання після його запуску, коли зубчастий вінець маховика стає ведучим, а електродвигун стартера вимкнено. Виникає потреба у розмиканні кінематичний ланцюг стартерного привода.

Цей процес набуває надзвичайної ваги для випадків частих (наприклад, транспортні системи) вмиканнях, коли кінематичний ланцюг стає більш схильним до динамічних перевантажень і вимагає проведення ретельного аналізу коливних явищ.

На сьогодні відомі дослідження нових конструкцій кулькових обгінних муфт у статичній постановці [16-21], а деякі з них розроблені взагалі на рівні тільки патентів [5-15], що очевидно недостатньо для неусталених режимів роботи, особливо зі збільшенням робочих швидкостей.

Під час розв'язку задачі доцільно припускати таке: вмикання муфти відбувається всіма кульками одночасно; контактуючі робочі деталі є абсолютно жорсткими та пов'язані між собою невагомими пружними ланками; втрати енергії на тертя кульки під час вмикання є малими та ними можна знехтувати.

Прийняті припущення уможливають використати розрахункову схему (рис. 2), яка є подібною до відомої [19].

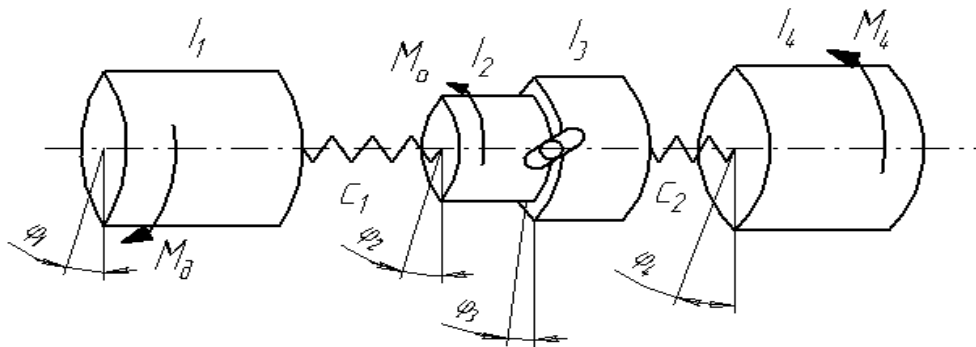


Рисунок 2 – Динамічна розрахункова схема привода з кульковою обгінною муфтою

Якщо покласти, що обертальний момент під час другого етапу набуває свого максимального значення, то тоді математична модель руху мас матиме такий вигляд:

$$I_3 \ddot{\varphi}_3 + C_2(\varphi_3 - \varphi_4) = M_{\max}; I_4 \ddot{\varphi}_4 - C_2(\varphi_3 - \varphi_4) = -M_4, \quad (1)$$

де I_3 і I_4 – зведені моменти інерції відповідних мас; φ_3, φ_4 – кути повороту цих мас; C_2 – зведена жорсткість невагомої пружної ланки; M_{\max} і M_4 – рушійний і момент опору системи.

У кінці процесу вкочування, коли кулька наблизиться до периферійного кінця паза веденої напівмуфти, частина системи, що включає маси зі зведеними моментами I_1 і I_2 , рухаються як одне ціле, тобто на масу зі зведеним моментом інерції I_3 діє обертальний момент M_{\max} з початковою швидкістю.

Розв'язок системи (1) за відомими методами зводиться до вигляду

$$\varphi_5 = A_1 \sin k_1 t + B_1 \cos k_1 t + \frac{M_{\max} I_4 + M_4 I_3}{C_2 (I_3 + I_4)}, \quad (2)$$

якщо $k_1^2 = \frac{C_2 (I_3 + I_4)}{I_3 I_4}$; $\varphi_5 = \varphi_3 - \varphi_4$ – пружна деформація другої ланки, що має жорсткість C_2 (рис. 2).

Відлік часу проводиться від початку руху веденої півмуфти, тому маємо [19]:

$$\text{при } t=0; \varphi_5 = \varphi_{\max} = \frac{(M_0 I_2 + M_0 I_1) k}{C_1 (I_1 + I_2)} \sin kt. \quad (3)$$

Параметри, що входять у рівняння (3), наведені на рис. 2.

Використовуючи початкові умови (3), із рівняння (2) визначаються сталі інтегрування: $A_1 = 0$; $B_1 = \frac{2(M_0 I_2 + M_0 I_1)}{C_1 (I_1 + I_2)} - \frac{M_{\max} I_4 + M_4 I_3}{C_2 (I_3 + I_4)}$

та деформація пружної ланки з жорсткістю C_2 , що змінюється за закономірністю:

$$\varphi_5 = (\varphi_3 - \varphi_4) = \left[\frac{2(M_0 I_2 + M_0 I_1)}{C_1 (I_1 + I_2)} - \frac{M_{\max} I_4 + M_4 I_3}{C_2 (I_3 + I_4)} \right] \cos k_1 t + \frac{M_{\max} I_4 + M_4 I_3}{C_2 (I_3 + I_4)}. \quad (4)$$

Максимальні динамічні навантаження в кінці другого етапу неусталеного режиму роботи кулькової обгінної муфти визначаються із рівняння (4) і мають такий вигляд

$$M_{\max 2} = \frac{2(M_0 I_2 + M_0 I_1) C_2}{(I_1 + I_2) C_1}. \quad (5)$$

Із рівняння (4) можна визначити час, на протязі якого навантаження набуде свого максимального значення. Це відбувається тоді, коли перший його член буде мати максимальне значення, тобто коли $\cos k_1 t = 1$, або $k_1 t = n\pi$, де $n = 2, 4, 6, 8$ (будь-яке парне число).

У випадку, коли $\cos k_1 t = -1$, маємо $k_1 t = i\pi$, де $i = 1, 3, 5, \dots$. Тоді із загального рівняння (4) одержимо деформацію другої пружної ланки

$$\varphi_5 = 2 \left(\frac{M_{\max} I_4 + M_4 I_3}{C_2 (I_3 + I_4)} - \frac{M_0 I_2 + M_0 I_1}{C_1 (I_1 + I_2)} \right), \quad (6)$$

а динамічні максимальні навантаження

$$M_{\text{дин}} = 2 \left[\frac{M_{\max} I_4 + M_4 I_3}{I_3 + I_4} - \frac{(M_0 I_2 + M_0 I_1) C_2}{C_1 (I_1 + I_2)} \right]. \quad (7)$$

Із проведеного аналізу пружної системи випливають такі **висновки**:

1. Отримані аналітичні вирази мають важливе теоретичне значення тим, що розширюють знання стосовно динамічних явищ приводів з новими кульковими обгінними муфтами.

2. Отримані в роботі вирази мають істотне практичне значення тим, що уможливають проведення кількісної оцінки значень пружних деформацій (6) і динамічних навантажень (7) приводів з подібними муфтами, які функціонують під час неусталених режимів.

3. Результати проведених досліджень є важливим підґрунтям для подальшої роботи стосовно вдосконалення механічних приводів різноманітних транспортних засобів, що оснащуються обгінними муфтами.

Напрямки подальших досліджень розроблених муфт:

1. Транспортні засоби із двигунами внутрішнього згорання.
2. Навантажувальна здатність робочих поверхонь елементів муфт.
3. Спрацювання робочих поверхонь муфт і вплив на неї режиму експлуатації транспортного засобу.
4. Точність і час спрацювання муфт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2278-93. Муфти механічні. Терміни та визначення.
2. Заблонский К. И. Детали машин / К. И. Заблонский – К. : Вища школа, Главное изд., 1999. – 518 с.
3. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків / В. О. Малащенко. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2006. – 196 с.
4. Малащенко В. О. Кулькові механізми вільного ходу / [В. О. Малащенко, П. М. Гащук, О. І. Сороківський, В. В. Малащенко]. – Львів : Новий Світ-2000, 2012. – 212 с.
5. А.с. № 17916442АІ, МКИ F16D41/06. Обгонная муфта / Малащенко В. А., Калинин С. Г., Петренко П. Я. ; БИ № 4, 1993. – 2 с.
6. А.с. № 1698520, МКИ F16D41/06. Обгонная муфта / Малащенко В. А., Рябов В. Г. ; БИ № 42, 1991. – 3 с.
7. Пат. 28884А Україна, МКИ F16D41/06. Кулькова муфта вільного ходу / Малащенко В. О., Сороківський О. І. ; Опубл. 29.123.99. Бюл. № 8.
8. Пат. 29068А Україна, МКИ F16D41/06. Конічна обгінна муфта / Малащенко В. О., Петренко П. Я., Сороківський О. І. ; Опубл. 29.123.99. Бюл. № 8.
9. Пат. 32809А Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта / Малащенко В. О., Петренко П. Я., Сороківський О. І. ; Опубл. 29.123.99. Бюл. № 8.
10. Пат. 45667А Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта / Малащенко В. О., Павлице В. Т., Петренко П. Я., Сороківський О. І. ; Опубл. 15.04.2002. Бюл. № 4.
11. Патент № 66514А Україна, МКИ F16D41/04. Запобіжна муфта / Гащук П. М., Малащенко В. В., Сороківський О. І. ; Опубл. 2004. Бюл. № 5.
12. Патент № 77435 Україна, МКИ F16D41/04. Запобіжна муфта / Гащук П. М., Малащенко В. В., Сороківський О. І. ; Опубл. 2006. Бюл. № 12.
13. Патент № 30362 Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта / Малащенко В. В. ; Опубл. 2008. Бюл. № 4.
14. Патент № 53354А Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта / Куновський Г. П., Кравець І. Є., Малащенко В. О., Сороківський О. І. ; Опубл. 15.01.2003. Бюл. № 1.
15. Патент № 64104 Україна, МКИ F16D43/00. Запобіжна муфта / Малащенко В. О., Малащенко В. В. ; Опубл. 2011. Бюл. № 20.
16. Гащук П. М. Застосування кулькових обгінних муфт у транспортних засобах / П. М. Гащук, В. В. Малащенко, О. І. Сороківський // Тези доповіді. Науковий семінар «Проблеми та перспективи розвитку підйомно-транспортних машин». – Тернопіль, 2007. – С. 13.
17. Гащук П. М. Вплив геометричних параметрів на час вмикання кулькових обгінних муфт стартерів транспортних засобів / П. М. Гащук, В. В. Малащенко, Г. Г. Сахро // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ, 2006. – № 2. – С. 6-11.
18. Гомішін Я. Volnobežna gulekova spojka / Я. Гомішін, В. О. Малащенко, О. І. Сороківський // Strojarstvo Strojirenstvi. – 2001. – № 12.
19. Кравець І. Є. Покращення ефективності системи захисту від перевантажень та інтенсивного спрацювання приводу млинів барабанного типу / О. І. Кравець // Дис. канд. техн. наук – 05.02.02. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2007. – 143 с.

20. Malaschtchenko V. Vol'nobezna qulbekova spojka / V. Malaschtchenko, J. Homuschin, O. Sorokivskiy // Strojarstvo Srojirenstvi. – 2001. – № 12. – С. 56-58.

21. Malaschtchenko V. The Selection of Parameters of a Coaster Ball clutch and Recommendation for its Construction / V. Malaschtchenko, O. Sorokivskiy // Transactions of the Universities of Kosicl. – 2002. – № 2. – С. 1-6.

Малашенко В.В., Куновский Г.П. ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ В МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДАХ С ШАРИКОВЫМИ ОБГОННЫМИ МУФТАМИ

Рассмотрено принцип работы и определены максимальные нагрузки новой шариковой обгонной муфты привода серийного стартера технических средств, которые оборудованы двигателями внутреннего сгорания с учетом колебательных явлений упругой системы. Приведены аналитические зависимости для определения максимального вращающего момента, который возникает при переходных режимах работы.

Ключевые слова: муфта, шариковая обгонная муфта, муфта свободного хода.

Malashenko, V.V., Kunovskj G.P. DYNAMIC LOADS IN MECHANICHESKSKIH BALL DRIVE WITH FREE WHEEL

The principle of the robots and determined the maximum load of the new ball freewheel drive serial starter facilities that are equipped with internal combustion engines, taking into account the vibrational effects of the elastic system. Analytical dependence for determining the maximum torque, which occurs when transients robots.

Keywords: coupling, ball overrunning clutch, freewheel.