

ЗАЛЕЖНІСТЬ ТРИВАЛОСТІ ВМИКАННЯ КУЛЬКОВОЇ МУФТИ СТАРТЕРА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ВІД ЇЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Постановка проблеми. Під час запуску основного двигуна внутрішнього згорання будь-якого транспортного засобу часто має місце проковзування традиційної обгінної муфти тому, що обертальний момент нею передається тертям заклиненими між півмуфтами роликками [1-4]. Це викликало необхідність шукати можливості виключення таких недоліків. Тому розроблено та запатентовано кулькові обгінні муфти, які передають обертальний момент за рахунок зачеплення кульок з робочими поверхнями пазів півмуфт [5-9]. Такі муфти повністю виключають не тільки буксування, а навіть проковзування основних деталей. Але час їх вмикання залежить від початкового взаємного стану пазів півмуфт, на який впливають геометричні чинники самої муфти.

Метою роботи є комплексні дослідження впливу геометричних параметрів нової кулькової обгінної муфти на тривалість її вмикання для різних початкових взаємних положень пазів ведучої та веденої півмуфт.

Виклад основного матеріалу. Розглядається випадок, коли у мить вмикання стартера кульки обгінної муфти перебувають у нерухомому стані в позах веденої півмуфти. Ведуча півмуфта разом з ротором електродвигуна стартера інтенсивно набуває деякої кутової швидкості ω_1 , а точки внутрішньої циліндричної її поверхні фланця — колову швидкість $V = \omega_1 R$ (R — внутрішній радіус фланця ведучої півмуфти). Під дією стиснутої пружини кульки постійно притиснуті до торця фланця ведучої півмуфти та за першої ж нагоди вкочуються в її пази. Доречно з'ясувати, якою може виявитися тривалість процесу цілковитого западання кульок в пази ведучої півмуфти, а отже загалом тривалість повного вмикання кулькової обгінної муфти. Для спрощення розв'язку задачі прийнято такі припущення: кульки мають форму ідеальної сфери, є абсолютно жорсткими, мають сталу колову швидкість; радіальні, кутові й осьові взаємодії півмуфт, а також відцентрові сили, що діють на кульки, проявляють себе настільки слабо, що ними можна цілком зневажити; жорсткість пружин залишається незмінною, а внутрішнє тертя та поперечні коливання в них не позначаються на русі кульок; контактні деформації у робочих зонах взаємодії кульок з поверхнями пазів є незначними.

Колове переміщення кульки L до повного її входження в зачеплення з ведучою півмуфтою, а отже й тривалість t вмикання муфти залежать від розташування пазів у початкову мить. Відомо, у разі рівномірного руху кульки $L = \omega_1 R t$ ($\omega_1 = \text{const}$), (рис. 1а і б). Можливий випадок, коли натисне кільце при непрацюючому стартері здатне буде перемістити кульку й повернути ненавантажену ведену півмуфту відносно ведучої так, що виникне цілком стійке взаємне розташування пазів півмуфт і кульок (рис. 1в). Саме такому стану муфти надається перевага.

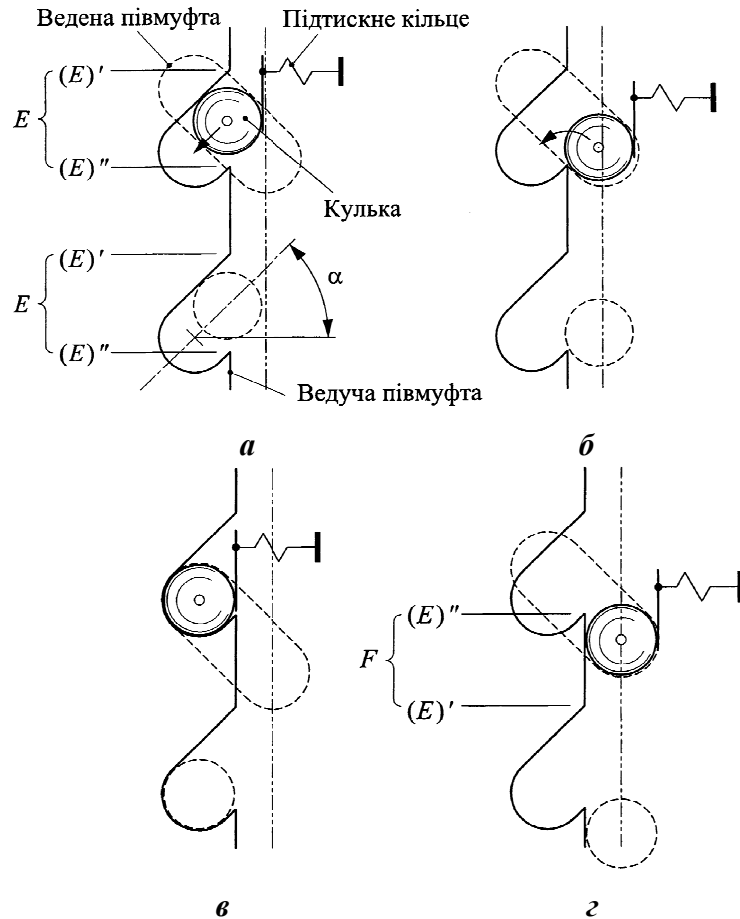


Рисунок 1— Можливі стани кульки перед вмиканням муфти

Кращим випадком є такий, коли кульки перебувають в смугі E навпроти вирізу на торці ведучої муфти, див. рис. 1а. Але на краях (E)' і (E)" смуги E стан кульки можна вважати умовно стійким. Якщо

припустити, що кулька в мить вмикання стартера перебуває у зображеному на рис. 1в стані, то це означає, що муфта вже заздалегідь увімкнена, тоді $L=0$ і $t=0$. Це є найкращий стан муфти. Тут визначено тривалість вмикання обгінної муфти у тому разі, коли центр кульки у початкову мить не розташований навпроти паза торця ведучої півмуфти, див. рис. 1г.

Нехай центр кульки у мить вмикання стартера перебуває в точці A' (рис. 2а), то йому доведеться відтворити траєкторію $A'BCD$ і подолати шлях $L=l_{A'D}$ перш ніж кулька потрапить у стан повного зачеплення і муфта увімкнеться. Якщо центр кульки у мить вмикання стартера перебуває в точці B , тоді цей шлях буде найменшим, тобто $L=l_{BD}=l_{\min}$, а найбільшим — $L=l_{AD}=l_{\max}$. Враховуючи інерційність, дійсна траєкторія руху центра кульки (лінія РТЦ на рис. 2а) може дещо відхилитися від ідеалізованої траєкторії $ABCD$ — тим істотніше, чим більше його маса та менша жорсткість притискної пружини. Для даного випадку цим відхиленням можна знехтувати.

Проектуючи траєкторії руху центру кульки на площину, паралельну до торця ведучої півмуфти (див. рис. 3), отримуємо шлях $l_{\max}=l_{AD}$. Дугам $l_{\max}=l_{AD}$ і $l_{\min}=l_{BD}$ відповідають кути φ_{\max} , φ_{\min} , а якомусь проміжному положенню кульки A' — кут $\varphi_{\min} < \varphi < \varphi_{\max}$ (і час $t_{\min} < t < t_{\max}$).

Відповідно до наведеної на рис. 3 схеми γ — кутовий крок розташування сусідніх пазів у муфті, β — кут, який стягує дуга AB суцільної частини торця ведучої півмуфти на радіусі R внутрішньої її поверхні.

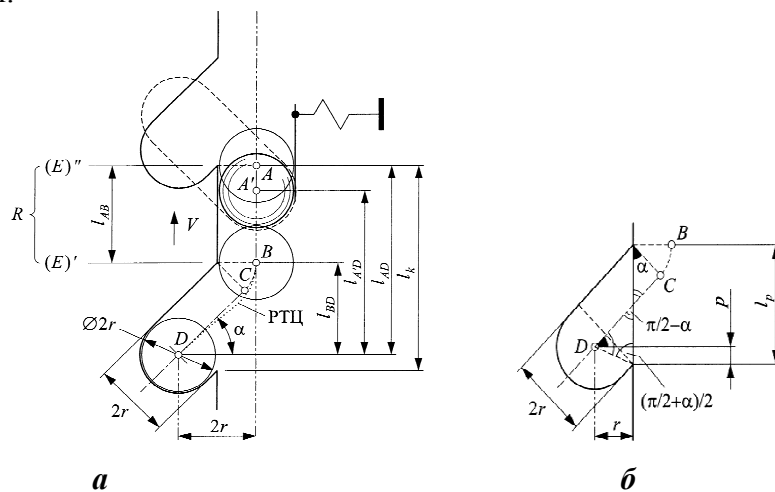


Рисунок 2 —Схема ідеалізованого рух кульки під час вмикання муфти (муфта умовно розгорнута на площині)

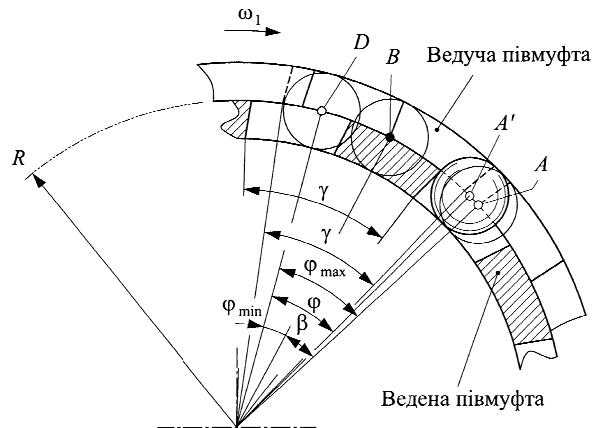


Рисунок 3 — Відносні положення кульки та пазів у муфті (переріз зроблено по торцю ведучої півмуфти)

Із рис.3 легко встановити такі залежності кутів:

$$\varphi_{\max} = \varphi_{\min} + \beta \quad \text{і} \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{2\pi}{z},$$

де z — кількість пазів у кожній півмуфті, що дорівнює кількості кульок у муфті.

Беручи до уваги, що $R \gg r$ (r — радіус кульки), отримаємо такі приблизні співвідношення:

$$l_p = 2 \frac{r}{\cos \alpha}; \quad l_p + l_{AB} = l_k; \quad l_k z = (l_p + l_{AB})z = 2\pi R;$$

$$\beta R = l_{AB} = 2 \frac{\pi R}{z} - l_p = 2r \left(\frac{\pi R}{zr} - \frac{1}{\cos \alpha} \right), \quad (2)$$

де R — радіус, на якому розташовані центри кульок у муфті, $\alpha = \alpha'$ — кут нахилу пазів у півмуфтах). До того ж, із рис. 3 можна записати

$$\frac{r}{p} = \tan \frac{\pi/2 + \alpha}{2},$$

а на підставі цього вивести рівності:

$$l_{\min} = l_{BD} = l_p - p = r \left(\frac{2}{\cos \alpha} - \frac{1}{\tan(\pi/2 + \alpha)/2} \right) \quad (3)$$

та

$$l_{\max} = l_{\min} + l_{AB} = \frac{2\pi R}{z} - \frac{r}{\tan(\pi/2 + \alpha)/2} \quad (4)$$

Із виразу (2) дістанемо

$$\beta = 2 \left(\frac{\pi}{z} - \frac{r}{R \cos \alpha} \right), \quad (5)$$

а з урахуванням (5), визначаємо тривалість пересування центра кульки з положення A в положення B за співвідношенням

$$t_0 = t_{\max} - t_{\min} = \frac{\beta}{\omega_1} = \frac{2}{\omega_1} \left(\frac{\pi}{z} - \frac{r}{R \cos \alpha} \right),$$

бо раніше прийнято таке припущення, що під час вмикання електродвигуна

стартера швидкість обертання його якоря та відповідно й ведучої півмуфти миттєво набуває значення ω_1 і далі в процесі вмикання обгінної муфти вже не змінюється.

Тепер наголошуємо на тому, що траєкторія BCD руху центра кульки в муфті (рис. 3) є довшою за шлях l_{BD} , а отже кулька може зберігати сталою колову швидкість руху V тільки за умови, що вздовж траєкторії BCD лінійна швидкість руху кульки цілком відповідно зростатиме на відрізьку BC цієї траєкторії і залишатиметься сталою, але більшою за значення V , на відрізьку CD . Тому необхідно підтримувати зазначений режим руху кульки натискною пружиною, яка, нагромадивши певний запас потенціальної енергії в попередньому циклі роботи муфти, могли б строго відповідно до припущень вштовхувати кульки в пази ведучої півмуфти.

Із рівняння (3), можна знайти величину кута повороту ведучої півмуфти по відношенню до веденої у такому вигляді

$$\varphi_{\min} = \frac{l_{\min}}{R} = \frac{r}{R} \left(\frac{2}{\cos \alpha} - \frac{1}{\tan(\pi/2 + \alpha)/2} \right) \quad (6)$$

та відповідний мінімальний час вмикання муфти

$$t_{\min} = \frac{\varphi_{\min}}{\omega_1} = \frac{r}{R\omega_1} \left(\frac{2}{\cos \alpha} - \frac{1}{\tan(\pi/2 + \alpha)/2} \right). \quad (7)$$

Подібно, керуючись співвідношенням (4), можна визначити кутовий параметр

$$\varphi_{\max} = \frac{l_{\max}}{R} = \frac{2\pi}{z} - \frac{r}{R \tan(\pi/2 + \alpha)/2} \quad (8)$$

та відповідний йому максимальний час вмикання муфти

$$t_{\max} = \frac{\varphi_{\max}}{\omega_1} = \frac{1}{\omega_1} \left(\frac{2\pi}{z} - \frac{r}{R \tan(\pi/2 + \alpha)/2} \right) \quad (9)$$

Беручи до уваги співвідношення

$$\tan \frac{\pi/2 + \alpha}{2} = \frac{1 + \tan \alpha/2}{1 - \tan \alpha/2} = \frac{\sin \alpha - \cos \alpha + 1}{\sin \alpha + \cos \alpha - 1},$$

вирази (7) та (9) можна записувати у зручному для аналізу вигляді

$$t_{\min} = \frac{\Phi_{\min}}{\omega_1} = \frac{1}{\omega_1} \frac{r}{R} \left(\frac{2}{\cos \alpha} - \frac{1 - \tan \alpha/2}{1 + \tan \alpha/2} \right) \quad (10)$$

;

$$t_{\max} = \frac{\Phi_{\max}}{\omega_1} = \frac{1}{\omega_1} \left(\frac{2\pi}{z} - \frac{r}{R} \frac{1 - \tan \alpha/2}{1 + \tan \alpha/2} \right) \quad (11)$$

Зауважмо, що величина

$$\frac{t_{\max}}{t_{\min}} = \frac{\Phi_{\max}}{\Phi_{\min}} = \frac{2 \frac{R}{r} \frac{\pi}{z} - \frac{1 - \tan \alpha/2}{1 + \tan \alpha/2}}{2 \frac{1}{\cos \alpha} - \frac{1 - \tan \alpha/2}{1 + \tan \alpha/2}}$$

монотонно зростає у разі збільшення параметра $\lambda = R/(rz)$. Не важко з'ясувати також, що із зростанням параметра α збільшується величини Φ_{\min} (чи t_{\min}) і Φ_{\max} (чи t_{\max}).

Можливі стани кульки у мить завершення попереднього циклу роботи обгінної муфти можна вважати однаково ймовірними. Тому доречно запровадити так звану середньоїмовірну тривалість t_{sr} спрацьовування муфти, що, на підставі (1), (5), (10), (11), визначається за такою залежністю

$$t_{sr} = \frac{t_{\min} + t_{\max}}{2} \frac{\beta}{\gamma} = \frac{1}{\omega_1} \frac{\pi}{z} \left(1 + \frac{r}{R} \frac{z}{\pi} \left(\frac{1}{\cos \alpha} - \frac{1}{\tan(\pi/2 + \alpha)/2} \right) \right) \left(1 - \frac{r}{R} \frac{z}{\pi} \frac{1}{\cos \alpha} \right) \quad (12), \text{ або}$$

$$t_{sr} = \frac{1}{\omega_1} \frac{\pi}{z} \left(1 + \frac{z}{\pi} \frac{r}{R} \left(\frac{2 \tan \alpha/2}{1 - \tan^2 \alpha/2} \right) \right) \left(1 - \frac{z}{\pi} \frac{r}{R} \frac{1 + \tan^2 \alpha/2}{1 - \tan^2 \alpha/2} \right), \quad (13)$$

де взято до уваги очевидні співвідношення:

$$\tan \frac{\pi/2 + \alpha}{2} = \frac{1 + \tan \alpha/2}{1 - \tan \alpha/2}; \quad \cos \alpha = \frac{1 - \tan^2 \alpha/2}{1 + \tan^2 \alpha/2};$$

$$\frac{R}{r} = \frac{z}{\pi \cos \alpha}.$$

Отримані співвідношення дають змогу провести кількісний аналіз впливу основних параметрів (R, r, z, α) на тривалість вмикання муфти.

На рис. 4 відображено зміну показників тривалості вмикання муфти залежно від відношення радіусів R/r , при чому $\alpha = 1; 15; 30; 45$ і 60 град, а відповідно - $R/r = 1,59; 1,65; 1,84; 2,25; 3,18$ для кількості кульок $z = 5$. Для прикладу в табл. 1 подібна залежність відображена в

числовій формі у разі конкретно заданих $\alpha = 45$ град і $z = 5$. Можна бачити, що залежності $\varphi = \varphi_{\max}(R/r)$ та $\varphi = \varphi_{\text{sr}}(R/r)$ є монотонно зростаючими, а залежність $\varphi = \varphi_{\min}(R/r)$ — монотонно спадною. Загалом, виглядає доцільним домагання зменшувати відношення R/r .

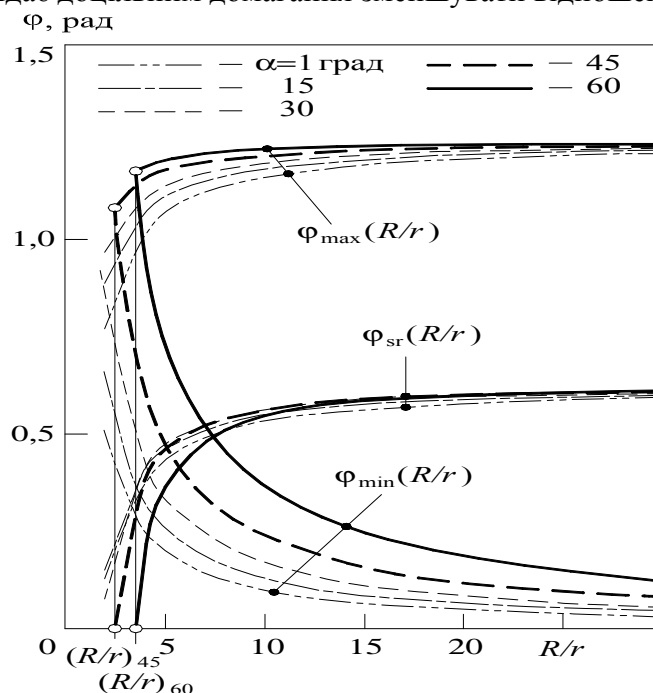


Рисунок 4 — Залежності тривалості вмикавання муфти від відношення радіусів кола центрів кульок та власне кульок

Таблиця 1 — Залежність показників тривалості вмикавання обгінної муфти від відношення радіуса кола центрів кульок до радіуса самих кульок ($\alpha = 45$ град; $z = 5$)

R/r	2	6	10	14	18	22	26	30
φ_{\min} , рад	1,209	0,404	0,242	0,173	0,134	0,110	0,093	0,081
φ_{\max} , рад	1,052	1,189	1,217	1,229	1,235	1,239	1,242	1,244
φ_{sr} , рад	—	0,498	0,565	0,588	0,599	0,606	0,610	0,613

Графічне відображення характеру впливу кута α нахилу пазиw півмуфт на тривалість вмикавання муфти залежно від значення безрозмірного геометричного параметра R/r при незмінній кількості кульок $z = 5$ наведено на рис. 5, а числові значення - в табл. 2.

Із рис. 5 випливає, що у разі $R/r = 2$ існує така орієнтація пазиw $\alpha = \alpha_{02}$, за якої $\varphi_{\max} = \varphi_{\min}$ і $\varphi_{\text{sr}} = 0$. У роботі проаналізовано інші

можливі випадки. Установлено, що у разі $R/r \geq 6$ критичний кут $\alpha = \alpha_0$ перевищує значення $\alpha = 70$ град.

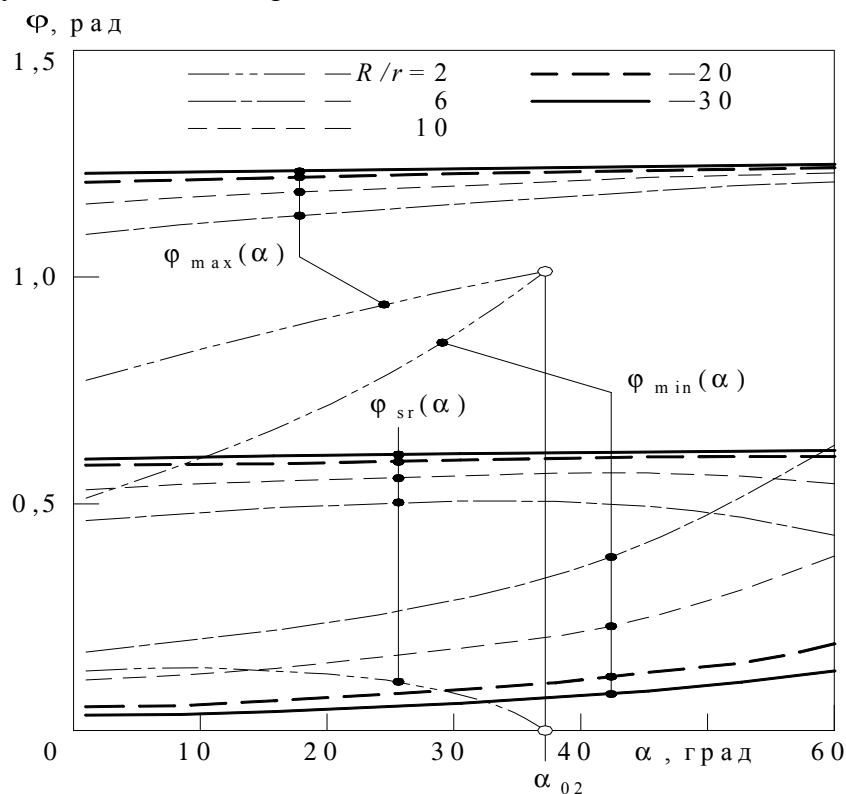


Рисунок 5 — Залежності вимірників тривалості вмикання муфти від кута нахилу пазів

Таблиця 2 — Залежність показників тривалості вмикання обгінної муфти від кута нахилу пазів ($R/r=6; z=5$)

α , град	1	15	30	45	60
φ_{\min} , рад	0,170	0,218	0,289	0,403	0,624
φ_{\max} , рад	1,095	1,130	1,162	1,189	1,214
φ_{sr} , рад	0,465	0,489	0,504	0,498	0,431

У разі збільшення кількості кульок у муфті показники тривалості вмикання φ_{\max} та φ_{sr} монотонно спадають, а от на величині φ_{\min} кількість кульок не впливає (рис. 6, табл. 3). Зрозуміло, що наведені графіки потрібно «читати дискретно», бо тільки цілі значення z мають сенс.

Таблиця 3 — Залежність показників тривалості вмикання обгінної муфти від кількості кульок ($\alpha=45$ град; $R/r=6$)

z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
φ_{\min} , рад	0,40									
φ_{\max} , рад	6,22	3,08	2,03	1,50	1,19	0,98	0,83	0,72	0,63	0,56
φ_{sr} , рад	3,06	1,48	0,94	0,67	0,50	0,38	0,29	0,22	0,17	0,12

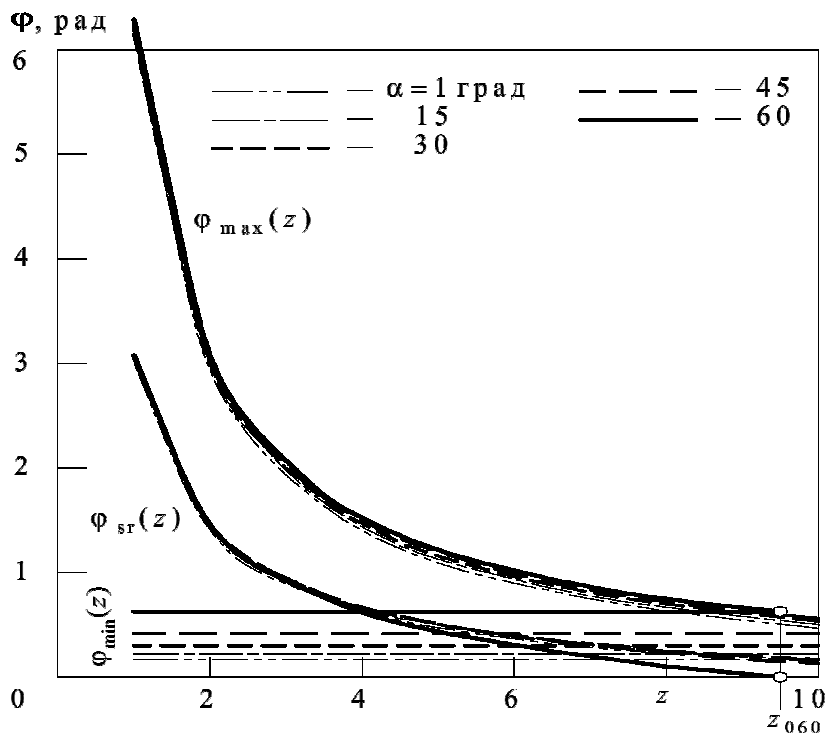


Рисунок 6 — Залежності вимірників тривалості вмикання муфти від кількості кульок у муфті

Висновки

1. У рамках прийнятої концепції тлумачення швидкодії слід розрізняти три різновиди тривалості вмикання муфти: мінімальну $t_{\min} = \varphi_{\min} / \omega_1$, максимальну $t_{\max} = \varphi_{\max} / \omega_1$, середньозважену $t_{sr} = \varphi_{sr} / \omega_1$ (див., (10), (11), (13)).

2. Якщо покласти $\omega_1 = 418,7$ рад/с, то оцінювана тут технічно найнепривабливіша однокулькова муфта виявлятиме динамічні властивості.

3. Отримані величини $t_{\max} = 0,015$ с; $t_{\min} = 9,55 \cdot 10^{-4}$ с; $t_{sr} = 0,0073$ с добре погоджуються з показниками традиційних роликкових муфт. Доведено також, що на тривалість вмикання муфти суттєво впливає й

взаємне початкове розташування пазів ведучої та веденої півмуфт. Наведений матеріал є добрим підґрунтям для подальших досліджень нових кулькових обгінних муфт різноманітних машин і транспортних засобів, які запускаються за допомогою стартерів.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2278-93. Муфти механічні. Терміни та визначення.
2. Заблонский К.И. Детали машин. / К.И. Заблонский // – К.: Вища школа, Главное изд. 1999. – 518с.
3. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. / В.О. Малащенко // – Львів, НУ “Львівська політехніка”, 2006. – 196 с.; 2009. – 208 с.
4. Ряховский О.А. Справочник по муфтам. / О.А. Ряховский, С.С. Иванов // –Л.: Политехника, 1991. – 383с.
5. Патент № 66514А Україна, МКИ F16D41/04. Запобіжна муфта./ Гащук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. // Опубл. 2004. Бюл. №5.
6. Патент № 77435 Україна, МКИ F16D41/04. Запобіжна муфта. / Гащук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. // Опубл. 2006. Бюл. №12.
7. Патент № 30362 Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта. /Малащенко В.В. // Опубл. 2008. Бюл. № 4.
- 8.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.
9. Патент № 64104 Україна, МКИ F16D43/00. Запобіжна муфта. / Малащенко В.О., Малащенко В.В. // Опубл. 2011. Бюл. №20.