

УДК 621.825

І.О. Романчук, В.Р. Пасіка

Українська академія друкарства, м.Львів

УТОЧНЕНИЙ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНОЇ МУФТИ З ДІЛЯНКОЮ КВАЗІНУЛЬОВОЇ ЖОРСТКОСТІ

Розглянуто уточнений розрахунок параметрів пружної компенсуючої муфти з ділянкою квазінульової жорсткості та проведено аналіз зміни крутних моментів муфти в залежності від величини відносних кутів закручування

Ключеві слова: пружна муфта, розрахункова схема, ділянка квазінульової жорсткості, кут повороту, крутний момент.

Перед машинобудівниками поліграфічного устаткування поставлено завдання розвитку сучасної матеріально-технічної бази поліграфічної галузі. Створювані поліграфічні машини та устаткування в сучасних економічних умовах за своїми технічними характеристиками і економічними показниками не повинні поступатися світовим зразкам. Це вимагає вдосконалення методів розрахунку та конструювання технічних об'єктів з метою мінімізації динамічних навантажень в розроблювальних конструкціях поліграфічних машин, що залежить від вивчення й розуміння механічних явищ та динамічних деформуючих процесів.

В поліграфічному виробництві є велика кількість машин з рулононамотувальними секціями різного технологічного призначення: рулонні друкарські машини різних видів друку, ламінатори, бобіно-різальні машини та устаткування для виконання інших операцій поліграфічного циклу. Важливою рисою розвитку ротаційних друкарських машин різних видів друку є тенденція до збільшення їх формату для друкування атласів, каталогів, альбомів, виготовлення рекламної та спеціальної продукції. Це приводить під час зміни режимів роботи до зростання механічних коливань і негативних динамічних явищ в елементах конструкцій. Приводи працюють в широкому діапазоні частот, що постійно збільшується. Вдосконалення динамічних характеристик приводів рулононамотувальних секцій поліграфічних машин можливе за умови їх проектування з визначеними конструктивними параметрами, які забезпечують мінімальні вібрації в основних механізмах при різних робочих режимах експлуатації [2, 6, 7].

Однією з важливих задач машинобудування є розроблення надійних, технологічних та простих в обслуговуванні багатофункціональних пружних компенсуючих муфт, що є ефективним засобом зменшення крутних коливань та динамічних навантажень в кінематичних ланцюгах привідних систем. Цього можна досягти завдяки створенню нових більш вдосконалених конструкцій муфт з вібропогашуючими характеристиками. Невисока точність визначення податливостей муфт інженерними методами, складність визначення їх жорсткісних характеристик зумовлює необхідність проведення теоретичних та експериментальних досліджень у даній області [1, 3, 4].

В попередній роботі [5] запропоновано принципову схему вібропогашуючої муфти з ділянками квазінульової жорсткості і проведено розрахунок її параметрів при умові, що рух точок кріплення основних пружин відбувається по прямій. В даній конструкції поряд із збереженням високої несучої здатності є можливість знизити частоту власних коливань муфти за рахунок конструктивної особливості: між ланками 1 та 2 (рис.1) перпендикулярно до основного пружного зв'язку (пружний елемент C_1) встановлюється зворотний пружний зв'язок з від'ємною жорсткістю (пружний елемент C_2 - монтується з певним стиском). Така схема розташування пружних елементів дає принципову можливість отримати на певних кутах закручування ділянку квазінульової жорсткості.

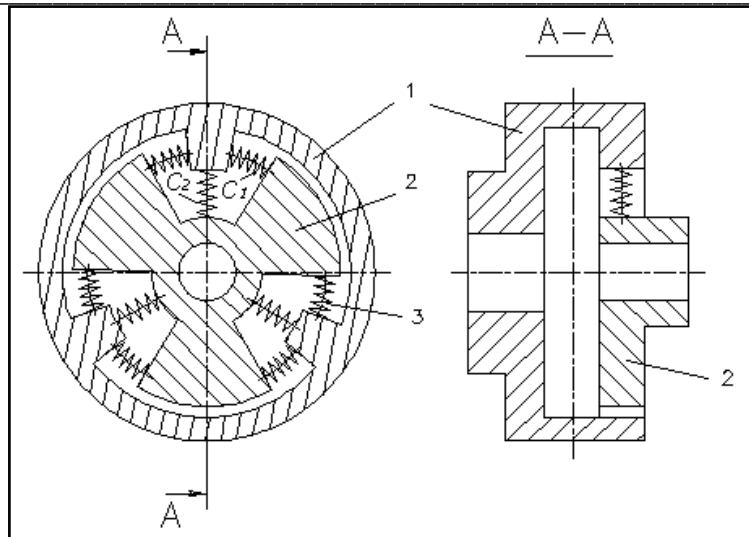


Рис. 1. Принципова схема вібропогашуючої муфти з ділянкою квазінульової жорсткості

Проводимо уточнений розрахунок параметрів муфти при точній постановці задачі: розраховуємо величину крутних моментів за умови, що при деформації пружних елементів точки А і В рухаються по дугах.

Позначення основних вихідних параметрів згідно розрахункової схеми муфти, рис. 2: r – радіус розміщення основних пружних елементів; R_1, R_2 – радіус розміщення кінців коректуючих пружних елементів; $2l = A_1A_2$ – ширина вікна під основні пружні елементи; C_1, C_2 – коефіцієнт жорсткості пружних елементів; δ_0, Δ_0 – попередній стиск, відповідно, I і II пружних елементів. Позначимо $L = R_2 - R_1$.

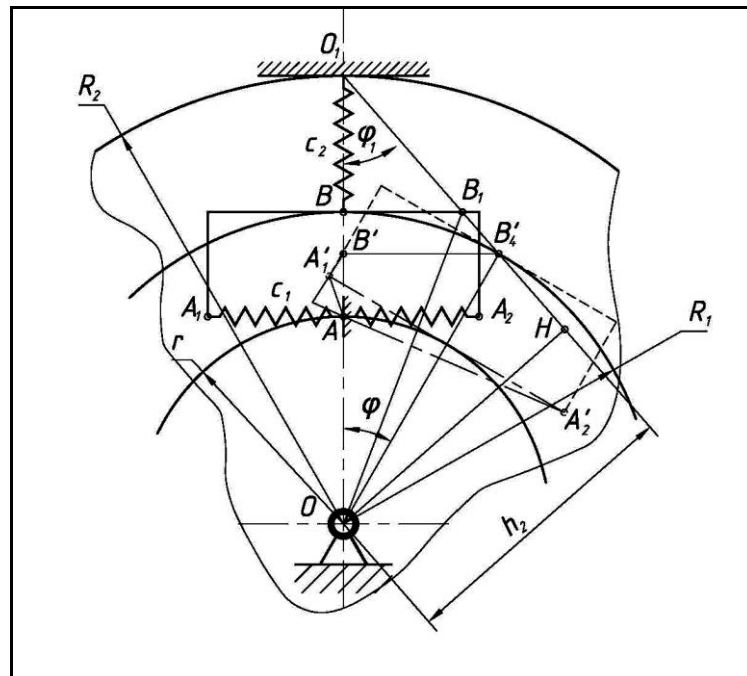


Рис.2. Уточнена розрахункова схема муфти

Момент основних пружин в загальному випадку можна записати:

$$T_1 = T_1' - T_1''$$

де T_1' - крутний момент від дії пружного елемента AA_1

$$T_1' = C_1 h \left[\beta + \left(-AA_1 \right) \right], \quad (1)$$

де T_1'' - крутний момент від дії пружного елемента AA_2

$$T_1'' = C_1 h_1 \left[\beta - \left(AA_2 - l \right) \right]. \quad (2)$$

Виражаємо за допомогою геометричних залежностей та тригонометричних функцій необхідні складові h , AA_1 і h_1 , AA_2 .

Отримуємо залежності:

$$h = \sqrt{l^2 + r^2} \cdot \frac{r}{AA_1} \cdot \sin(\beta - \varphi) = \frac{r\sqrt{l^2 + r^2} \cdot \sin(\beta - \varphi)}{\sqrt{l^2 + 2r^2 - 2\sqrt{l^2 + r^2} \cdot \gamma \cos(\beta - \varphi)}} \quad (3)$$

$$h_1 = \sqrt{l^2 + r^2} \cdot \frac{r}{AA_2} \cdot \sin(\beta + \varphi) = \frac{r\sqrt{l^2 + r^2} \cdot \sin(\beta + \varphi)}{\sqrt{l^2 + 2r^2 - 2r\sqrt{l^2 + r^2} \cdot \cos(\beta + \varphi)}} \quad (4)$$

Підставивши їх у формули (2) і (3) отримуємо

$$T_1' = C_1 \left[\beta + l \left(\frac{h}{h_1} - r\sqrt{l^2 + r^2} \cdot \sin(\beta - \varphi) \right) \right] \quad (5)$$

$$T_1'' = C_1 \left[\beta + l \left(\frac{h_1}{h} - r\sqrt{l^2 + r^2} \cdot \sin(\beta + \varphi) \right) \right] \quad (6)$$

Тоді вираз для моменту T_1 набуває вигляду:

$$T_1 = T_1' - T_1'' = \tilde{N}_1 \left[\beta + l \left(\frac{h}{h_1} - h_1 \right) + 2r\sqrt{l^2 + r^2} \cdot \cos\beta \cdot \sin\varphi \right] \quad (7)$$

Виражаємо різницю $h - h_1$ рівнянням:

$$h - h_1 = r \left[\frac{l \cos\varphi - r \sin\varphi}{AA_1'} - \frac{l \cos\varphi + r \sin\varphi}{AA_2'} \right] \quad (8)$$

Підставляємо вираз (9) у формулу (8) та отримуємо кінцеву формулу для моменту основних пружин:

$$T_1 = 2C_1 r^2 \sin\varphi + C_1 r \left[\beta + l \right] \left[\frac{l \cos\varphi - r \sin\varphi}{AA_1'} - \frac{l \cos\varphi + r \sin\varphi}{AA_2'} \right] \quad (9)$$

де значення для складових AA_1' і AA_2' у виразах:

$$AA_1' = \sqrt{l^2 + 2r^2 - 2\sqrt{l^2 + r^2} \cdot r \cos(\beta - \varphi)}$$

$$AA_2' = \sqrt{l^2 + 2r^2 - 2\sqrt{l^2 + r^2} \cdot r \cos(\beta + \varphi)}$$

При умові $tg\beta = \frac{l}{r}$ отримуємо:

$$AA_1' = \sqrt{l^2 + 2r \left(-r \cos\varphi - l \sin\varphi \right)}$$

$$AA_2' = \sqrt{l^2 + 2r \left(-r \cos \varphi + l \sin \varphi \right)}$$

Момент компенсуючих пружин запишемо у вигляді виразу:

$$T_2 = C_2 \left[\Delta - \left(O_1 B_1' - L \right) \right] h_2 = C_2 \left(\Delta + L - O_1 B_1' \right) h_2 \quad (1)$$

Визначаємо з розрахункової схеми

$$O_1 B_1' = \frac{L + BB'}{\cos \varphi_1} = \frac{L + R_1 \left(-\cos \varphi \right)}{\cos \varphi_1} \quad (2)$$

З трикутників $\Delta O_1 B_1' B_1'$ і $\Delta O B' B_1'$ маємо:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot O_1 B_1' = \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot O B' \rightarrow \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{O B'}{O_1 B_1'} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3)$$

де значення відрізків $O B'$ і $O_1 B_1'$ запишемо у вигляді рівнянь:

$$O B' = R_1 - B B' = R_1 - R_1 \left(-\cos \varphi \right) = R_1 \cos \varphi \quad (4)$$

$$O_1 B_1' = L + B B' = L + R_1 \left(-\cos \varphi \right) \quad (5)$$

Підставляємо їх у формулу (3):

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{R_1 \cos \varphi}{L + R_1 \left(-\cos \varphi \right)} \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{R_1 \cos \varphi}{L + R_1 \left(-\cos \varphi \right)} \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{R_1 \sin \varphi}{L + R_1 \left(-\cos \varphi \right)} \quad (6)$$

Вираз для $\operatorname{tg} \varphi_1$ підставляємо у формулу (2) та отримуємо:

$$O_1 B_1' = \frac{L + R_1 \left(-\cos \varphi \right)}{1} = \sqrt{\left[L + R_1 \left(-\cos \varphi \right) \right]^2 + R_1^2 \sin^2 \varphi} \\ \sqrt{1 + \frac{R_1^2 \sin^2 \varphi}{\left[L + R_1 \left(-\cos \varphi \right) \right]^2}}$$

Після спрощення виразу:

$$O_1 B_1' = \sqrt{L^2 + 2R_1 \left(R_1 + L \right) \left(-\cos \varphi \right)} \quad (7)$$

З трикутника $\Delta O O_1 H_2$ визначаємо катет h_2 :

$$\frac{h_2}{R_2} = \sin \varphi_1 \rightarrow h_2 = R_2 \sin \varphi_1$$

$$h_2 = R_2 \cdot \frac{R_1 \sin \varphi}{L + R_1 \left(-\cos \varphi \right)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R_1^2 \sin^2 \varphi}{\left[L + R_1 \left(-\cos \varphi \right) \right]^2}}} = \frac{R_1 R_2 \sin \varphi}{\sqrt{L^2 + 2R_1 R_2 \left(-\cos \varphi \right)}} \quad (8)$$

Підставляємо рівняння (7) і (8) у формулу (1) та отримуємо кінцеву формулу для моменту компенсуючих пружин:

$$T_2 = C_2 \left[L + L - \sqrt{L^2 + 2R_1 R_2 \left(-\cos \varphi \right)} \right] \cdot \frac{R_1 R_2 \sin \varphi}{\sqrt{L^2 + 2R_1 R_2 \left(-\cos \varphi \right)}}$$

Після спрощення вираз набуває вигляду:

$$T_2 = C_2 R_1 R_2 \sin \varphi \cdot \left[\frac{\Delta + L}{\sqrt{L^2 + 2R_1 R_2 \left(-\cos \varphi \right)}} - 1 \right] \quad (9)$$

Загальний крутний момент, який виникає в муфті (момент комбінованої муфти) при закручуванні на кут φ знаходимо за формулою:

$$T = T_1 - T_2 \quad (10)$$

де T_1 і T_2 вираховуємо за формулами (0) та (6). Підставляємо їх та отримуємо вираз для обчислення сумарного моменту муфти:

$$T = 2C_1 r^2 \sin \varphi + C_1 r \left(l + \left[\frac{l \cos \varphi - r \sin \varphi}{\sqrt{l^2 + 2r \cos \varphi - r \cos \varphi - l \sin \varphi}} - \frac{l \cos \varphi + r \sin \varphi}{\sqrt{l^2 + 2r \cos \varphi + l \sin \varphi}} \right] - C_2 R_1 R_2 \sin \varphi \cdot \left[\frac{\Delta + L}{\sqrt{L^2 + 2R_1 R_2 \cos \varphi}} - 1 \right] \quad (1)$$

Розрахунки числових значень крутних моментів комбінованої муфти та побудову графіків їх залежності від кута закручування проводимо в пакеті програми MATLAB R2006a (рис.3).

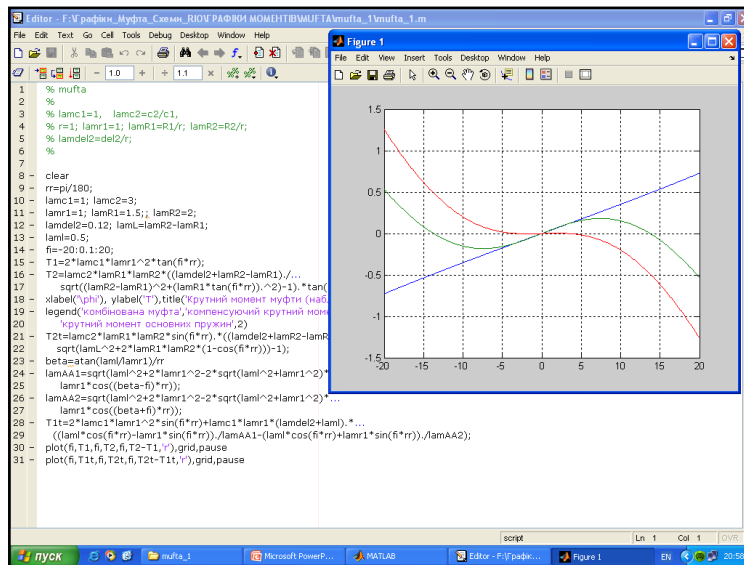


Рис.3. Робоче вікно програми MATLAB

По одержаних результатах уточненого та наближеного розрахунку будуюмо порівняльні графіки крутного моменту комбінованої муфти (рис.4) при сталих вихідних параметрах.

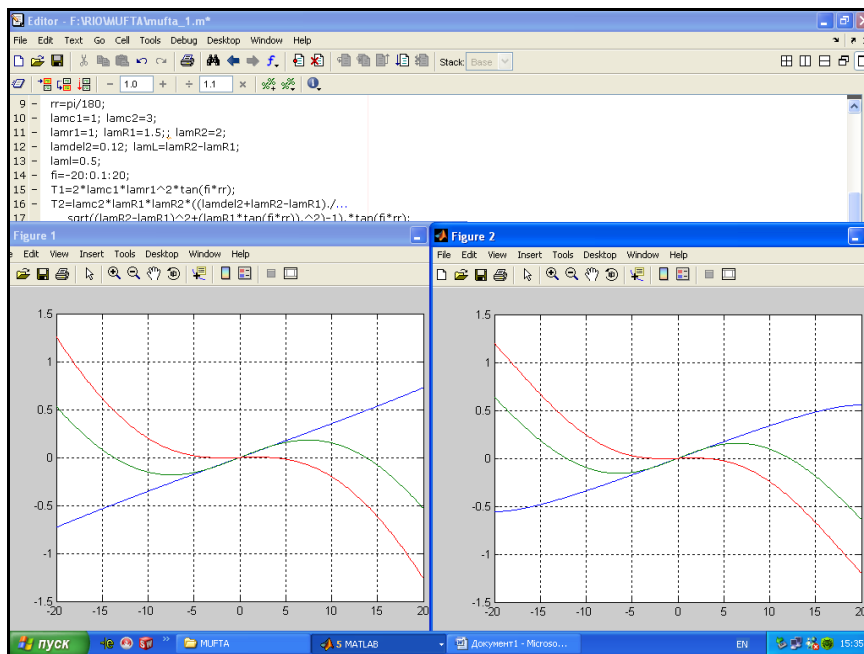


Рис.4. Порівняння графіків наближеного та уточненого розрахунків

Графіки мають певну відмінність; крутні моменти при уточненому розрахунку (правий графік – Figure 2) є більш плавними і мають менші числові значення – муфта є менше навантажена.

Побудуємо зведений порівняльний графік крутного моменту комбінованої муфти (рис.5) по результатах проведених досліджень.

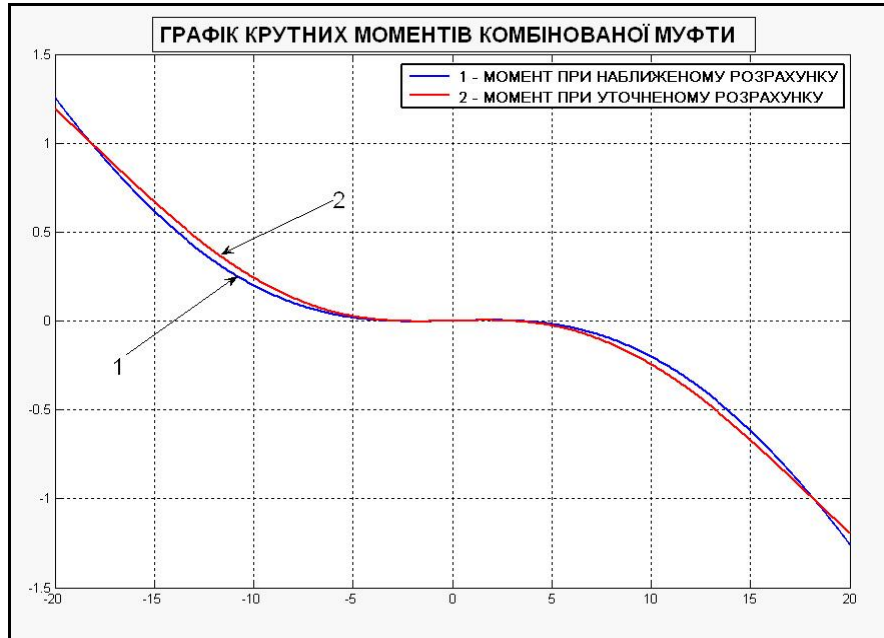


Рис.5 Порівняльний графік моментів муфти

На обох графіках виділяється прямолінійна ділянка в межах кута закручування муфти φ від -5° до $+5^{\circ}$. Це отримана ділянка квазінульової жорсткості комбінованої муфти на якій відбувається зрівноважування діючих моментів та затухання крутильних коливань.

Досліджувана муфта при певних розрахункових параметрах може задавати приводній системі необхідну величину крутильної жорсткості і суттєво впливати на її загальні динамічні характеристики. Завдяки наявності ділянки квазінульової жорсткості знижується частота власних коливань муфти. Вона здатна ефективно захистити приводи високо навантажених машин від резонуючих динамічних навантажень, може гасити збурення в широкому діапазоні частот і одночасно забезпечувати необхідні силові характеристики приводів. Комбінована муфта має ряд певних переваг, чим відрізняється від пружних компенсуючих муфт інших видів та конструкцій.

За отриманими в результаті досліджень розрахунковими параметрами було спроектовано і створено в програмі AutoCAD твердотільну 3D модель комбінованої муфти (рис.6) з метою подальшого дослідження її жорсткісних і динамічних характеристик.

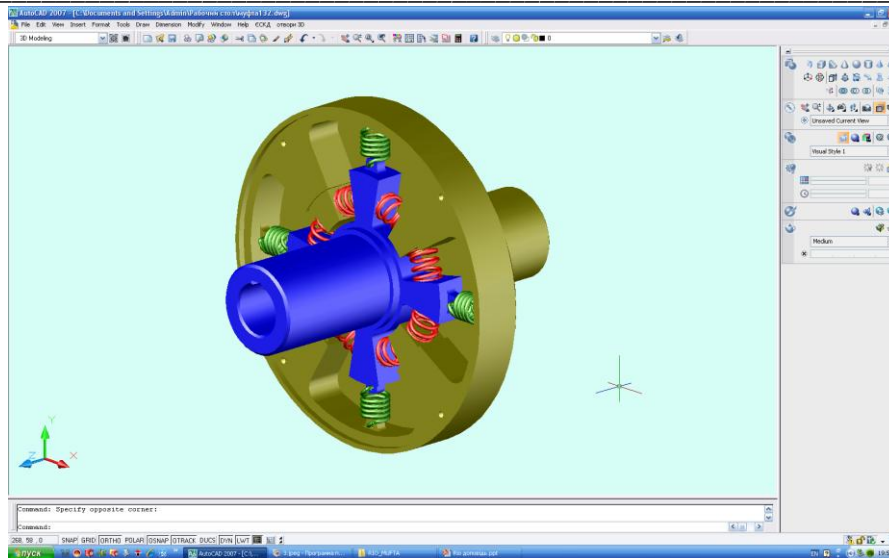


Рис.6 Твердотільна 3D модель комбінованої муфти

Проведені дослідження запропонованої комбінованої муфти та аналіз результатів розрахунків отриманих рівнянь за принципово новою розрахунковою схемою підтверджують доцільність продовження робіт для подальшого комплексного проектування муфт з ділянкою квазінульової жорсткості для широкого застосування в різноманітних приводних системах машинобудівних галузей промисловості.

1. Архангельский Г.В. Эффективность использования упругой муфты с расширенным участком квазиулевой жесткости/ Г.В.Архангельский // Детали машин: Респ. межвед. науч.-техн. сб. — К.: Техника, 1990. — Вып. 51. — С. 17 — 22.
2. Богачев В.Н. Создание и исследование упругой муфты с повышенной компенсирующей способностью: дис. кандидата техн. наук: 05.05.06/ Богачев В.Н. — М., 1983. — 178 с.
3. Малащенко В.О. Муфты приводів. Конструкції та приклади розрахунків / Малащенко В.О. — Львів: Видавництво НУЛП, 2006. — 196 с.
4. Панов С.Л. Исследование влияния параметров упругой муфты квазиулевой жесткости на ее характеристики/ С.Л. Панов // Вестн. Харьк. политехн. ин-та. Сер. Машиностроение. — Харьков, 1978. — Вып. 9 — С.46—53.
5. Романчук І.О. Розробка конструкції пружної муфти для захисту приводів поліграфічних машин від резонансних крутильних коливань/ Романчук І.О., Пасіка В.Р. // Поліграфія і видавнича справа: наук.- техн..зб. — 2011. — №3 (55). — С. 28—32
6. Сидоренко И.И. Защита приводов машинных агрегатов от динамических нагрузок с помощью муфты управляемой жесткости/ И.И. Сидоренко // Детали машин: Респ. межвед. науч.-техн. сб. — К.: Техника, 1990. — Вып. 50. — С. 77—81.
7. Харченко С.В. Зниження віброактивності приводних систем шляхом застосування пружних муфт квазінульової жорсткості/ С.В. Харченко, К.К. Колесник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2003. — №5. — С. 66—72.