УДК 621.825.5/.7
Проценко В.О., к.т.н.; Клементьєва О.Ю.
Херсонська державна морська академія

ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАЗІНУЛЬОВИХ МУФТ З КАНАТНИМИ ПРУЖНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ СТИСКАННЯ

Анотація. *Робота відноситься до галузі машинознавства та деталей машин. В ній за рахунок виконання теоретичних досліджень розкрито вплив на характеристику муфт з торцевою установкою пружних елементів оснащення їх канатними пружними елементами стискання. Виконане порівняння характеристик муфт з хордальним та тангенціальним розташуванням канатів та гвинтових пружин при їх стисканні. Показано, що оснащення муфт канатними пружними елементами стискання дозволяє забезпечити на їх характеристиці ділянку квазінульової жорсткості.*
Ключові слова: *муфта, канат, колова сила, момент, навантаження, жорсткість.*

Аннотация. *Работа относится к области машиноведения и деталей машин. В ней за счет выполнения теоретических исследований раскрыто влияние на характеристику муфт с торцевой установкой упругих элементов оснащения их канатными упругими элементами сжатия. Выполнено сравнение характеристик муфт с хордальным и тангенциальным расположением канатов и винтовых пружин при их сжатии. Показано, что оснащение муфт канатними упругими элементами сжатия позволяет обеспечить на их характеристике участок квазинулевой жесткости.*
Ключевые слова: *муфта, канат, окружная сила, момент, нагрузка, жесткость.*

Annotation. *Operation treats to area of machinery and parts of machines. It by performing theoretical studies revealed the influence on the characteristic of coupling with the end of the elastic elements of the installation of equipment of their rope elastic compression elements. The comparison of the characteristics of couplings with chordal and tangential arrangement of ropes and coil springs when they are compressed. It is shown that the equipment of the cable couplings elastic compression elements ensures their characteristic portion quasi-zero rigidity.*
Keywords: *coupling, rope, environing force, torque, load, rigidity.*

Вступ. Підвищення динамічності машин у всіх галузях промисловості вимагає від інженерів творчого пошуку та досліджень у напрямку створення конструкцій та обґрунтування параметрів муфт

здатних гасити перевантаження будь-якої природи, що виникають у приводах цих машин. Перспективними для цього є муфти, що мають ділянку квазінульової жорсткості на характеристиці, що доведено вже багатьма дослідниками, тому подальше накопичення масиву знань про такі конструкції за рахунок виконання нових досліджень може стати джерелом для їх впровадження у приводи нових машин і становить важливу задачу.

Аналіз виконаних досліджень та постановка задачі. Еволюція квазінульових муфт, оснащених гвинтовими пружинами стискання, почалася за рахунок удосконалення муфт з хордально розташованими пружинами типу «Карделіс». Одними з піонерів у дослідженні квазінульових муфт можна вважати представників Харківської школи на чолі з проф. М.Ф. Кіркачем. Під його керівництвом учнями В.С. Гапоновим, С.Л. Пановим, В.М. Рогачевським та ін. [1-3] обґрунтовані основні параметри таких муфт «осьового» та «радіального» типів, оснащених гвинтовими пружинами, при чому в муфтах другого типу пружини були розташовані тангенціально у площині перпендикулярній осі муфти. Робота по дослідженню вказаних муфт та інших подібних пристроїв була продовжена професорами Ф.К. Іванченком [4], Г.В. Архангельським [5-6], С.Г. Нагорняком [7, 8], І.І. Сидоренком [9], Є.В. Харченком [10-11] та ін. Останнім часом проф. В.Р. Пасікою та І.О. Романчуком [12] виконуються роботи в яких досліджується муфта нової конструкції, що містить дві групи пружин – розташовані по відношенню до напівмуфт хордальні, по типу муфти «Карделіс», та розташовані радіально. В той же час, використання в якості пружних елементів муфт сталевих канатів на сьогодні досліджено недостатньо, тому авторами в даній роботі поставлено за **мету** виконати оцінку перспективності застосування в муфтах канатів, що працюють на стискання, за рахунок отримання характеристик оснащених ними муфт.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо спершу роботу муфти з торцевою установкою пружних елементів хордального розташування при роботі пружних елементів на стискання.

Для побудови характеристики муфти, розглянемо її розрахункову схему (рис. 1). При передачі муфтою обертального моменту T на затискному елементі *2*, що закріплений у фланці ведучої напівмуфти (на рисунку не показаний) виникає сила F_{cm}, яка стискає канат і передається на затискний елемент *1*, що закріплений у фланці веденої напівмуфти, створюючи на ній обертальний момент.

ISSN 2311-0368 (Print)
ISSN 2409-1049 (Online)

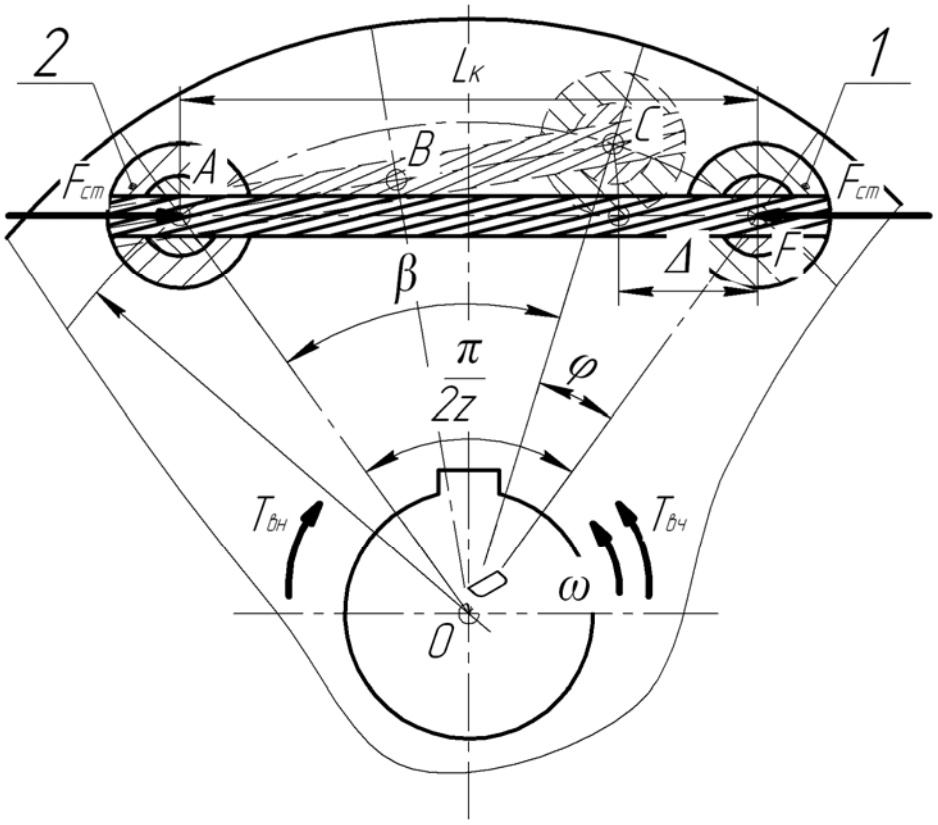

Рис. 1 - Розрахункова схема муфти
з хордальним розташуванням пружних елементів

Сила стискання канатів F_{cm} залежить, від величини кута β:

$$F_{cm} = \frac{2T}{zD\cos(\beta/2)}, \quad (1)$$

де z – кількість канатів;
D – діаметр розташування канатів.

Для муфти в ненавантаженому стані (положення показане на рис. 1 суцільними лініями) справедливо, що $\beta = \pi/z$. Із прикладенням до муфти обертального моменту довжина кожного каната $L_к$ зменшиться на величину його лінійної деформації Δ, при цьому відбудеться закручування напівмуфт на кут φ, а центральний кут β набуде величини $\beta = \pi/z - \varphi$ (положення показане на рис. 1 штриховими лініями). Для цього випадку, з трикутника OBC:

$$\sin\frac{\beta}{2} = \frac{AB}{OA} = \frac{L_к - \Delta}{2} \times \frac{2}{D} = \frac{L_к - \Delta}{D}, \quad (2)$$

$$\beta_i = 2\arcsin\frac{L_к - \Delta_i}{D}, \quad (3)$$

$$\varphi_i = \frac{\pi}{z} - \beta_i = \frac{\pi}{z} - 2\arcsin\frac{L_к - \Delta_i}{D}. \quad (4)$$

Перетворивши формулу (1) відносно моменту T, з урахуванням виразів (2)-(4), отримаємо формулу для визначення пружного моменту муфти з хордальним розташуванням пружних елементів:

$$T_{xi} = \frac{zF_{cm}D\cos(\arcsin\frac{L_к - \Delta_i}{D})}{2}. \quad (5)$$

Для побудови характеристики муфт, оснащених канатами, вивчали жорсткість при стисканні дослідного зразка каната діаметром $d_к$ = 6 мм конструкції (6×19 + о.с.) (діаметр дротин δ = 0,38 мм, довжина $L_к$ = 33). Результати експерименту наочно демонструє побудований на рис. 2 графік, з якого видно, що канат при стискання має власну нелінійну «м'яку» характеристику, що апроксимується рівнянням (6).

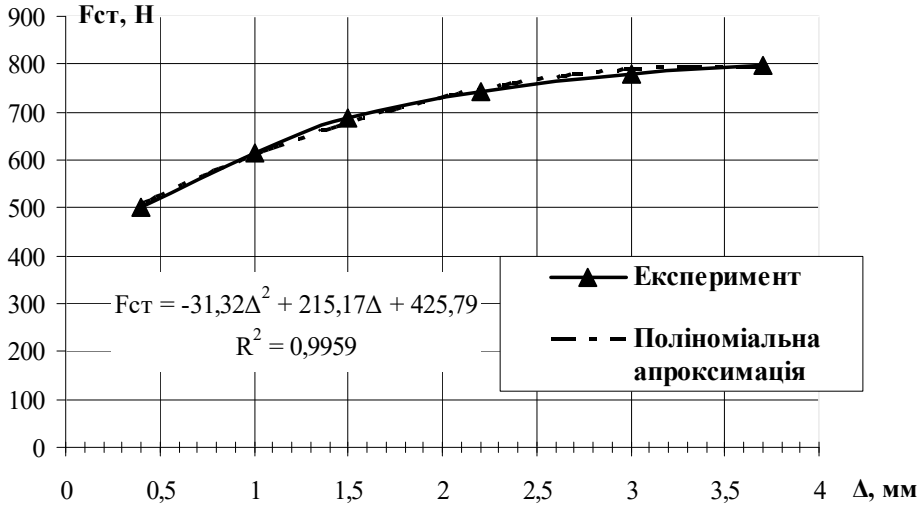

Рис. 2 - Залежність пружної сили сталевого каната від деформації при стисканні

$$F_{cm} = -31,32\Delta^2 + 215,17\Delta + 425,79. \quad (6)$$

Після підстановки у вираз (5) формули поліноміальної апроксимації (6) залежності пружної сили каната F_{cm} від лінійної його деформації Δ_i, стало можливим виконати побудову характеристику муфти при її закручуванні в напрямку стискання канатів. Чисельне моделювання за отриманими формулами виконували для муфт у яких z = 4, D = 145 мм. Першу модельну муфту передбачали оснащувати канатними пружними елементами стискання, що їх характеристика відповідає рівнянню (6), а другу – гвинтовими пружинами стискання жорсткістю c = 145 Н/мм. На рис. 3 показані результати моделювання

характеристик муфт з хордальним розташуванням пружних елементів різного роду – канатів та пружин.

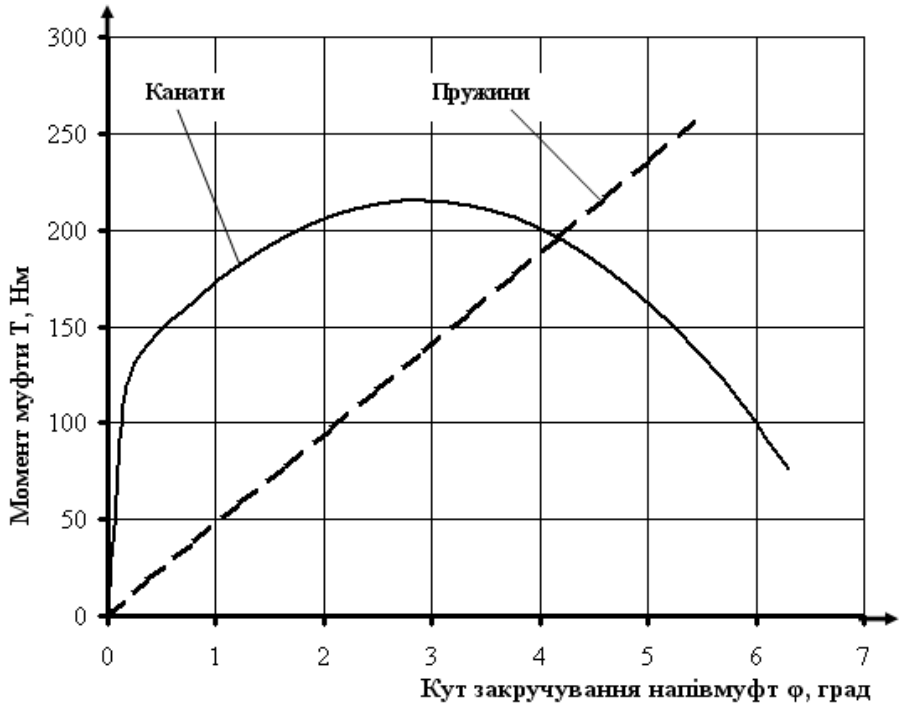

Рис. 3 - Характеристики муфт
з хордальним розташуванням пружних елементів

Дані рис. 3 дають можливість зробити висновок, що канатні пружні елементи, за рахунок їх змінної жорсткості при стисканні, можуть забезпечити муфті нелінійну «м'яку» характеристику навіть при хордальному їх розташуванні, на відміну від гвинтових пружин постійної жорсткості. Це, разом із висновком про більшу навантажувальну здатність муфт з хордальним розташуванням пружних елементів у порівнянні з муфтами із тангенціальним їх розташуванням, дає можливість рекомендувати застосовувати такі муфти при обмеженні радіальних габаритів. В той же час, муфта оснащена канатними пружними елементами хордального розташування має більшу площу під кривою навантаження порівняно з муфтою, що оснащена пружинами, це означає її більшу енергоємність та перспективність для захисту від ударних навантажень.

Розрахункова схема муфти з тангенціальним розташуванням пружних елементів показана на рис. 4. Для цієї муфти справедливі наведені викладки щодо механізму передачі обертального моменту, однак геометрично-силові параметри вона має дещо відмінні від попередньої конструкції.

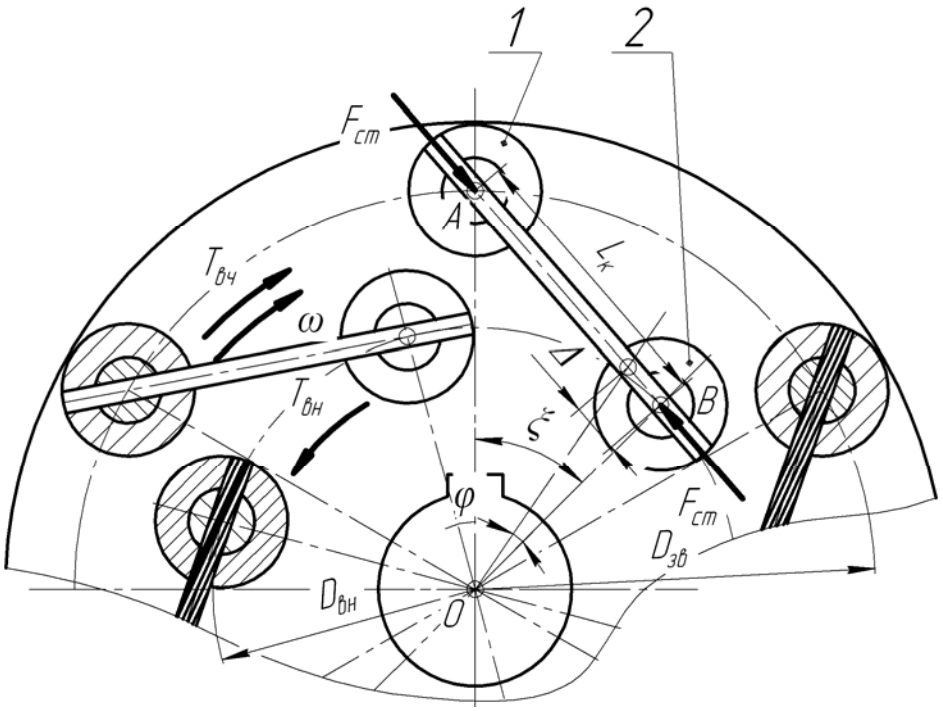

Рис. 4 - Розрахункова схема муфти
з тангенціальним розташуванням пружних елементів

Одним з основних параметрів такої муфти є кут монтажного зміщення напівмуфт ξ, що пов'язаний з іншими геометричними параметрами (трикутник *OAB*) залежністю (7):

$$\cos\xi = \frac{0,25(D_{зв}^{\ 2} + D_{вн}^{\ 2}) - L_к^{\ 2}}{0,5D_{зв}D_{вн}}. \qquad (7)$$

При деформуванні каната на величину Δ_i значення кута ξ_i становитиме:

$$\xi_i = \arccos\left(\frac{0,25(D_{зв}^{\ 2} + D_{вн}^{\ 2}) - (L_к - \Delta_i)^2}{0,5D_{зв}D_{вн}}\right). \qquad (8)$$

А пружний момент муфти при стисканні канатів набуде значення:

$$T_{mi} = \frac{zF_{ст}D_{зв}D_{вн}\sin\xi_i}{4(L_к - \Delta_i)}. \qquad (9)$$

Кут закручування муфти φ_i при цьому становитиме:

$$\varphi_i = \xi - \xi_i. \qquad (10)$$

За отриманими залежностями можна виконувати оцінку характеристики муфти $T = f(\varphi)$. Чисельне моделювання за отриманими формулами виконували для муфт у яких $z = 4$, $D_{зв} = 145$ мм, $D_{вн} = 95$ мм, $\xi = 25^o$. Першу модельну муфту також передбачали оснащувати

канатними пружними елементами стискання, що їх характеристика відповідає рівнянню (6), а другу – гвинтовими пружинами стискання жорсткістю c = 145 Н/мм.

Результати моделювання представлені на рис. 5. Характеристика муфти оснащеної канатами показана суцільною лінією, а оснащеної пружинами – пунктирною.

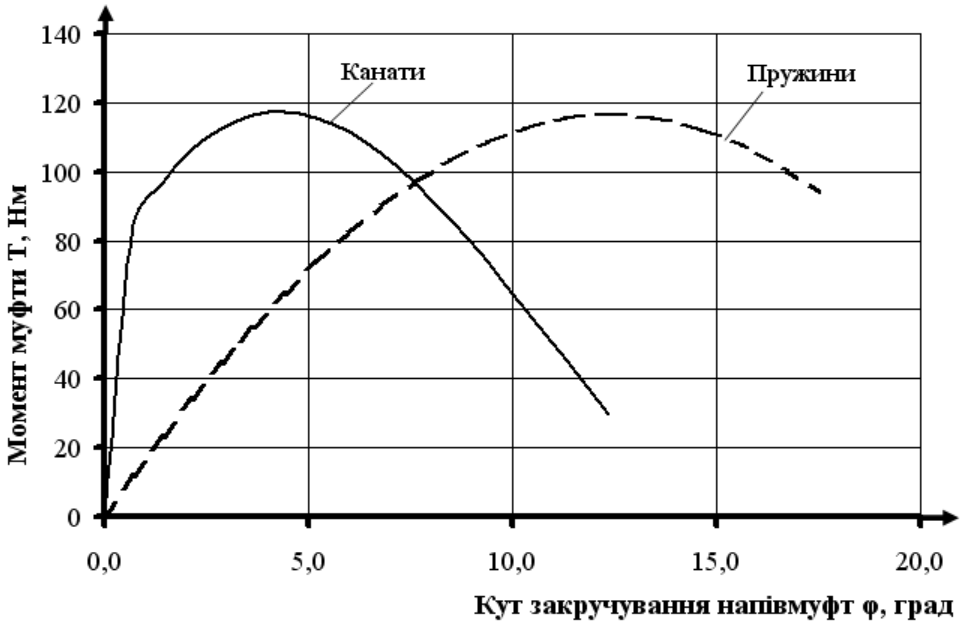

Рис. 5 - Характеристики муфт з торцевою установкою канатів та пружин тангенціального розташування

Аналіз графіка на рис. 5 дає можливість стверджувати, що при рівній навантажувальній здатності муфта з тангенціальним розташуванням пружин має більшу енергоємність за рахунок більшої площі під кривою навантаження та меншу середню жорсткість ніж аналогічна муфта, оснащена канатами. Проте, за рахунок практичної відсутності демпфування у пружин, муфти оснащені ними матимуть різку віддачу. Кут закручування, що відповідає ділянці квазінульової жорсткості у канатної муфти лежить ближче до початку характеристики, ніж у муфти оснащеної пружинами, що може стати додатковою причиною зниження динамічності приводу через менше значення накопиченої муфтою потенційної енергії.

В результаті виконаних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Канатні пружні елементи, за рахунок їх змінної жорсткості при стисканні, можуть забезпечити муфті нелінійну м’яку характеристику навіть при хордальному їх розташуванні по типу муфти «Карделіс», на відміну від гвинтових пружин постійної

жорсткості, установка яких забезпечує муфті лінійну жорстку характеристику.

2. При рівній навантажувальній здатності, муфта оснащена канатними пружними елементами хордального розташування, що працюють на стискання, має більшу енергоємність ніж муфта з пружинами, а відтак перспективність для захисту від ударних навантажень.

3. При рівній навантажувальній здатності муфта з тангенціальним розташуванням пружин стискання має більшу енергоємність за рахунок більшої площі під кривою навантаження та меншу середню жорсткість ніж аналогічна муфта, оснащена канатами.

4. Кут закручування, що відповідає ділянці квазінульової жорсткості у канатної муфти лежить ближче до початку характеристики, ніж у муфти оснащеної пружинами, що може стати додатковою причиною зниження динамічності приводу через менше значення накопиченої муфтою потенційної енергії.

5. Муфти оснащені пружинами мають незначне демпфування, на відміну від канатних муфт, що формує умови для подальших досліджень.

Напрямки подальших досліджень:

1. Оцінка гістерезису в пружних муфтах з канатними елементами.

2. Оцінка впливу попередньої деформації канатів на їх жорсткість та демпфування.

3. Оцінка впливу установки канатних муфт на динаміку машинного агрегату.

4. Оцінка впливу конструкції затискних елементів канатів на характеристики оснащених ними муфт.

5. Створення нових конструкцій канатних муфт з розширеними функціональними характеристиками.

6. Розвиток системних методів синтезу структури пружних ланок машин.

7. Розроблення методик проектування пружних ланок машин оснащених канатними елементами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Панов С.Л. Исследование упругих муфт квазинулевой жесткости: автореферат дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.02 – машиноведение и детали машин / С.Л. Панов. – Харьков, 1979. – 24 с.

2. Рогачевский В.М. Исследование переходных режимов в силовых передачах с упругими муфтами квазинулевой жесткости: спец. 05.02.02 – машиноведение и детали машин / В.М. Рогачевский. – Харьков, 1981. – 19 с.

3. Киркач Н.Ф. Определение аналитического выражения для упругого момента в муфте с промежуточным барабаном / Н.Ф. Киркач, Л.В. Курмаз, А.В. Шаранов, А.Н. Гармашов // Детали машин. – 1986. – Вып. 43. – С. 29-32.

4. Иванченко Ф.К. О влиянии эксцентриситета между полумуфтами на характеристику упругой муфты / Ф.К. Иванченко, С.Л. Панов // Детали машин. – 1983. – Вып. 37. – С. 26-28.

5. Нагорняк С.Г. Разработка и исследование нових конструкций кулачковых, зубчатых и фрикционных предохранительных муфт: спец. 05.02.02 – машиноведение и детали машин / С.Г. Нагорняк. – К., 1977. – 219 с.

6. Нагорняк С.Г., Луцив И.В. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования: Справочник. –К.: Тэхника, 1992. – 72 с.

7. Архангельский Г.В. Эффективность использования упругой муфты с раширенным участком квазинулевой жесткости / Г.В. Архангельский // Детали машин. – 1990. – Вып. 51. – С. 17-22.

8. Архангельский Г.В. Некоторые вопросы динамики машин / Г.В. Архангельский. - Одесса: Наука и техника, 2010. - 88 с.

9. Сидоренко І.І. Розроблення пружних муфт з механічним зворотнім зв’язком крутильної жорсткості за крутильним моментом, що передається: автореферат дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.02 – машинознавство та деталі машин / І.І. Сидоренко. – Одеса, 1994. – 18 с.

10. Колесник К.К. Зниження віброактивності привідних систем з пружними муфтами: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.09 – динаміка та міцність машин / К.К. Колесник. – Львів, 2003. – 20 с.

11. Ковальчук Р.А. Обґрунтування раціональних режимів пуску насосних агрегатів бурових установок: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.09 – динаміка та міцність машин / Р.А. Ковальчук – Львів, 2008. – 20 с.

12. Пасіка В.Р. Побудова скелетних кривих пружної муфти з ділянкою квазінульової або від’ємної жорсткості / В.Р. Пасіка, І.О. Романчук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – Львів, 2013. – № 759. – С. 79-84.