

В.О. МАЛАЩЕНКО, Є.С. ВЕНЦЕЛЬ, А.О. БОРИС

МОЖЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ЗАПОБІЖНИХ ФУНКЦІЙ КУЛЬКОВОЮ ОБГІННОЮ МУФТОЮ ОСЬОВОЇ ДІЇ

Пропонується новий метод розширення експлуатаційних можливостей кулькових обгінних муфт осьової дії з метою запобігання перевантажень деталей механічних приводів за рахунок автоматичного роз'єднання кінців валів під час збільшення обертового моменту до небажаних величин. Розроблено та запатентовано нову конструкцію частини механічного приводу, яка дістала назву кулькової обгінно-запобіжної муфти осьової дії, та проведено кінематико-силові розрахунки основних її елементів.

Ключові слова: муфта; кулькова муфта; обгінно-запобіжна муфта; силовий аналіз; обертовий момент

В.А. МАЛАЩЕНКО, Е.С. ВЕНЦЕЛЬ, А.О. БОРИС

ВОЗМОЖНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ОБГОННОЙ МУФТОЙ ОСЕВОГО ДЕЙСТВИЯ

Предлагается новый метод расширения эксплуатационных возможностей шаровых обгонных муфт осевого действия с целью предупреждения перегрузки деталей механических приводов автоматическим разсоединением концов валов, когда вращающий момент увеличивается к нежелательным величинам. Разработана и запатентована новая конструкция части механического привода, которая получила название шариковой обгонно-предохранительной муфты осевого действия и выполнено кинематико-силовые определение основных их элементов.

Ключевые слова: муфта; шариковая муфта; обгонно-предохранительная муфта; силовой анализ; вращающий момент

V. O. MALASHCHENKO, E. S. WENZEL, A.O. BORYS

POSSIBILITIES OF PERFORMANCE OF PRECAUTIONARY FUNCTIONS BY BALL OVERLOAD CLUTCH OF AXIAL ACTION

A method of expanding the operational capabilities of axial ball couplings is proposed to prevent overloading of mechanical drive parts by automatically separating the ends of the shafts as the torque increases to undesirable values. A new design of a part of a mechanical actuator, called the ball-bending axial axial coupling, was developed and patented, and kinematic-force calculations of its main elements were carried out.

The main results of the conducted researches of the following important problems are presented in the work: the necessity of improvement of characteristics with expansion of functions of ball overrunning couplings is substantiated; scientific approach and synthesis of ball deflection couplings have been developed; an analytical analysis of the design and force parameters of ball bending-protection couplings; a common mathematical model of the condition of automatic disconnection of shaft ends connected by coupling during overloads and prevention of kinematic chain of mechanical drive from overloads; the basic parameters of the coupling are scientifically substantiated and patented by their patent of Ukraine for utility model. The graphical dependences of the power parameters on the geometric factors of the coupling are shown.

Keywords: coupling; ball coupling; bypass-safety coupling; power analysis; torque moment

Вступ. Муфти є широко розповсюдженими у машинобудуванні і використовуються для з'єднання та роз'єднання валів різноманітних приводів машин. Вони під постійною увагою вчених та інженерів з метою їхнього вдосконалення. Окремий клас муфт виконують функції захисних пристроїв, що оберігають деталі або складальні одиниці механічних приводів від перевантажень. Відомо, що згідно ДСТУ механічні муфти мають чотири класи: *некеровані, керовані, самокеровані та комбіновані*. Кожний клас муфт складається з груп, групи – з підгруп і видів. Однак за останні роки на кафедрі ТМДМ розроблено низку нових конструкцій кулькових муфт вільного ходу, які вимагають подальшого дослідження, розрахунку та розширення функціональних можливостей, які вони виконують. Це ставить проблеми стосовно нових конструкцій кулькових обгінних муфт та їх подальше дослідження з метою *покращення ефективності роботи механічних приводів машин*, що передають обертовий момент тільки у одному напрямку. На основі теоретичних розрахунків здійснено наукове підтвердження роботоздатності та актуальності розробленої кулькової обгінно-запобіжної муфти осьової дії, порівнявши її технічні та експлуатаційні

характеристики з існуючими подібними з'єднувальними пристроями механічних приводів машин та механізмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Дослідженням приводів машин та механізмів присвячена велика кількість робіт вчених та інженерів різних країн. Тут проаналізовано роботи, у яких досліджуються розповсюджені частини приводів. Такими пристроями є різноманітні муфти, наприклад [1–11], де розглянуто та досліджено наступне:

у [1] проведено дослідження динамічних навантажень з визначенням їх впливу на напружено-деформований стан кулькових обгінних муфт;

у [2] здійснено визначення величин навантажень кулькових муфт під час їх функціонування з перехідними експлуатаційними процесами;

у [3] описана конструкція та принцип роботи кулькової обгінної муфти транспортного засобу з

© В.О. Малащенко, Є.С. Венцель, А.О. Борис, 2020

наведенням її особливостей включення та передавання робочого обертального моменту;

у [4] розглянуто експлуатаційні показники та обосновано ефективність застосування кулькової обгінно-запобіжної муфти механічних приводів;

у [5] наведено результати аналізу тертя під час вимикання кулькових обмежувачів величини обертального моменту;

у [6] досліджено можливості оптимізації габаритів фрикційних запобіжних муфт за рахунок уточнення коефіцієнту тертя;

у [7] наведено конструкцію, принцип роботи нової запатентованої обгінно-запобіжної муфти. (Патент України № 126111. «Обгінно-запобіжна муфта»);

у [8] проведено визначення оптимальних параметрів кулькової муфти вільного ходу для високонавантажених кінематичних ланцюгів вуглерозмелюючих млинів;

у [9] визначено оптимальні параметри кулькової муфти вільного ходу радіальної дії для задньої втулки велосипедів;

у [10] досліджено можливості покращення ефективності механічних приводів застосуванням кулькових обгінно-запобіжних муфт осьової дії;

у [11] проведено дослідження ефективності функціонування механічного приводу зі змінною кінематичних параметрів ведучої його ланки.

Мета даної роботи полягає в опису конструкції, процесу функціонування та аналізу силової взаємодії кульок з боковими поверхнями пазів, що з'єднуються під час відключення муфти, тобто виконання автоматичної роботи з роз'єднання кінців валів під час перевантажень деталей кінематичних ланцюгів внаслідок збільшення обертального моменту до небажаних величин.

Виклад основного матеріалу роботи.

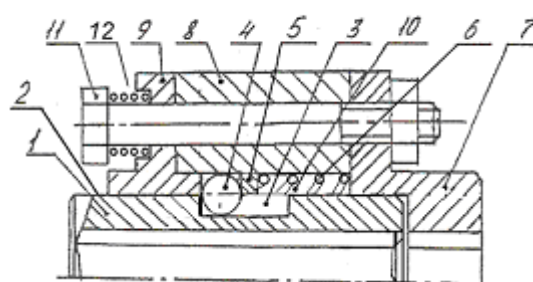
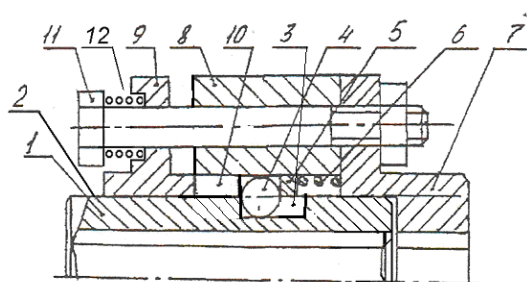


Рисунок 1 – Кулькона обгінно-запобіжна муфта з пружинами під головками з'єднувальних болтів:

а – у стані запобігання перевантажень; б – у робочому стані під час передавання обертального моменту

На рис. 1 наведена нова муфта у двох характерних положеннях, вона складається із: напівмуфти 1 з пазами 2 для шпонки и 3 для кульки 4; кільця 5 з пружиною 6; веденої частини – 7, 8 і 9 з пазами 10; болтів 11, під головками яких розміщено пружини 12. Порядок функціонування кулькової обгінно-запобіжної муфти відбувається дещо подібно до відомої, що описана у роботі [3]. Під час обертання ведучої напівмуфти 1 за годинниковою стрілкою кульки 4 підпружиненим

Беручи до уваги основні недоліки розроблених обгінних муфт радіальної та осьової дії, стверджується потреба подальшого покращення їхніх експлуатаційних характеристик. Першою чергою необхідно виконати процес проектування кулькових обгінно-запобіжних муфт з теоретичними розрахунками основних параметрів. Тому в роботі поставлено і розв'язано задачі синтезу та аналізу запатентованої кулькової обгінно-запобіжної муфти.

На основі теоретичних розрахунків здійснено наукове підтвердження роботоздатності та актуальності даної розробки, порівнявши технічні та експлуатаційні характеристики нової кільцевої обгінно-запобіжної муфти з існуючими подібними пристроями даного типу. Теоретичні розрахунки запропонованих конструкцій муфт є істотним підґрунтям для подальших експериментальних досліджень обгінно-запобіжної муфти.

Доцільно наголосити, що кулькові обгінні муфти функціонують за принципом зачеплення. Вони не схильні до проковзування під час перевантаження кінематичних ланцюгів механічних приводів, у яких вони застосовуються, а обертальний момент передають лише в одному напрямку. Тому і виникла необхідність у розробці нових пристроїв, які розширюють функції кулькових обгінних муфт. Розроблено декілька кулькових обгінно-запобіжних муфт, одна із яких запатентована [7] та представлена на рис. 1. Дана конструкція муфти створена на базі муфти описаної у роботі [3], проте на відміну від існуючої вона значно розширює свої функції оскільки не лише передає обертальний момент у одному напрямку та автоматично роз'єднує вали у разі зміни напрямку руху, але і запобігає дії перевантажень у кінематичному ланцюзі механічного привода.

кільцем 5 заштовхуються в пази 10 веденої напівмуфти 9.

Після заглиблення кульок 4 в пази 10 на величину більшу їх радіуса, боковими поверхнями пазів 3 і 10 напівмуфт 1 та 9 кульки 4 миттєво проштовхуються до периферії. В момент, коли кульки 4 досягнуть кінців пазів 10, вони не можуть більше рухатися ліворуч і починають тиснути на ведену напівмуфту 9, примушуючи її обертатися. Муфта буде передавати обертальний момент.

Робочий стан муфти наведено на рис. 1,б, де кульки 4 одночасно знаходяться в пазах 3 і 10 відповідних напівмуфт.

Зі збільшенням обертового моменту до небажаної величини муфта переходить до нового режиму роботи, тобто роз'єднання кінців валів кінематичного привода. Цей процес відбувається за такою послідовністю. Її кульки 4 осьовою складовою нормальної сили сильніше тиснуть на ведену напівмуфту 9, яка стискаючи регульовані пружини 12, зміщується в осьовому напрямку ліворуч і виходить із зачеплення з кульками. Напівмуфти 1 і 9 розчеплюються і не передають підвищений за величиною обертовий момент. Цим виконується функція запобігання кінематичного ланцюга від дії перевантаження. Цей стан муфти наведено на рис. 1,а, де кульки 4 викочуються із пазів 3 і 10 відповідних напівмуфт. Таким режимом роботи не володіє жодна із відомих обгінних муфт. Тобто пропонується розширити функції кулькових обгінних муфт розробленням нової обгінно-запобіжної муфти.

При обертанні ведучої напівмуфти 1 у зворотному напрямку кульки 4 боковими поверхнями пазів 10 виштовхуються з них і напівмуфти 2 і 9 автоматично роз'єднуються. Муфта переходить до холостого ходу і обертовий момент до веденої напівмуфти у зворотньому напрямку не передає. Тобто запропонована муфта може передавати обертовий момент тільки в одному напрямку та автоматично роз'єднувати вали як при зміні напрямку обертання, так і при зростанні обертового моменту до небажаної величини. Величина максимального обертового моменту визначається технологічним процесом привода та установлюється затагуванням чи відпусканням регулюючих пружин 12, що повністю виключає перевантаження всіх деталей не тільки муфти, а всього кінематичного ланцюга. Внаслідок цього і збільшується кількість функцій, що виконуються не двома, а однією кульковою обгінно-запобіжною муфтою. Це покращує компактність всього механічного привода машин та механізмів.

При точних розрахунках ураховується коефіцієнт нерівномірності навантаження кульок K для визначення максимального обертового моменту. Це дозволяє спростити процес силового розрахунку за силовою взаємодією в зоні однієї кульки з робочою поверхнею напівмуфти (рис. 2, б).

Тоді колова сила для даного випадку визначається за простою залежністю:

$$F_i = \frac{2TK}{Di}, \quad (1)$$

де T – номінальний обертовий момент;

D – діаметр кола центрів кульок;

i – кількість кульок;

K – коефіцієнт нерівномірності навантаження.

Як видно із рис. 2, б, параметр F_1 є рушійною силою під час передавання номінального

обертового моменту. Осьова її складова F_a використовується як рушійна сила для роз'єднання кінематичного ланцюга привода під час перевантажень у кінематичному ланцюгу. Величина цієї сили залежить не тільки від значень максимально допустимого обертового моменту T_{max} , а також від величини кута нахилу пазів напівмуфт до їх твірних.

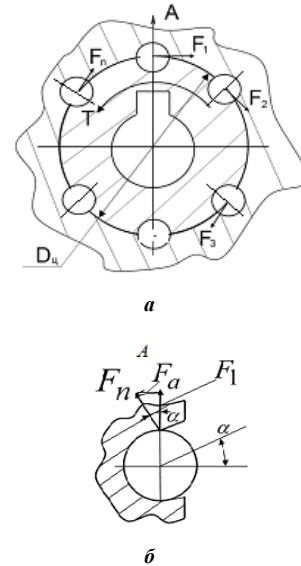


Рисунок 2 – Силова взаємодія в зоні контакту кульок: а – вигляд з торця напівмуфти; б – вигляд на паз перпендикулярно до осі обертання муфти

Очевидно, що при дії максимально допустимого обертового моменту, колова рушійна сила буде визначатися за виразом

$$F_{i \max} = \frac{2T_{\max} K}{Di}. \quad (2)$$

Тоді максимальна осьова складова за рис. 2,б дорівнює:

$$F_{амма} = \frac{2T_{\max} K}{Di} \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

де α – кут нахилу пазів напівмуфт.

Знаючи величину осьової сили, що необхідна для роз'єднання кінців валів механічного привода, можна вибрати пружини обгінно-запобіжної муфти з умови:

$$F_n \leq F_{a \max}, \quad (4)$$

де F_n – сила пружності пружини, що визначається за відомою формулою:

$$F_n = \frac{G d_n^4 \lambda}{8 D_n^3 i_n}, \quad (5)$$

де $G = 8 \cdot 10^4$ МПа – модуль пружності другого роду матеріалу пружини;

d_n – діаметр дроту, з якого виготовляються

пружины;

D_n – середній діаметр пружини;

i_n – кількість пружин;

λ – необхідна для роз'єднання механічного ланцюга осьова деформація пружини. Її номінальна величина у цьому випадку має дорівнювати діаметру кульок для того, щоб кулька змогла вийти із робочого паза напівмуфти.

Тепер з урахуванням рівнянь (3) і (5) із умови (4) матимо рівність

$$\frac{2T_{\max} K}{Di} \operatorname{tg} \alpha = \frac{Gd_n^4 \lambda}{8D_n^3 i_n} \quad (6)$$

Враховуючи умову таку, що осьова деформація пружини λ має дорівнювати діаметру кульок d , із останнього рівняння (6) максимальний обертальний момент запишеться:

$$T_{\max} = \frac{Gd_n^4 d Di}{16D_n^3 i_n K \operatorname{tg} \alpha} \quad (7)$$

За рівнянням (7) зручно проводити кількісний аналіз залежності максимального обертального моменту від основних параметрів кулькових обгінно-запобіжних муфт. Це рівняння має також ознаки універсальності, які підтверджуються тим, що для будь-яких габаритів муфт цього типу, знаючи їх конструктивні параметри, можна вибрати характеристики та кількість пружин, які забезпечують надійне запобігання перевантажень кінематичних ланцюгів, що істотно підвищує надійність їх роботи.

У даному випадку рівняння (7) зведено до зручнішого вигляду, врахувавши сталу величину модуля пружності другого роду матеріалу пружини:

$$T_{\max} = \frac{10^4 d_n^4 d Di}{2D_n^3 i_n K \operatorname{tg} \alpha} \quad (8)$$

Рівняння (8) має ознаки універсальності тому, що дозволяє проводити розрахунки муфт будь-яких габаритних параметрів. На даному етапі проаналізовано у загальному вигляді залежність максимального обертального моменту від діаметру дроту пружин, діаметру самої пружини та осьової її деформації. Загальні графіки цих залежностей наведено на рис. 3, із якого видно, що на значення максимального обертального моменту найбільший вплив має величина діаметру дроту пружини, дещо менше – величина самої пружини та решта параметрів, що входять до рівняння (8).

Вплив решти конструктивних параметрів на величину допустимого обертального моменту видно із аналітичної залежності (8) і при необхідності легко можна визначити, знаючи вихідні параметри технологічного процесу.

Під час перехідних режимів функціонування запропонованих кулькових обгінно-запобіжних муфт кульки можуть не тільки перекинутися

відносно опорної поверхні, а є ймовірність їхніх проковзувань. Такий процес можливий на початку входу та у кінці виходу кульок із відповідних пазів.

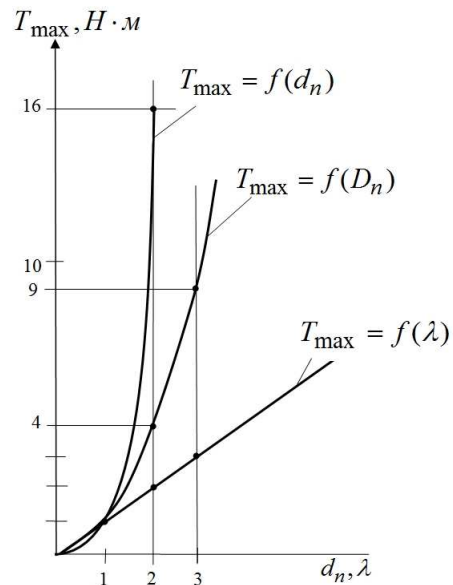


Рисунок 3 – Залежність максимального обертального моменту від діаметру дроту пружини, діаметру пружини та її осьової деформації

Беручи до уваги можливі проковзування кульок під час перехідних процесів, при необхідності точних розрахунків муфт є можливість використати методику, що розроблено в роботі [3], де розглянуто силову взаємодію між кульками і поверхнями пазів напівмуфт для перехідних режимів роботи кулькової обгінної муфти, у якій вкочування і викочування кульок є ідентичними.

Висновки.

1. Пропонується розроблений метод розширення експлуатаційних можливостей кулькових обгінних муфт осьової дії з метою запобігання перевантажень деталей механічних приводів за рахунок автоматичного роз'єднання кінців валів під час збільшення обертального моменту до небажаних величин.

2. Для цього розроблено та запатентовано нову конструкцію частини механічного приводу, яка дістала назву кулькової обгінно-запобіжної муфти осьової дії.

3. Проведено аналіз процесу запобігання перевантажень елементів кінематичних ланцюгів приводів машин та механізмів при зростанні до небажаних величин обертальних моментів. Наведено графічні залежності силових параметрів від геометричних факторів нової муфти.

Список літератури

1. Borys A., Malaschchenko V., Yankiv V. Влияние динамических явлений на нагрузку элементов приводов с шариковой обгонной муфтой. *MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin – Rzeszow, 2016. С. 2–7.
2. Malaschchenko V.O., Borys A.O. Force turning off the torque limiter. *Сборник статей XX международной конференция, Развитие науки в XXI веке*. Харків, 2016. С. 64–70.

3. Борис А.О. Конструкція та принцип роботи кулькової обгінної муфти транспортного засобу. *Науково-технічний журнал «Підйомно-транспортна техніка»*. Одеса, 2017. С. 81–85.
4. Малащенко В.О., Семенов В.Ф., Борис А.О., Матвій Б.Т. Ефективність застосування кулькової обгінно-запобіжної муфти механічних приводів. *Науково-технічний журнал «Підйомно-транспортна техніка»*. Одеса, 2018. С. 104–112.
5. Борис А.О., Венцель Є.С., Носко П.Л., Філь П.В. Тертя під час вимикання кулькових обмежувачів обертового моменту. *Науково-технічний журнал «Проблеми тертя та зношування»*. К., 2016. С. 38–43.
6. Малащенко В.О., Коруняк П.С., Малащенко В.В., Борис А.О. Оптимізація габаритів фрикційних запобіжних муфт шляхом уточнення коефіцієнту тертя. *Науково-технічний журнал «Підйомно-транспортна техніка»*. Одеса. 2013. № 3. С. 22–29.
7. Патент України № 126111. «Обгінно-запобіжна муфта». Борис А.О., Держ. реєстр від 11.06.2018.
8. Сороківський О.І., Куновський Г.П., Кравець І.Є. Визначення оптимальних параметрів кулькової муфти вільного ходу. *Науково-технічний журнал «Підйомно-транспортна техніка»*. 2003. № 3. С. 43–48.
9. Сороківський О.І. Розробка конструкцій і методики розрахунку кулькових муфт вільного ходу: дис... канд. техн. наук спец. 05.02.02 – машинознавство / О.І. Сороківський; Державний ун-т «Львівська політехніка». Львів, 1999. 150 с.
10. Борис А.О. Покращення ефективності механічних приводів застосуванням кулькових обгінно-запобіжних муфт: дис. ... канд. техн. наук спец. 05.02.02 – машинознавство / А.О. Борис; Нац. ун-т «Львівська політехніка». Львів, 2019. 170 с.
11. Strilets O.R. The efficiency of the differential gear to devices for cont-rolling the speed change through a sun gear. *Odeskyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi*. 2017. Iss. 2(52). P. 29–38.

References (transliterated)

1. Borys A., Malaschchenko V., Yankiv V. Влияние динамических явлений на нагрузку элементов приводов с шариковой обгонной муфтой. *MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin – Rzeszow, 2016. С. 2–7.
2. Malaschchenko V.O., Borys A.O. Force turning off the torque

- limiter. *Sbornik stattey HH mezhdunarodnaya konferentsiya, Razvitie nauki v XXI veke*. Kharkiv, 2016, pp. 64–70.
3. Borys A.O. Konstrukciya ta pry`ncy`p roboty` kul`kovoyi obginnoyi mufty` transportnogo zasobu. *Naukovo-technichny`j zhurnal «Pidjomno-transportna texnika»*. Odessa, 2017, pp. 81–85.
4. Malashhenko V.O., Semenyuk V.F., Borys A.O., Matviyiv B.T. Efekty`vnist` zastosuvannya kul`kovoyi obginno-zapobizhnoyi mufty` mexanichny`x pry`vodiv. *Naukovo-technichny`j zhurnal «Pidjomno-transportna texnika»*. Odessa, 2018, pp. 104–112.
5. Borys A.O., Vencel` Ye.S., Nosko P.L., Fil` P.V. Tertya pid chas vy`my`kannya kul`kovy`x obmezhuвачiv obertal`nogo momentu. *Naukovo-technichny`j zhurnal «Problemy` tertya ta znoshuvannya»*. K., 2016, pp. 38–43.
6. Malashhenko V.O., Korunyak P.S., Malashhenko V.V., Borys A.O. Opty`mizaciya gabarytiv fry`kcijny`x zapobizhny`x muft shlyxom utochnennya koeficiyentu tertya. *Naukovo-technichny`j zhurnal «Pidjomno-transportna texnika»*. Odessa. 2013, no. 3, pp. 22–29.
7. Patent Ukrainy` No. 126111. «Obginno-zapobizhna mufta». Borys A.O., Derzh. reyestr vid 11.06.2018.
8. Sorokivs`ky`j O.I., Kunovs`ky`j G.P., Kravets` I.Ye. Vy`znachennya opty`mal`ny`x parametriv kul`kovoyi mufty` vil`nogo xodu. *Naukovo-technichny`j zhurnal «Pidjomno-transportna texnika»*. 2003, no. 3, pp. 43–48.
9. Sorokivs`ky`j O.I. Rozrobka konstrukcij i metody` ky` rozrakhunku kul`kovy`x muft vil`nogo xodu: dy`s... kand. texn. nauk specz. 05.02.02 – mashynoznavstvo / O.I. Sorokivs`ky`j; Derzhavny`j un-t «L`vivs`ka politexnika». L`viv, 1999. 150 p.
10. Borys A.O. Pokrashennya efekty`vnosti mexanichny`x pry`vodiv zastosuvannya kul`kovy`x obginno-zapobizhny`x muft: dy`s... kand. texn. nauk specz. 05.02.02 – mashynoznavstvo / A.O. Borys; Nacz. un-t «L`vivs`ka politexnika». L`viv, 2019. 170 p.
11. Strilets O.R. The efficiency of the differential gear to devices for cont-rolling the speed change through a sun gear. *Odeskyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi*. 2017, Iss. 2(52), pp. 29–38.

Надійшла (received) 29.04.2020.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Малащенко Володимир Олександрович (Малащенко Владимир Александрович, Malashchenko Volodymyr) – доктор технічних наук (Dr. habil. of Eng. S.), професор, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри технічної механіки та динаміки машин; м. Львів, Україна; <http://orcid.org/0000-0001-7889-7303>; e-mail: volod.malash@gmail.com

Венцель Євген Сергійович (Венцель Евгений Сергеевич, Wenzel Yevhen) – доктор технічних наук (Dr. habil. of Eng. S.), професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна; <http://orcid.org/0000-0002-9160-7670>; e-mail: vencelevgen@gmail.com

Борис Андрій Орестович (Борис Андрей Орестович, Borys Andriy) – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), автоматник в'язальних автоматів, ПП «ЛОНКАМЕ», м. Львів, с.м.т. Брюховичі, Україна; e-mail: andriyborys@i.ua.