

**БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА РОЗРАХУНКИ  
ІНЕРЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВОЇ ПРУЖНОЇ МУФТИ**

*В роботі описана будова та принцип передавання обертального моменту інерційно-відцентровою муфтою, визначені маси інертності муфти і вантажів для створення поперечної та поздовжньої сил на канати і моменту їх закручування, наведений розрахунок несамогальмівних різьб, канатів і їх з'єднань.*

*Ключові слова: муфта, інертність, маса, канат, несамогальмівна різьба.*

V.M. STRILETS, V.A. FEDORUK, O.R. STRILETS, R.V. KOVALCHUK  
National University of Water Management And Nature Resources Use, Rivne, Ukraine

**THE STRUCTURE, PRINCIPLE OF OPERATION AND SOME CALCULATIONS  
OF INERTIA CENTRIFUGAL RESILIENT COUPLING**

*Abstract – The aim of the research is to describe the structure and principle of transmitting of torque by inertial centrifugal resilient coupling, to define coupling and cargo mass of inertia needed for creation of the transverse and longitudinal forces on the cables, to develop calculations of its essential elements.*

*Couplings are responsible assembly units, which often determine the reliability of the whole machine. They have to provide such a responsible role, additional to its main purpose: to compensate the harmful effects of geometrical shafts axis offset and to absorb vibration, bumps and shocks that occur during the mechanical drives exploitation. A new inertial centrifugal resilient coupling can provide these requirements.*

*Based on this research suggested inertial centrifugal resilient coupling in which the torque transmitted by radial cables provides smooth transmission of torque during machine launch or its insecure operation mode and improves the damping and compensating characteristics by a corresponding stiffness of resilient elements - cables.*

*Key words: coupling, inertia, mass, cable, thread.*

**Постановка проблеми**

З'єднання валів і передавання обертального моменту – основне призначення муфт. Сучасне машинобудування неможливе без використання муфт. Муфти є відповідальними складальними одиницями, що часто визначають надійність всієї машини. Вони, крім інших функцій, мають забезпечити амортизацію вібрацій, поштовхи та удари, що виникають під час експлуатації механічних приводів. Ці вимоги може забезпечити нова інерційно-відцентрова пружна муфта.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Найбільш широко конструкції відомих муфт, принципи їх роботи та приклади розрахунків описані в [1]. У роботі [2] описані пружно-компенсуючі муфти з канатними елементами. На основі існуючих, розроблені нові інерційно-відцентрові пружні муфти [3].

**Мета роботи**

Метою роботи є опис будови та принципу передавання обертального моменту муфтою інерційно-відцентровою пружною, визначення маси інертності муфти і маси вантажів для створення поперечної та поздовжньої сил на канати, розроблення розрахунків її основних частин.

**Реалізація роботи**

В даній роботі розглядається муфта інерційно-відцентрова пружна [4–6], яка складається з ведучої чашоподібної півмуфти 1 з жорстко встановленими виступами у вигляді пальців 2 з радіальними отворами 3, розміщеної на ведучому валу 4 за допомогою, наприклад, несамогальмівної різьби 5, витки якої направлені в сторону обертання ведучого вала і підпружиненої пружиною 6 через упорний підшипник 7 в напрямку від веденої півмуфти 8, встановленої на веденому валу 9. У веденій півмуфті 8 радіально встановлені канати 10 і одним кінцем закріплені в радіальних отворах 11 за допомогою гвинтів 12, а другим кінцем канати 10 встановлені в радіальні отвори 13 рухомих вантажів 14 і закріплені гвинтами 15. Рухомі вантажі 14 встановлені з можливістю поступально-обертального руху у ведучій чашоподібній півмуфті 1 за допомогою, наприклад, косих шліців або несамогальмівної різьби 16. При з'єднанні веденої півмуфти 8 з вантажами 14 канати 10 проходять через радіальні отвори 3 виступів у вигляді пальців 2. В початковий момент обертання ведучого вала 4, ведуча півмуфта 1 під дією сили, що виникає від інертності її маси, зміщується на різьбі 5 в сторону веденої півмуфти 8, при цьому, пальцями 2 натягуються канати 10 і змінюється їх жорсткість. Крім натягування канатів 10 в осьовому напрямку, вони додатково натягуються в напрямку обертання ведучого вала 4. Такий процес з послідовною деформацією канатів 10 забезпечує плавну передачу обертального моменту від ведучого вала 4 на ведений вал 9. При усталеному режимі роботи машини і вирівнюванні обертів ведучого 4 та веденого 9 валів, рухомі вантажі 14 під дією відцентрових сил переміщуються в ведучій півмуфті 1 за допомогою, наприклад, косих шліців або несамогальмівної різьби 16, виконуючи поступально-обертальний рух, натягують канати 10 в радіальному напрямку і закручуючи їх, що в свою чергу збільшує їх жорсткість. Тоді ведуча півмуфта 4, під дією сил пружності канатів 10 через пальці 2 і пружину 6 повертається в початкове положення. Муфта повністю переходить в робочий режим усталеного руху, забезпечуючи при цьому демпфування коливань та амортизацію поштовхів і ударів

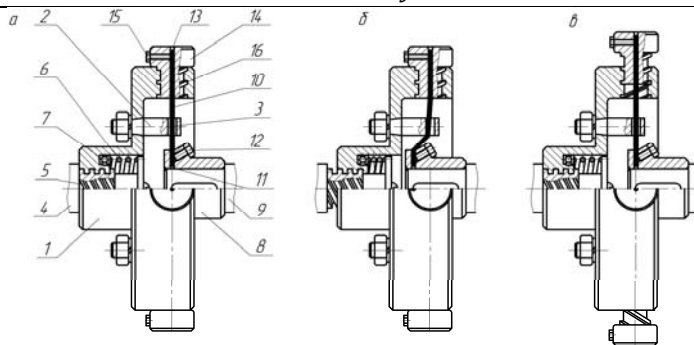


Рис. 1. Муфта інерційно-відцентрова пружна: а – стан до вмикання; б – стан на початку вмикання; в – стан при усталеному режимі

Створення нових муфт вимагає детальної розробки їх складових частин. Тому необхідно володіти відомими методами комп'ютерного моделювання деталей муфт, щоб розробляти та виготовляти їх. На рис. 4 і 5 показані моделі нової інерційно-відцентрової пружної муфти, які створені в системі "КОМПАС 3D" [5, 6], в зібраному і в розібраному виглядах.

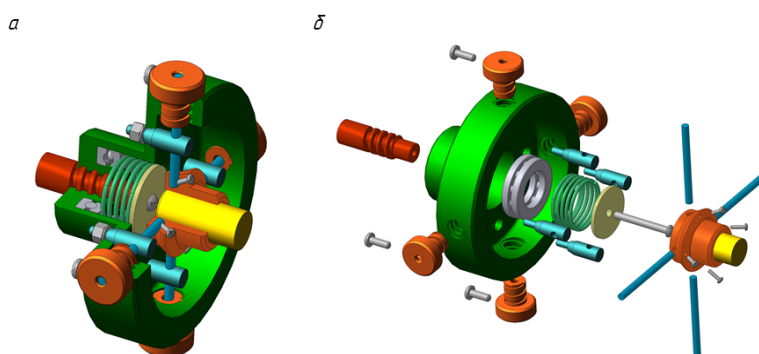


Рис. 2. Модель муфти інерційно-відцентрової пружної: а – в зібраному; б – в розібраному вигляді

Розроблена конструкція інерційно-відцентрової пружної муфти відноситься до самокерованих муфт. Відповідно до існуючої класифікації за способом керування запропонована муфта відноситься до самокерованих відцентрових, а за способом передачі обертального моменту – до інерційних. Класифікація муфт [1] поповнена новими конструкціями самокерованих інерційних муфт. Уточнена класифікація з самокерованими інерційно-відцентровими пружними муфтами показана на рис. 3.

При вмиканні інерційно-відцентрової муфти для передачі обертального моменту, ведуча півмуфта 1 під дією сили, що виникає від інертності її маси, зміщується на різьбі 5 в сторону веденої півмуфти 8, при цьому, пальцями 2 натягуються канати 10 і змінюється їх жорсткість. Крім натягування канатів 10 в осьовому напрямку, вони додатково натягуються в напрямку обертання ведучого вала 4. Такий процес з послідовною деформацією канатів 10 забезпечує плавну передачу обертального моменту від ведучого вала 4 на ведений вал 9. Тому в розрахунку інерційно-відцентрової пружної муфти визначається маса її ведучої півмуфти. Для цього розрахункова схема муфти показана на рис. 4.



Рис. 3. Уточнена класифікація механічних муфт

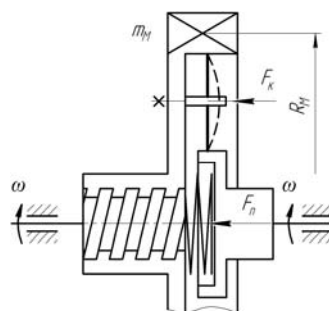


Рис. 4. Схема для визначення маси півмуфти

Сила інерції, яка виникає при обертанні ведучого вала за порадами [8] визначається

$$F_i = m(R_m \omega^2 - g), \tag{1}$$

де  $m$  – маса ведучої півмуфти;  $R_m$  – радіус центра маси ведучої півмуфти;  $\omega$  – кутова швидкість ведучого вала;  $g$  – прискорення гравітаційної сили.

Так як ведуча півмуфта, з'єднана з ведучим валом за допомогою несамогальмівної різьби то виникає осьова сила  $F_a$ , яка зміщає ведучу півмуфту і в поперечному напрямку діє на радіально розміщені пружні елементи – канати, починається передача обертального моменту на ведений вал.

Створена у різьбі осьова сила  $F_a$  витрачається на поперечну деформацію канатів силою  $F_{нк}$  і стискання пружини з силою  $F_{пр}$ , тобто

$$F_a = F_{нк} + F_{пр} \quad (2)$$

Сила поперечної деформації канатів рівна

$$F_{нк} = z c_k x, \quad (3)$$

де  $z$  – число канатів;  $c_k$  – поперечна жорсткість канатів;  $x$  – поперечна деформація канатів.

Сила стискання циліндричної пружини, рівна

$$F_{пр} = c_{пр} x_1, \quad (4)$$

де  $c_{пр}$  – жорсткість пружини;  $x_1$  – деформація пружини.

Осьова сила  $F_a$  залежить від сили інерції, яка створюється масою ведучої півмуфти

$$F_a = F_i \operatorname{tg}(\beta + \varphi'), \quad (5)$$

де  $\beta$  – кут підйому гвинтової лінії несамогальмівної різьби;  $\varphi' = \arctg f'$  – кут тертя в різьбі, а  $f'$  – приведений коефіцієнт тертя в різьбі.

Підставимо у вираз (5) значення (1), маємо:

$$F_a = m(R_m \omega_{\max}^2 - g) \operatorname{tg}(\beta + \varphi'). \quad (6)$$

Підставимо у вираз (2) значення (3), (4) і (6) та розв'яжемо відносно маси, отримаємо:

$$m = \frac{z c_k x + c_{пр} x_1}{(R_m \omega_{\max}^2 - g) \operatorname{tg}(\beta + \varphi')}. \quad (7)$$

Вираз (7) дозволяє визначити необхідну масу півмуфти для створення необхідної сили поперечної деформації канатів і пружини.

Маса рухомих вантажів в обертальному русі створює відцентрову силу

$$F_6 = m_{рв} R_{рв} \omega^2, \quad (8)$$

де  $m_{рв}$  і  $R_{рв}$  – відповідно, маса і радіус центра маси рухомих вантажів.

Якщо проаналізувати роботу рухомих вантажів, з'єднаних несамогальмівної різьбою, тоді маємо:

$$m_{рв} = \frac{c_{кн} x_2 + c_{кк} \varphi_1}{R_{рв} \omega^2 \operatorname{tg}(\beta + \varphi')}, \quad (9)$$

де  $c_{кн}$  і  $c_{кк}$  – відповідно, поздовжня і крутильна жорсткість канатів;  $x_2$  і  $\varphi_1$  – відповідно поздовжня і кутова деформація канатів.

За рахунок сили, створеною масою  $m_{рв}$ , у несамогальмівному різьбовому з'єднанні здійснюється поступальний і обертальний рух рухомих вантажів (рис. 5). Із-за цього змінюється жорсткість канатів з'єднаних з рухомими вантажами – осьова і крутильна. Для створення у різьбі осьової сили для поперечної деформації канатів до гвинта (вала) потрібно прикласти обертальний момент, який дорівнює сумі моментів сил тертя в різьбі  $M_{мп}$  і моменту сил тертя в опорній поверхні гайки (півмуфти)  $M_{он}$ , [9].

$$M = M_{мп} + M_{он}. \quad (10)$$

Так як гайка (півмуфта 1) опирається на циліндричну пружину 5 через упорний підшипник кочення 6, то приймаємо, що момент сил тертя на опорній поверхні гайки рівний нулю ( $M_{он} = 0$ ). Тоді

$$M = M_{мп}. \quad (11)$$

Щоб знайти момент сил тертя в різьбі  $M_{мп}$  розглянемо схему сил, що діють на виток гвинта (рис. 6). Нормальна до робочої поверхні витка сила  $F_n$  створює у контакті витків гвинта і гайки силу тертя  $F_f = f F_n$ , де  $f$  – коефіцієнт тертя у різьбі. Складова  $F_n \cos \alpha_1$  нормальної сили та сила тертя  $F_f$  у сумі дають силу  $F$ , що лежить у дотичній площині до середнього циліндра гвинта, де  $\alpha_1$  – кут, який враховує кут профілю різьби  $\alpha$  і може бути прийнятий: для трикутних і трапецевидних –  $\alpha_1 = 0,5 \alpha$ ; для упорних –  $\alpha_1 = 3^\circ$ ; для прямокутних –  $\alpha_1 = 0$ .

Розкладемо силу  $F$  на дві взаємно перпендикулярні складові: колову силу  $F_t$  та осьову силу  $F_a$  на гвинті. Із отриманої схеми маємо:

$$F_t = F_a \operatorname{tg}(\beta + \varphi') = \frac{2M_{мп}}{d_2}, \quad (12)$$

де  $d_2$  – середній діаметр різьби

Із записаного виразу (10) визначимо осьове навантаження

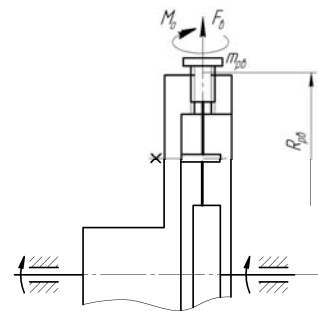


Рис. 5. Схема для визначення відцентрової сили рухомих вантажів

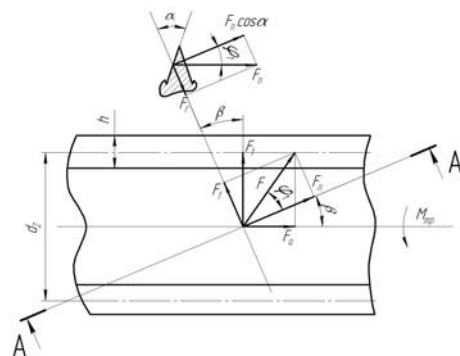


Рис. 6. Схема сил у різьбі

$$F_a = \frac{2M_{mp}}{d_2 \operatorname{tg}(\beta + \varphi')} \quad (13)$$

Приведений кут тертя у різьбі визначається за співвідношенням

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{F_f}{F_n \cos \alpha_1} = \frac{f}{\cos \alpha_1}, \text{ або } \varphi' = \operatorname{arctg} \frac{f}{\cos \alpha_1} \quad (14)$$

Для несамогальмівної різьби має виконуватись умова, що  $\beta > \varphi'$ .

Передачі гвинт-гайка виходять із ладу, у більшості випадків, із-за спрацювання різьби. Стійкість проти спрацювання гвинтової пари забезпечується обмеженням тиску у контакті витків різьби за умовою

$$q \leq [q] \quad (15)$$

Розрахунковий тиск у припрацьованій гвинтовій парі, приймаючи, що розподілення навантаження  $F_a$  по витках приблизно рівномірне, визначають за формулою

$$q = \frac{F_a}{\pi d_2 h z_e} \quad (16)$$

У виразі (16) маємо:  $h$  – робоча висота профілю різьби;  $z_e$  – число витків різьби у гайці;  $z_e = H/p$ , де  $H$  – висота гайки;  $p$  – крок різьби.

Допустимий тиск  $[q]$  приймають, виходячи із умов роботи та матеріалів гвинта і гайки.

Подібні мотиви відносяться і до різьби рухомих вантажів з'єднаних з ведучою півмуфтою.

Призначення канатів – передавати обертальний момент від ведучого до веденого вала. У [2] рекомендується канати для муфт обирати за критерієм максимальної трибозорсткості, що забезпечує максимальне демпфування коливань при неусталених режимах роботи приводів. Для муфт найбільш ефективно застосування канатів типу ЛК-РО 6x36, ТК 6x19, ТК 6x37 та ін. Розрахункова схема каната показана на рис. 7.

Діаметр каната для муфт з радіальними канатами визначається із виразу (3), [2]

$$d_k = \frac{D \psi_{ID}^2}{k \sqrt{12 \psi_{ID}^2 + 3 \varphi^2}} \quad (17)$$

де  $D$  – діаметр розташування пальців, мм;  $\psi_{ID} = l/D$  – коефіцієнт відстані між напівмуфтами відносно діаметр розташування пальців;  $l$  – відстань між напівмуфтами, мм;  $k$  – дослідний коефіцієнт, який залежить від типу каната та умов роботи його в муфті;  $\varphi$  – кут закручування напівмуфт, рад.

Потрібна кількість канатів може бути визначена за формулою, [2]:

$$z = \frac{T(4 \psi_{ID}^2 + \varphi^2)}{0,785 l \varphi \psi_s d_k^2 [\sigma_{pk}]} \quad (18)$$

де  $T$  – обертальний момент, що передає муфта, Н·м;  $[\sigma_{pk}]$  – напруження розтягу, при якому визначений коефіцієнт  $k$ , а також забезпечена міцність каната, МПа;  $\psi_s = A_s / (0,785 d_k^2)$  – коефіцієнт відносної площі, який залежить від типу каната;  $A_s$  – сумарна площа всіх дротин каната, мм<sup>2</sup>.

Канат у напівмуфтах закріплений затискними гвинтами (рис. 8). У [2] показано, що отвори у напівмуфтах для установки канатів потрібно виготовляти одного діаметра з отворами під утворення різьби у напівмуфтах.

Розрахункові залежності для проектного та перевірного розрахунків внутрішнього діаметра різьби затискних гвинтів будуть:

$$d_1 = \sqrt{\frac{3,31 T l}{f z D^2 \operatorname{tg} \varphi [\sigma_{cm}]}} \quad (19)$$

$$\sigma_E = \frac{3,31 T l}{d_1^2 f z D^2 \sin \varphi} \leq [\sigma_{cm}] \quad (20)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя між канатом і поверхнею тертя гвинта;  $[\sigma_{cm}]$  – допустимі напруження стиску для матеріалу гвинта;  $\sigma_E$  – еквівалентне напруження в тілі гвинта.

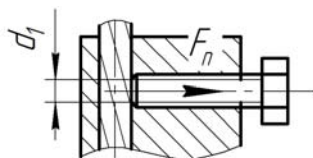


Рис. 8. Схема до розрахунку з'єднань канатів з півмуфтами

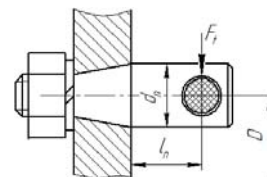


Рис. 9. Схема до розрахунку пальців

Передача обертального моменту здійснюється пружними канатами, які встановлені в радіальних наскрізних отворах пальців, жорстко закріплених у фланці ведучої півмуфти. Кінцями пружні канати закріплені у півмуфтах.

При передачі обертального моменту такі пальці працюють на деформацію згину (рис. 9).

Розрахункові залежності для проектного та перевірного розрахунків пальців будуть:

$$d_n = \sqrt[3]{\frac{10Tl_n}{Dz_n[\sigma_F]}}; \quad (21)$$

$$\sigma_F = \frac{10Tl_n}{d_n^3 z_n D^2} \leq [\sigma_F], \quad (22)$$

де  $d_n$  – діаметр пальців;  $z_n$  – число пальців;  $l_n$  – довжина пальців;  $[\sigma_F]$  – допустимі напруження згину для матеріалу пальця;  $\sigma_F$  – розрахункові напруження згину.

Динамічний розрахунок інерційно-відцентрових пружних муфт зводиться до визначення її основної характеристики – жорсткості

$$C_\varphi = \frac{T}{\varphi_3}, \quad (23)$$

де  $T$  – обертальний момент, який передається муфтою;  $\varphi_3$  – кут закручування муфти обертальним моментом  $T$  (кут відносного повороту півмуфт).

У [2] наведено вирази для визначення жорсткості канатних муфт з різною установкою канатів.

#### Висновки

Запропонована муфта інерційно-відцентрова пружна, у якій обертальний момент передається радіальними канатами, забезпечує плавну передачу обертального моменту в період пуску машини, або неусталеного режиму її роботи, і покращує демпфуючі та компенсуючі характеристики за рахунок відповідної жорсткості пружних елементів – канатів, внаслідок їх поздовжньої, поперечної та крутильної деформацій, і використання інерційності мас муфти.

#### Література

1. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків / В. О. Малащенко. – Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2009. – 208с.
2. Проценко В.О. Синтез пружно-компенсуючих муфт з канатними елементами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.02 “Машинознавство” / В.О. Проценко – Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2012. – 21с.
3. Пат. 75733 Україна, МПК F 16 D 3/56, F 16 D 3/70. Відцентрова пружна канатна муфта з радіальними пружними елементами / Федорук В.А., Малащенко В.О., Стрілець В.М., Стрілець О.Р. – у 201206845; заявл. 05.06.2012; опубл. 10.12.2012, Бюл. №23.
4. Пат. 76586 Україна, МПК F 16 D 13/00, F 16 D 3/56, F 16 D 3/70. Муфта інерційно-відцентрова пружна / Федорук В.А., Малащенко В.О., Стрілець В.М., Стрілець О.Р., Ковальчук Р.В. – у 201207435; заявл. 19.06.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.
5. Ковальчук Р.В. Муфта інерційно-відцентрова пружна / Р.В. Ковальчук // Матеріали УІ Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання”. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2013. – Т. 1. – С. 162.
6. Стрілець В.М. Про будову і роботу муфти інерційно-відцентрової пружної та її комп’ютерне моделювання / В.М. Стрілець, В.А.Федорук, О.Р.Стрілець, Р.В. Ковальчук // Збірник тез. У1-ої Міжнародної науково-практичної конференції „Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси ПРТК-2013”. – Київ: НАУ, 2013. – С. 230–232.
7. Кидрук М.И. Компас – 3D V9. Учебный курс / М.И. Кидрук – Санкт-Петербург: Питер, 2007. – 496с.
8. Воронков И.М. Курс теоретической механики / И.М. Воронков. – М.: Наука, 1965. – 596с.
9. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин / В.Т. Павлище. – К.: Вищ. шк., 2003. – 560с.

#### References

1. Malaschenko V. O. Mufty pryvodiv. Konstruktsii ta pryklady rozrakhunkiv. Lviv, NU “Lvivska politekhnika”, 2009. – 208 p. [in Ukrainian].
2. Protsenko V. O. Syntez pruzhno-kompensujuchykh muft z kanatnymy elementamy: avtoref. na zdobuttya nauk. stupenyu kand. tekhn. nauk : spets. 05.02.02 “Mashynoznavstvo”, Lviv, NU “Lvivska politekhnika”, 2012. – 21 p. [in Ukrainian].
3. Pat. 75733 Ukraine. MPK F 16 B 3/00. Vidcentrova pruzhna kanatna mufta z radialnymy pruzhnyy elementamy / V.A. Fedoruk, V. O. Malaschenko, V. M. Strilets, O. R. Strilets – u 201206845; Zajavl. 05.06.2012; Opubl. 10.12.2012; Biul. No.23. [in Ukrainian].
4. Pat. 76586 Ukraine. MPK F 16 B 3/00. Mufta inescijno-vidcentrova pruzhna / V.A. Fedoruk, V. O. Malaschenko, V. M. Strilets, O. R. Strilets, R.V. Kovalchuk – u 201207435; Zajavl. 19.06.2012; Opubl. 10.01.2013; Biul. No.1. [in Ukrainian].
5. Kovalchuk R.V. Mufta inescijno-vidcentrova pruzhna, Materialy VI vseukrainskoi studentskoi naukovy-tekhnichnoi konferencii “Pryrodnychi ta humanitarni nauky. Aktualni putannya”, Ternopil, TNPU, 2013, vol. 1. – p. 162. [in Ukrainian].
6. Strilets V. M., Fedoruk V.A., Strilets O. R., Kovalchuk R.V. Mufta inescijno-vidcentrova pruzhna, Materialy VI Mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferencii “Intehrovani intelektualni robototekhnichni kompleksi PIRTK-2013”, Kyiv, NAU, 2013. – pp. 230-232. [in Ukrainian].
7. Kidruk M.I. Kompas – 3D V9. Uchebnyj kurs, Sankt-Peterburg, Piter, 2007. – 496 p. [in Russian].
8. Voronkov I. M. Kurs teoreticheskoj mekhaniki, Moskva, Mashinostroenie, 1965. – 596 p. [in Russian].
9. Pavlyshe V. T. Osnovy konstrujuvannja ta rozrakhunok detalej mashyn, Kyiv, Vyscha shkola, 2003. – 560 p. [in Ukrainian].

Рецензія/Peer review : 01.11.2013 р. Надрукована/Printed :21.11.2013 р.

Рецензент: Козяр М.М., д-р пед. наук., доцент, завідувач кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне