

СИНТЕЗ КОНСТРУКЦІЙ ПРУЖНИХ МУФТ З РОЗШИРЕНИМИ ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДИФІКОВАНИХ КІНЕМАТИЧНИХ ГРАФІВ

У роботі на базі методики з застосуванням модифікованих кінематичних графів проведений синтез та запропоновані нові, теоретично обґрунтовані рішення щодо створення пружних муфт з металічними пружними елементами малої жорсткості зі зменшеним кутом закручування напівмуфт при повному збереженні їх пружних властивостей. Показано, що синтезовані пристрої отримані на основі багатоваріантних рішень при різних комбінаціях додаткових механічних структур у вигляді рядових і планетарних зубчастих або фрикційних передач. Встановлено, що результати отриманих рішень можуть бути використані відносно інших існуючих пружних муфт з метою поліпшення їх функціональних можливостей.

Ключові слова: пружна муфта, модифікований кінематичний граф, додаткова механічна структура.

I.I. SYDORENKO, V.O. KURGAN, K.G. MOSIENKO

Odessa National Polytechnic University

SYNTHESIS OF ELASTIC CONSTRUCTIONS CLUTCHES WITH EXTENDED POSSIBILITIES FUNCTIONAL USING A MODIFIED KINEMATIC GRAPHS

The paper -based methods using modified kinematic graph carried synthesis and proposed new theoretically informed decisions about creating elastic couplings with metallic elastic elements with low stiffness reduced angle of twist while preserving their elastic properties. It is shown that the synthesized unit derived from multivariate solutions for different combinations of the additional mechanical structures as ordinary and planetary gears. It was established that the results of the solutions can be used in relation to other existing elastic couplings to improve their functionality.

Keywords: elastic coupling, modified kinematic graph, additional mechanical structure.

Постановка задачі

Розвиток машинобудування на сучасному етапі потребує розробку та застосування нових високоефективних трансмісій. На відміну від попередніх, вони повинні вирішувати не тільки задачу передачі руху і обертального моменту але і декілька інших важливих задач: захист двигуна та елементів трансмісії від перевантажень, зменшення негативного прояву похибок складання, зменшення негативних проявів пускових навантажень і коливань та ін. Зазвичай, ці задачі вирішуються за допомогою муфт різного призначення, які поєднують ділянки валопроводу трансмісії.

Зменшення негативного прояву пускових навантажень та коливань у трансмісіях досягається завдяки застосуванню пружних муфт. Розширення спектру задач, що покладаються на трансмісії, приводить до подальшого розвитку цього виду муфт, що обумовлює їх дослідження як актуальну науково – прикладну задачу

Аналіз досліджень та публікацій

Дослідження пов'язані з аналізом існуючих та синтезом нових пружних муфт показують, що максимальна ефективність віброізоляції від їх застосування пов'язана з досить значною величиною кута закручування напівмуфт. Особливо це стосується пружних муфт з металічними пружними елементами малої жорсткості, які призначені для зменшення негативного прояву коливань великої амплітуди. Зазвичай максимальний робочий кут закручування напівмуфт для них становить 20...35о [1]. Однак, для більшості існуючих трансмісій такі кути розузгодження ділянок валопроводу не є придатними, оскільки порушуються точність позиціонування виконавчої ланки, збільшується час спрацювання системи внаслідок "вибірки" кутів закручування. Прогнозується, що для переважної більшості трансмісій найбільш придатним є діапазон кутового розузгодження ділянок валопроводу у межах 5...10 о [2].

Дослідження, що мали за мету створення нових пасивних пружних муфт дозволили розробити їх новий вид. Муфти цього виду, які отримали назву пружних муфт з механічним зворотним зв'язком (ПММЗ), відрізняється від існуючих наявністю у їх структурі додаткового механічного контуру, завдяки якому муфта набуває функціональних можливостей, за якими вона наближається до активних систем віброізоляції [3]. Враховуючи те, що основою ПММЗ є пружна муфта з металічними пружними елементами малої жорсткості, то при її застосуванні у трансмісіях також виникає проблема значного кута розузгодження ділянок валопроводу. Це пов'язане з тим, що робочий кут закручування напівмуфт ПММЗ, якій обумовлює повне відпрацювання складових елементів додаткової механічного контуру, становить 25...28 о.

Виділення невирішених частин

Таким чином, невирішеною залишається проблема повної реалізації як пружними муфтами в загалі, так і ПММЗ зокрема, своїх захисних віброізоляційних властивостей внаслідок існуючих обмежень величини кута закручування напівмуфт.

Формулювання цілей

Ціллю проведених досліджень є: синтез нових структур ПММЗЗ зі зменшеним кутом закручування напівмуфт при повноцінному збереженні функціональних властивостей з подальшим використанням результатів синтезу для визначеного, за деякими показниками, модифікування існуючих конструкцій пружних муфт з металічними пружними елементами малої жорсткості.

Теоретичні дослідження

Для досягнення поставленої цілі насамперед проведемо моделювання та порівняльний аналіз двох зразків *A* і *B* (рис.1, а) за допомогою методики з застосуванням модифікованих кінематичних графів (МКГ), що була розроблена для досліджень структур пружних пристроїв [4]. Зразки відповідають двом конструкціям ПММЗЗ, новизна яких підтверджена відповідними патентами України на винахід [5, 6]. Кінематичні схеми зразків (рис.1, б) є підґрунтям для формування їх моделей у вигляді МКГ (рис.1, в). Моделювання та аналіз зразків проведено за умови: p_i – вершина графу, що відповідає i -му елементу пристрою з відповідною нумерацією; q_5 – ребро графу, яке визначає контактну функціональну взаємодію між елементами пристрою і відповідає кінематичним парам 5-го класу; q_4 – ребро графу, яке обумовлює контактну функціональну взаємодію між елементами пристрою і відповідають кінематичним парам 4-го класу. Враховуючи, що модель у вигляді МКГ повинні уявляти собою мультиграф, то в модель введені додаткові "мічені" ребра q_m , які відповідають пружним, дисипативним та іншим зв'язкам, зміна яких напряму пов'язана з кінематикою пристрою що розглядається. При цьому з точки зору кінематики ці зв'язки обумовлюються віртуальними аналогами кінематичних пар 4-го класу і розглядаються як надлишкові (на рисунку 1,б – пружний зв'язок відповідає "міченому" ребру c).

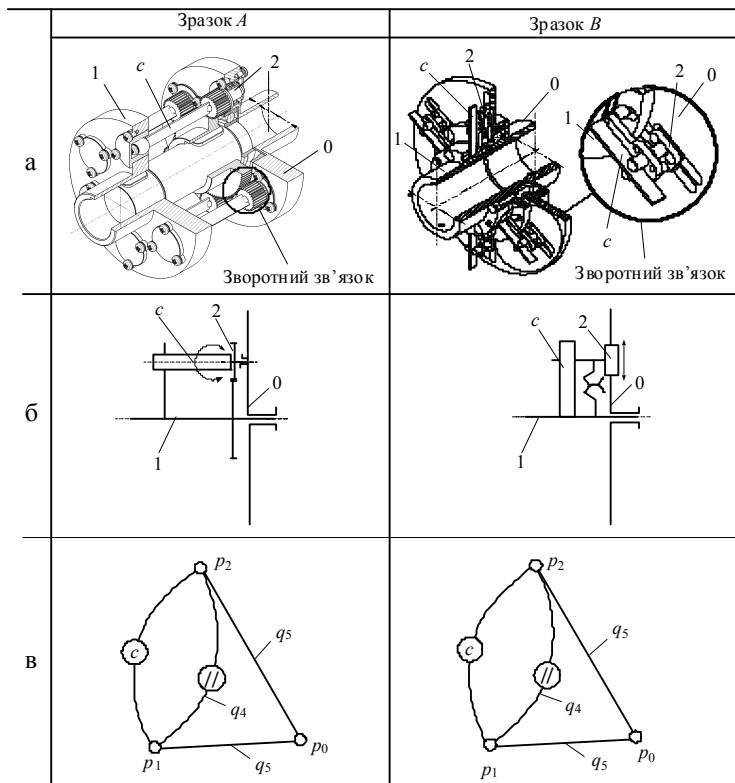


Рис.1. Аналіз пружних муфт з механічним зворотним зв'язком: 3D моделі пристроїв (а); кінематичні схеми (б); моделі у вигляді МКГ (в)

При аналізі зразків встановлено що вони є ідентичними за основними показниками що визначені у використаній методиці. А саме, зразки *A* і *B* мають однакову ступінь рухомості, яка дорівнює

$$W = 3(p - 1) - 2q_5 - q_4 - q_m = 3(3 - 1) - 2 \cdot 2 - 1 - 1 = 0, \tag{1}$$

що і є однією з основних ознак пристрою з додатковим механічним контуром і початкове цикломатичне число

$$\sigma = q - p + 1 = 4 - 3 + 1 = 2, \tag{2}$$

яке враховує кількість циклів у МКГ з загальним "міченим" ребром q_m , що відповідає пружному зв'язку, зміна якого пов'язана з кінематикою пристрою

Подальший контроль зміни цикломатичного числа при застосуванні метода виключення показав,

що структурно зразки уявляють собою однотипні механізми за виключенням видів ребер МКГ, які обумовлюють відповідні матриці складання

$$\text{зразок } A - \begin{array}{c|ccc} & P_0 & P_1 & P_2 \\ \hline P_0 & & O_5 & O_5 \\ P_1 & O_5 & & 4/c \\ \hline P_2 & O_5 & 4/c & \end{array}; \quad \text{зразок } B - \begin{array}{c|ccc} & P_0 & P_1 & P_2 \\ \hline P_0 & & O_5 & \Pi_5 \\ P_1 & O_5 & & 4/c \\ \hline P_2 & \Pi_5 & 4/c & \end{array}$$

де O_5 – відповідає обертальній кінематичній парі 5-го класу; Π_5 – відповідає поступальній кінематичній парі 5-го класу; 4 – відповідає кінематичній парі 4-го класу; c – відповідає віртуальній кінематичній парі 4-го класу, що обумовлює пружність;

За основу для синтезу нової структури за технологічними міркуваннями прийнято структуру зразка B . Синтез нової структури почнемо з визначення початкової кількості додаткових ланок та кінематичних зв'язків між ними. Згідно з застосованою методикою – розширення структури обертального пружного пристрою повинно відбуватися за умови наперед визначеної кількості полюсів та ребер у його інтерпретації у вигляді графу. Попередніми дослідженнями встановлено, що виходячи з потреби виконання умови співвідносності деяких складових частин обертальної пружної системи розширення її структури можливе як мінімум двома додатковими ланками [4]. Визначивши це як основну умову при дотриманні незмінності результату за виразом (1) отримано вхідні дані для синтезу. Вони уявляють собою: МКГ базового пристрою; два нові полюси та нові чотири ребра МКГ, два з яких обумовлюють кінематичні пари 4-го класу а два інших, обумовлюють кінематичні пари 5-го класу (рис. 2, а). Виконання умови про відсутність у МКГ циклів з двома ребрами які обумовлюють кінематичний зв'язок дозволили отримати три можливі рішення, з яких обумовленій вище цілі досліджень відповідають два (рис. 2, б). Розробка відповідних до МКГ матриць складання (рис. 2, в) дозволили відтворити відповідні до них кінематичні схеми (рис. 2, г).

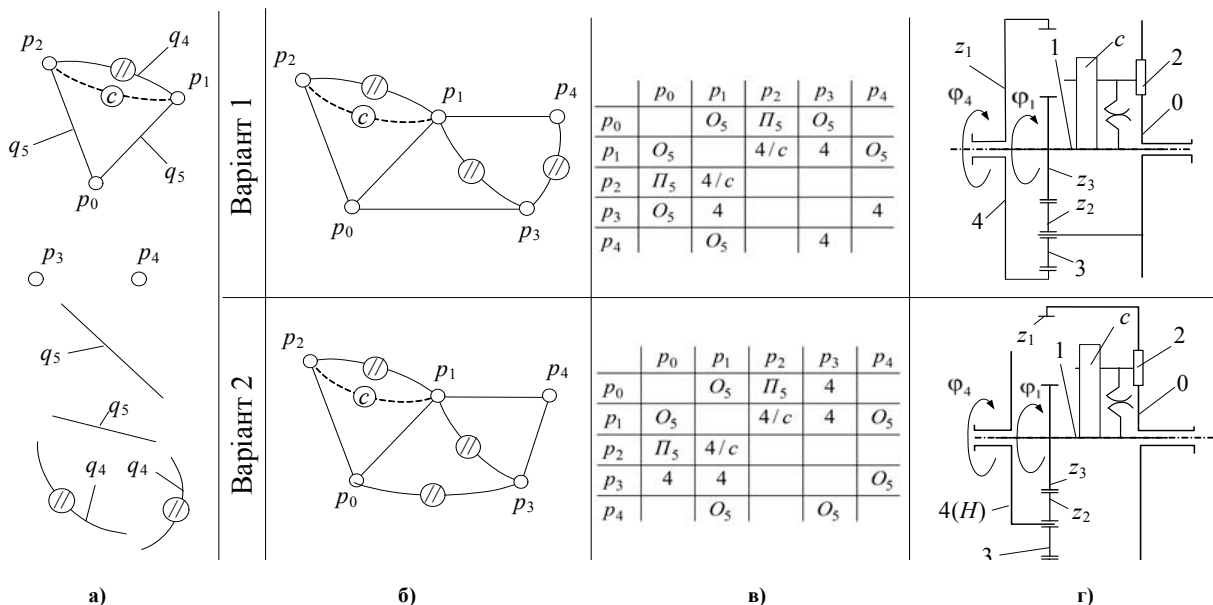


Рис. 2. Синтез нової структури ПММЗЗ: вхідні дані (а); моделі у вигляді МКГ(б); матриці складання (в); кінематичні схеми (г)

Отримані у результаті проведеного синтезу кінематичні схеми свідчать про можливість розширення структури ПММЗЗ рядовим (варіант рішення 1) та планетарним (варіант рішення 2) зубчастими або фрикційними механізмами. Відповідно до цього співвідношення кута закручування вхідного елемента 4 і внутрішнього елемента 1, що обумовлює деформацію пружного елемента, наприклад, за умови використання зубчастих механізмів, може бути розраховане за виразами:

– варіант 1

$$i_{41} = \frac{\Phi_4}{\Phi_1} = \frac{z_3}{z_4} \cdot \left(-\frac{z_1}{z_3} \right) = -\frac{z_1}{z_4}, \quad (3)$$

– варіант 2

$$i_{H(4)1} = \frac{\Phi_{H(4)}}{\Phi_1} = \frac{1}{i_{H(4)}} = \frac{1}{1 + \frac{z_1}{z_3}}. \quad (3)$$

Аналіз виразів (1) і (3), показує, що $\frac{\Phi_4}{\Phi_1} < 1$ у варіанті рішення 1 можливе тільки за умови $z_1 < z_3$ а для варіанту рішення 2 така умова відсутня. Саме це дозволяє визначити варіант рішення 2 як більш

перспективний для подальшої конструктивної реалізації, оскільки саме він обумовлює більшу кількість можливих конструктивних рішень що до зменшення габаритів.

Конструктивна реалізація отриманих кінематичних схем, з відповідним конструктивними рішеннями, дозволила розробити 3D моделі ПММЗЗ (рис. 3).

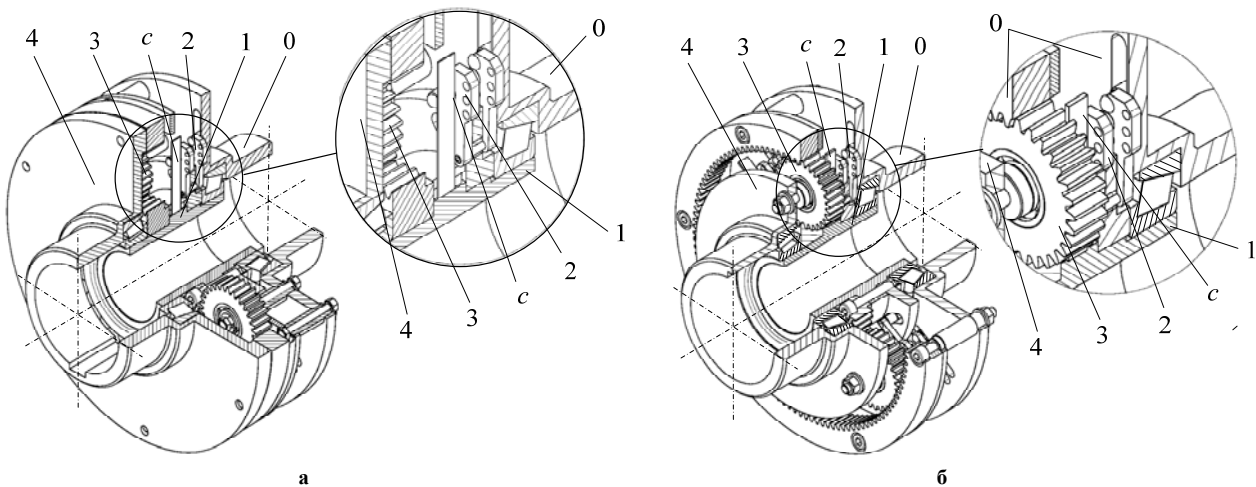


Рис. 3. 3D моделі ПММЗЗ з розширеною структурою: за варіантом 1 (а); за варіантом 2 (б)

Наведені тривимірні моделі, нумерація складових елементів яких відповідає нумерації елементів моделей у вигляді МКГ, були розроблені за допомогою CAD пакету Autodesk Inventor Series. Це дозволило виконати розрахунок кінематичних характеристик та геометричних параметрів зубчастих передач за допомогою відповідних генераторів та вбудованих функцій динамічного моделювання та перевірити елементи конструкції на міцність за допомогою вбудованих функцій кінцево-елементного аналізу. Проведені розрахунки підтвердили повну працездатність синтезованих пристроїв і дозволили сформувавши пакет технічної документації для виготовлення експериментальних зразків. При цьому, уніфікація деталей розроблених конструкцій складає 75%.

Слід зазначити, що отримані рішення у вигляді додаткових механічних структур добре об'єднуються з основними структурами у вигляді відомих пружних муфт. Наприклад, відома нелінійна пружна муфта з радіально розташованими плоскими пружними елементами [1]. Робочий кут закручування напівмуфти муфти, за яким вона повністю відтворює власну нелінійну пружну характеристику, становить 35°. Як вказувалося раніше – такий кут розузгодження ділянок валопроводу є неприпустимим для більшості існуючих трансмісій. Тому, є доцільним вирішення цієї проблеми за допомогою отриманих вище результатів теоретичних досліджень. Моделювання муфти та її структурний аналіз проведено за наведеною методикою (рис. 4). Розроблено модель муфти у вигляді МКГ, на основі якого отримано матрицю її складання. Причому отриманий МКГ розглядається як модель базової структури і є основною частиною вхідних даних для синтезу нової структури.

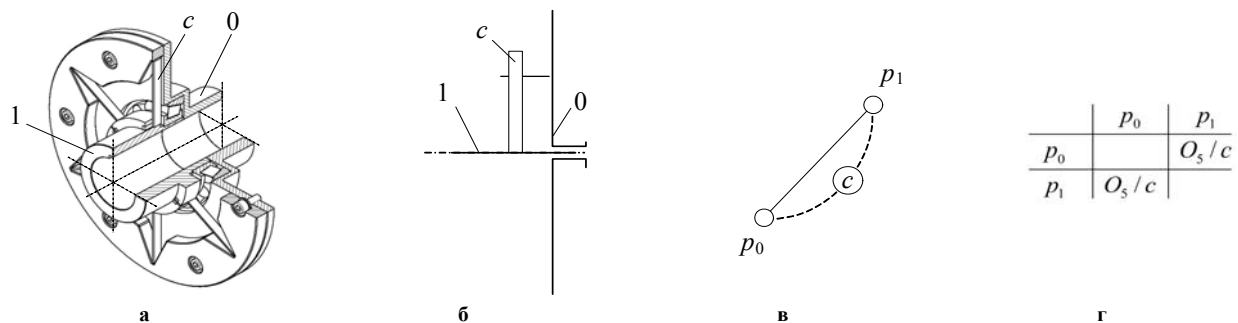


Рис.4. Аналіз пружної муфти з радіально розташованими пружними елементами: 3D модель (а); кінематична схема (б); основна структура у вигляді МКГ (в); матриця складання (г)

Подальший синтез можна представити як додавання до МКГ базової структури МКГ додаткової структури. При цьому доцільно використати у якості остаточної рішення, що отримане у попередніх теоретичних дослідженнях, наприклад за варіантом 1 (див. рис. 2), з наступним обумовленням відповідної матриці складання. Це дозволяє отримати відповідну кінематичну схему, яка у подальшому є підґрунтям розробки реальної конструкції (рис. 5).

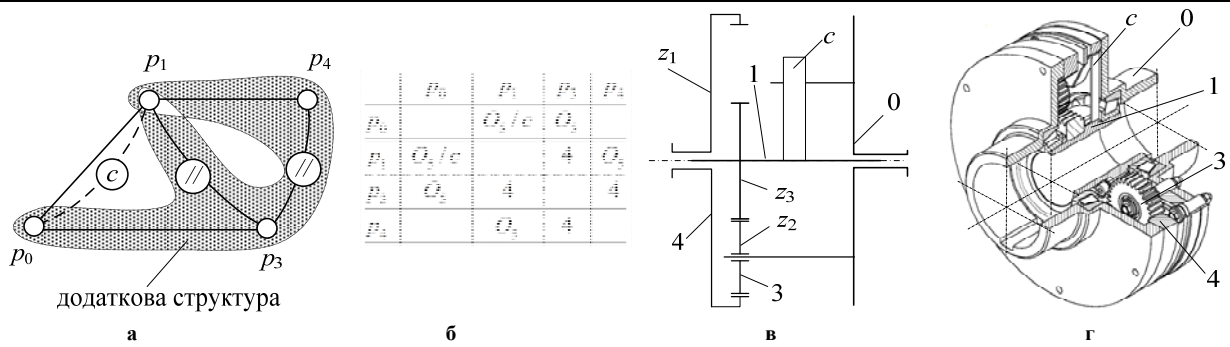


Рис. 5. Синтез нової структури на базі пружної муфти з радіально розташованими пружними елементами: основна і додаткова структура у вигляді МКГ (а); матриця складання (б); кінематична схема (в); 3D модель (г)

Висновки

У результаті проведених досліджень синтезовано нові конструкції пружних муфт з механічним зворотним зв'язком. При цьому встановлено що:

- нові структури ПММЗЗ формуються завдяки додаванню до виділеної базової структури додаткових механічних структур у вигляді рядових та планетарних зубчастих або фрикційних передач;
- синтезовані додаткові структури у вигляді рядових та планетарних зубчастих або фрикційних передач без перешкод додаються до інших базових структур, які обумовлені відомими пружними муфтами, утворюючи нові структури пружних муфт;
- розрахунок отриманих кінематичних схем свідчить про те, що наявність додаткової структури значною мірою впливає на функціональні можливості синтезованого пристрою, оскільки обумовлює зменшення робочого кута закручування напівмуфт у заданих межах.

Література

1. Поляков В.С. Справочник по муфтам / Поляков В.С., Барбаш И.Д., Ряховский О.А. – Л., "Машиностроение" (Ленингр. отд-ние), 1974. – 352 с.
2. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М. : Высш. шк., 2000. – 447 с.
3. Сидоренко І.І. Пружна муфта з нелінійним механічним зворотним зв'язком / І.І. Сидоренко, В.О. Курган // Пр. Одес. політехн. ун-ту. – Одеса, 2011. – Вип. 2(36). – С. 37–44.
4. Сидоренко І. Пассивные виброизолирующие устройства с элементами активных систем : [моногр.] / И. Сидоренко – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co., 2011. – 296 с.
5. Пат. України на корисну модель UA 60617 U, МПК F16D 3/56 (2006.01). Пружна муфта / І.І.Сидоренко (Україна). – № u201014043 ; заявл. 25.11.2010 ; опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12, 2011. – 3 с.
6. Пат. України на винахід UA 99981, МПК F16D 3/56 (2006.01). Пружна муфта / І.І.Сидоренко, В.О. Курган (Україна). – № a201108037 ; заявл. 25.06.2011 ; опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20/2012. – 3 с.

References

1. Polyakov, V. Handbook of couplings. / V. Polyakov, I. Barbash, O. Ryahovsky — L., "Engineering" (Leningrad fin-tion), 1974 — 352 p. [in Russian]
2. Dounaev, P. Construction units and parts of machines. / P. Dounaev, O. Lelikov. - M.: Higher. sk., 2000. - 447 p. [in Russian]
3. Sydorenko, I.I. Elastic coupling of nonlinear mechanical feedback / I.I. Sydorenko, V.O. Kurgan // Proc. Odes. Polytechnic University. – Odessa, 2011. – Issue. 2 (36). – P. 37–44. [in Ukrainian].
4. Sydorenko, I. Passive anti-vibration devices with elements of active systems: monograph / I. Sydorenko — Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co., 2011. — 296 p. [in German].
5. Patent of Ukraine for useful model UA 60617 U, IPC F16D 3/56 (2006.01). Elastic sleeve / I.I. Sydorenko (Ukraine). - № u201014043; Stated 25.11.2010; Publish. 25.06.2011, Bull. Number 12, 2011 - 3 p. [in Ukrainian].
6. A patent for an invention Ukraine UA 99981, IPC F16D 3/56 (2006.01). Elastic sleeve / I.I. Sydorenko, V.O. Kurgan (Ukraine). - № a201108037; Stated 25.06.2011; Publish. 25.10.2012, Bull. Number 20/2012. - 3 p. [in Ukrainian].

Рецензія/Peer review : 13.3.2014 р.

Надрукована/Printed : 20.5.2014 р.