

УДК 621.825 (075.8)

DOI: 10.15276/pidtt.2.70.2025.04

¹Малащенко В. О., ²Семенюк В. Ф., ³Борис А. О., ⁴Лисяк Б. Р.¹ Національний університет „Львівська політехніка”² Національний університет „Одеська політехніка”³ Національний університет „Львівська політехніка”⁴ Дрогобицька машинобудівельна компанія

ПОКРАЩЕННЯ РОБОТИ ОБГІННОЇ МУФТИ ВЕЛОСИПЕДІВ

Анотація. Беручі до уваги різке збільшення автомобільного транспорту в країні, на часі все гостріше стає питання розробки велотранспорту. Тому є потреба в покращенні їхніх експлуатаційних характеристик. Ця обставина сприяла появі нового напрямку вдосконалення механічних приводів велосипедів, що можуть передавати обертальний момент не за рахунок сили тертя, а зачепленням кульок з робочими поверхнями спеціальних пазів ведучої та веденої півмуфт, що повністю виключає проковзування контактуючих поверхонь та збільшує термін роботи робочого механізму. На основі результатів дослідження та процесів розробки нових кулькових обгінних муфт для багатошвидкісної задньої втулки велосипеда знайдено можливості уточнення деяких важливих положень, що дозволило розробити більш економічні механічні частини приводів. Тут описується проведений аналіз основних експлуатаційних параметрів, виготовлення технічного проекту і муфти в металі, установки її на серійний велосипед та визначається роботоздатність нової муфти в реальних більш критичних умовах навантаження. Це і є основною метою даної статті.

Ключеві слова: транспортні засоби, кулькові обгінні муфти, обгінні муфти, задні втулки велосипедів.

Огляд існуючих джерел. Декілька робочих конструкцій кулькових обгінних муфт базуються на розроблених принципах зачеплення однієї чи більше кульок, що знаходяться в пазах різних конфігурацій та положень. Для більшого розуміння принципу функціонування цих пристроїв наведено простіші робочі їхні схеми (рис. 1-3 та інших).

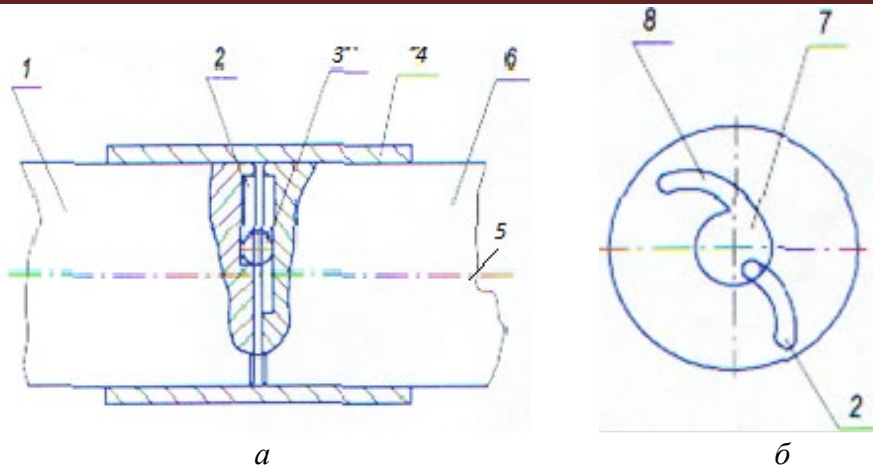


Рис.1. Найпростіша принципова схема кулькової муфти

Відповідні заглиблення на торцях валів 1 і 6 (рис. 1) для розміщення кульки 3 мають різні форми 2, 7 і 8. Кінці валів мають бути співвісні (поз. 5) та розміщені в загальній циліндричній втулці 4.

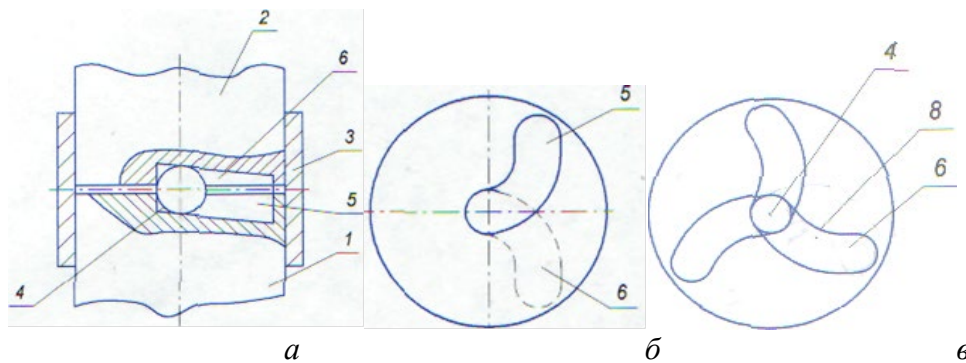


Рис.2. Муфта для з'єднання вертикально розміщених кінців валів

Для з'єднання вертикально розміщених кінців валів запропоновано муфту таку, що показано на рис. 2. Для покращення надійності процесу їх з'єднання пропонується дві можливості, які залежать від технологічних можливостей певного виробництва. Для цього випадку можна виготовляти похилі пази на торцях валів для руху кульки, або на торці ведного вала нарізувати три і більше пазів. На рис. 3 наведено ще одну можливість з'єднання співвісних кінців валів. Тут для надійнішого їх з'єднання застосовано пружний елемент 6, що закріплюється гвинтом 5 до кінця веденого вала 4. Цей пружний елемент тісне на кульку 2 і сприяє вкочуванню її до пазу веденого вала 1. Для покращення центрування кінці валів подібно до попередніх муфт знаходяться у загальній втулці 3.

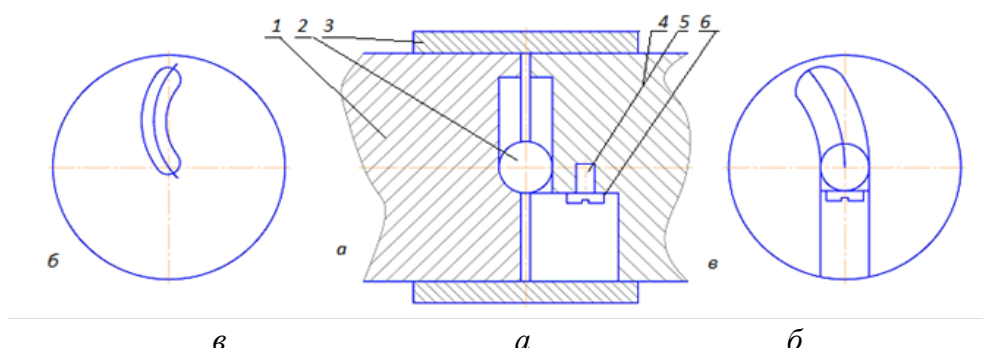


Рис.3. Кулькова обгінна муфти з пружним елементом

На основі наведених загальних принципів з'єднань півмуфт (рис. 1-3) та інших конструкцій муфт, що створені на кафедрі на рівні патентів, запропоновано і практично досліджено на серійному велосипеді муфту (рис.5). Принцип роботи цієї муфти пояснюється за допомогою розрахункової простішої схеми, що наведеної на рис. 4 (де – *a* є її загальний осевий розріз, а справа – *б* вигляд торця веденої півмуфти в робочому стані такому, коли кульки всі рівномірно навантажені).

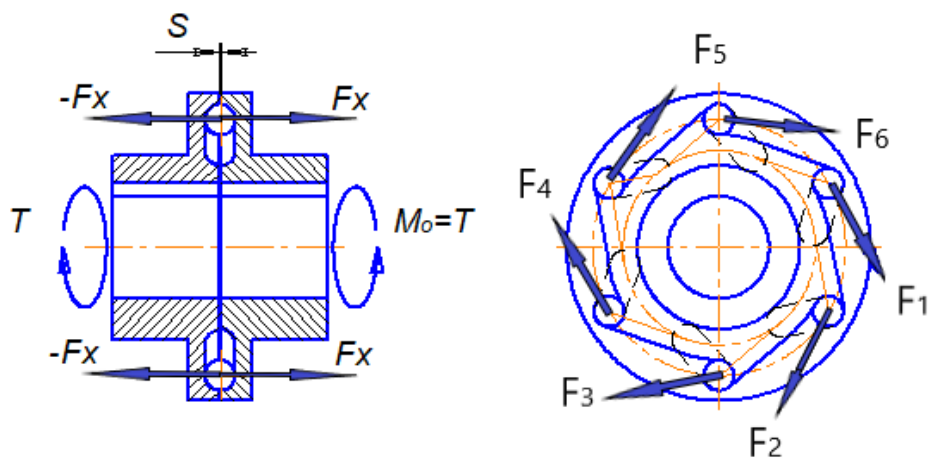


Рис. 4. Базова розрахункова схема кулькової обгінної муфти

Розрахункова схема муфти (рис. 4) дещо спрощена і наведена з такою метою, щоб пояснити та уточнити силову взаємодію між робочими поверхнями півмуфт та з'єднувальними кільками. Тепер легко із схеми видно деякі конструктивні особливості таких пристроїв. Тут на торці ведучої півмуфти виконано пази зі зміщенням від осі обертання муфти до периферії її фланця, а на торці веденої півмуфти (рис 4,б) виконано кільцевий паз та дотичні до нього пази, довжини яких погоджено з діаметрами кульок. В пазах півмуфт розміщено кульки, кількість яких відповідає кількості дотичних пазів. Під час передавання навантаження

кульки відцентровими силами переміщуються до периферійних ділянок тангенціальних пазів веденої півмуфти та тиснуть на їхні бокові поверхні силами F_1-F_6 і примушують муфту обертатися як одне ціле (рис. 4,а).

Тобто коли кульки в положенні *б*, тоді обертальний момент вони передають не за рахунок сил тертя між барабаном і зіркою, а внаслідок зачеплення кульок з робочими поверхнями пазів півмуфт. Тобто у випадку, коли ведуча півмуфта обертається за годинниковою стрілкою (див. рис. 4) кульки під дією власної ваги та відцентрової сили рухаються від центра обертання муфти до периферії і заковчуються у дотичні пази веденої півмуфти. На основі наведеної муфти (рис. 4) розроблено зразок задньої втулки три швидкісного велосипеда, простіша конструкція якої наведена на рис.5. Розроблену конструкцію можна застосовувати і для інших велосипедів. Для цього достатньо погодити кількість зірок 2 (рис. 5) із потрібним числом швидкостей руху (числом переключень).

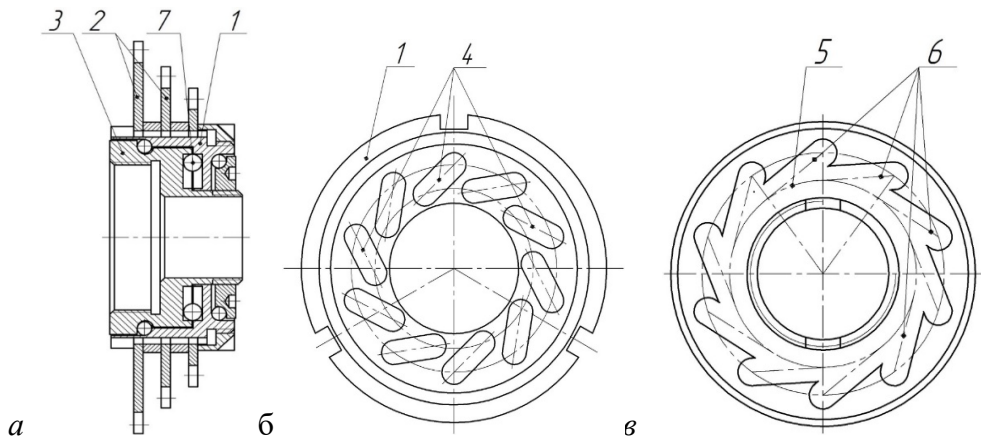


Рис. 5. Тришвидкізна кулькова обгінна муфта велосипеда: *а* – розріз загального вигляду муфти; *б* – вигляд з торця ведучої півмуфти; *в* – вигляд з торця веденої півмуфти

Наведена на рис. 5 муфта виготовлена в металі та досліджена її роботаздатність при різних практичних навантажувальних режимах. Подібно до заданого робочого режиму експлуатації одна із зірочок 2 (рис. 5,а) знаходиться в зачепленні з ланцюговою передачею. У разі руху корпусу 1 за годинниковою стрілкою, кульки 7 рухаються в пазах 4 до периферії та швидко потрапляють у дотичні пази 6 втулки 3 і заклинюються між пазами 4 та 6. Тоді втулка 3 починає обертатись разом з корпусом 1 і передавати обертальний момент. У випадку зміни напрямку обертання зірочок 2, а також коли кутова швидкість втулки 3 буде більшою за кутову швидкість корпусу 1, тоді кульки 7 виштовхуються з периферійного положення боковими поверхнями пазів 4 та 6 у кільцевий паз 5 втулки 3. Далі кульки 7 рухаючись тільки

по кільцевому пазу 5 і розмикають кінематичний зв'язок між корпусом 1 та втулкою 3 і муфта переходить до режиму холостого ходу. Деякі муфти подібного типу з певними конструктивними особливостями можна знайти в роботах [1-6] та наших інших, що наведених у списку літератури [7-16].

Мета дослідження – проведення аналітичного аналізу основних кінематично-силових параметрів приводів велосипедів з метою покращення їхніх експлуатаційних показників.

Виклад основного матеріалу. Для встановлення процесів руху кульок по торцевих пазах півмуфт розроблено та використано простіші розрахункові схеми, одну із яких наведено на рис. 6, а іншу – на рис. 7.

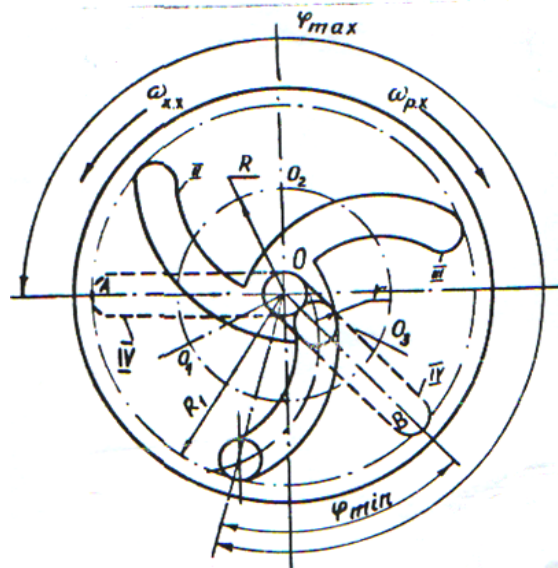


Рис. 6. Схема можливіх крайніх співісних розташувань пазів ведучої і веденої півмуфти у кульковій муфті вільного ходу

Для крайніх положень (рис.6) значення величин основних кутів:

$$\varphi_{\min} = \pi/z, \quad \text{а} \quad \varphi_{\max} = \pi \left(\frac{5}{4} + \frac{1}{z} \right),$$

де z - довільне число пазів веденої ланки муфти; l – кількість пазів веденої ланки муфти, що знаходяться в ніжньому положенні. Із рис. 6 видно, що мінімальний час вмикання даної муфти відповідає першому випадку (I), а максимальний час включення відповідає випадку – (II). Для розгляду загального закону руху кульки використовується рис. 7.

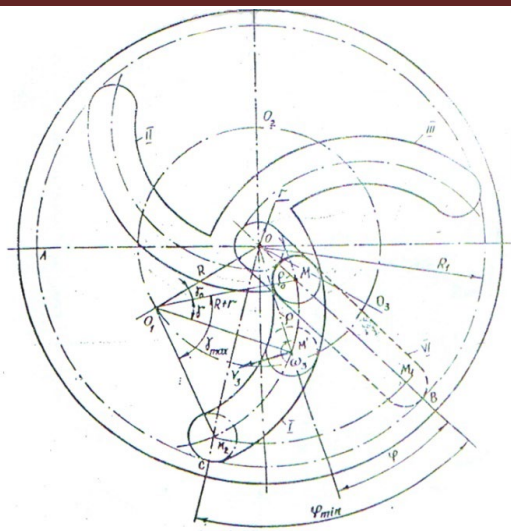


Рис. 7. Схема руху кульки по пазу веденої півмуфти

Із рис.7 видно початок вкочування кульки в паз веденої півмуфти та її рух до периферії криволінійного паза. Аналогічно можна аналізувати розрахункові схеми для будь-якої кількості пазів на торцях веденої та ведучої ланок муфт такого класу. Для визначення шуканих величин вибрано точку O_1 . Тоді із трикутника O_1OM (рис. 7) маємо залежності:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_0 &= \frac{OM}{OO_1}; & \operatorname{tg} \gamma_0 &= \frac{\sqrt{2Rr + r^2}}{R}, & \gamma_0 &= \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2Rr + r^2}}{R}. \\ OM &= \sqrt{2Rr + r^2}; & OO_1 &= R. \end{aligned} \tag{1}$$

Кут γ_0 дає уяву про величину початкового зміщення кульки по відношенню до осі обертання муфти, тому важливим є проведення кількісного його аналізу. Таки дослідження проведено для більш уживлених параметрів муфт. Отримані результати як приклад наведено нижче в табл. 1.

Таблиця 1. Параметри зміни кута γ_0 для $r = 2$ мм.

R	мм	2	4	9	16	25	36	64
$\frac{\sqrt{2rR + r^2}}{R}$	—	1,73	1,12	0,70	0,51	0,41	0,34	0,25
γ_0	град.	59,97	48,24	34,99	27,02	22,15	18,67	14,14

Із рис. 7 видно, що фактичне значення кута γ буде змінюватись у межах:

$$\gamma_0 \leq \gamma \leq \gamma_0 + \gamma_{\max}, \quad (2)$$

Значення кута $\gamma_{\max}$ визначається із рівності довжин відповідних дуг (рис. 7):

$$M_1 M_2 = MM_2; \quad M_1 M_2 = (R_1 - r)\varphi_{\min}; \quad \gamma_{\max} = \frac{R+r}{R_1-r}\varphi_{\min}. \quad (3)$$

Остаточну залежність кута γ від кута повороту ведучої ланки φ можна записати у вигляді

$$\gamma = \frac{R+r}{R_1-r}\varphi. \quad (4)$$

Радіус - вектор ρ , що характеризує відстань від центра обертання O до з'єднуючого елемента M' , буде змінюватись від $\rho_0 = 2r$ до ρ_i .

Тоді за теоремою косинусів із $\Delta O_1 O M'$ маємо наступну залежність

$$\begin{aligned} \rho_i &= R^2 + (R+r)^2 - 2R(R+r)\cos(\gamma_0 + \gamma). \\ &= r^2 + 2(R^2 + Rr)[1 - \cos(\gamma_0 + \gamma)]. \end{aligned} \quad (5)$$

Результати проведених досліджень (формули - 1-5) є суттєвим підґрунтям для визначення основних кінематичних параметрів: швидкості, прискорення, часу вмикання подібного приводу з кульковими муфтами радіальної дії. Вони також зв'язують радіуси кривизни пазів і кульок з кутами повороту ведучої ланки, що значно впливають на ці показники функціонування. Особливо для обгінних муфт час їх включення в роботу має визначальне значення. Час вмикання нової кулькової обгінної муфти описується так $t_{\text{вк. min}} \leq t_{\text{вк. max}} \leq t_{\text{вк. max}}$,

де параметри визначаються за виразами (6) та (7):

$$t_{\text{вк. min}} = \frac{M_1 M_2}{\omega_i} = \frac{\pi \varphi_{\max} (R+r)}{180 \omega_i}, \quad (6)$$

$$t_{\text{вк. max}} = \frac{AM_2}{\varpi_i} = \frac{\pi\varphi_{\text{max}}(R+r)}{180\varpi_i}. \quad (7)$$

Для усталеного режиму руху ведучого ланцюга час вмикання муфти знайдемо з припущення, що кутова швидкість вмикання рівна кутовій швидкості цього привода за наступним виразом

$$T_{\text{вим}} = \frac{M_1 M_2}{\varpi_{\text{ycm}} R} = \frac{\pi\varpi_{\text{min}}(R+r)}{180\varpi_{\text{ycm}} R}. \quad (8)$$

Для запропонованої муфти задньої втулки велосипеда, як і для будь-якої іншої, за одержаними залежностями можна провести кількісний аналіз.

За наведеними залежностями для муфти (рис.5) проведено кількісний аналіз за наступними параметрами:

$$\varphi_{\text{min}} = \frac{360^\circ}{10} = 36^\circ \quad (10)$$

$$\varpi_{\text{ycm}} = \frac{V}{R} = \frac{2,7 \cdot 10^3}{13,5} = 200 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

– кількість пазів у півмуфтах);

(прийнята середня швидкість руху $V = 10 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, або $2,7 \text{ м/с}$ радіус кола центрів кульок $R = 13,5 \text{ мм}$.)

Для наведених даних залежність часу вмикання муфти від геометричних розмірів кульок і пазів характеризуються величинами, що наведені в табл.2.

Таблиця 2. Залежність часу вмикання муфти від геометричних параметрів

R	мм	2	4	6	8	10
$\frac{R+r}{R}$	-	2,00	1,50	1,30	1,25	1,20
$T_{\text{вк}}$	с	$3,14 \times 10^{-3}$	$4,71 \times 10^{-3}$	$4,08 \times 10^{-3}$	$3,92 \times 10^{-3}$	$3,77 \times 10^{-3}$

Примітка. Час вмикання муфти для меншої кульки $r = 2 \text{ мм}$ дорівнює

$$\frac{\pi\varphi_{\text{min}}}{180\varpi_{\text{ycm}}} = \frac{3,14 \times 36}{180 \times 200} = 3,14 \times 10^{-3}. \quad (\text{секунд}). \quad (9)$$

Висновки

Результати з досліджень часу включення кулькової обгінної муфти переконливо підтверджують її роботоздатність тому, що вона зі

збільшенням кількості пазів має майже миттєве включення і виключення.

Однак теоретично в статті доведено також, що кулькові обгінні муфти радіальної дії мають і незначні недолики під час включення їх до робочого стану з причини нерівномірного вкокування всіх робочих кульок до кінців своїх пазів.

Вияснені причини, що перешкоджають широкому застосуванню муфт радіальної дії, що спонукає проведення подальших удосконалень її експлуатаційних показників та розробку нового типу цього обладнання.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 2278 – 93. Муфти механічні. Терміни на визначення.
2. Гащук П.М., Малащенко В.В. Обґрунтування основних параметрів кулькових муфт вільного ходу// Підйомно-транспортна техніка. – 2005. – № 4. – С. 34–39.
3. Гащук П.М., Малащенко В.В., Сахро Г.Г. Вплив геометричних параметрів на час вмикання кулькових обгінних муфт стартерів транспортних засобів// Підйомно-транспортна техніка. – 2006. – № 2 (18). – С. 6 – 11.
4. Кравець І.Є., Малащенко В.В., Сороківський О.І. Силова взаємодія між елементами кулькових муфт вільного ходу// Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні: Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2003, № 480. – С.73 – 76.
5. Малащенко В.О., Гащук П.М., Сороківський О.І., Малащенко В.В. Монографія. Кулькові механізми вільного ходу. – Львів: Новий Світ – 2000, 2012. – 212 с.
6. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. – Львів. НУ ЛП, 2006. – 196 с. і 2009. – 216с. (2-е видання).
7. Малащенко В.О., Стрілець В.Н., Стрілець О.Р., Федорук В.А. Нові муфти механічних приводів машин. – Рівне. НУВГП, 2019. -190 с.
8. Malascenko V. Sorokivskij O. The selektion of Parametrns of a Coaster Ball Clutch and Rekommodation for its Konstruktion. Transaktions of the Universies of Kosise. - 2002. - № 2. – С. 1 – 6.
9. Малащенко В.О., Сороківський О.І. Навантаження напівмуфт кулькової муфти вільного ходу зосередженою осьовою силою / Машинознавство. – 2002. - № 5. – С. 46 – 48.
10. Малащенко В.О., Кравець І.Є., Сороківський О.І. Силова взаємодія між елементами кулькових муфт вільного ходу / Вісник НУ „ Львівська політехніка" – 2003. - № 480. – С. 73 – 76.
11. Обгінна муфта. Патент України № 56483 А. Бюл. № 5, 2003 / В.О. Малащенко, Г. П. Куновський, І.Є. Кравець, О.І. Сороківський.

12. Борис А.О. Патент України № 126111. "Обгінно-запобіжна муфта". Держ. реєстр від 11.06.2018.

13. Обгінна муфта. Патент України: № 53354 А. Бюл. № 1 і № 56483 А. Бюл. № 5, 2003 / В.О. Малащенко, Г.П. Куновський, І.Є. Кравець, О.І. Сороківський.

14. Protsenko, V.; Malashchenko, V.; Kłysz, S.; Nastasenکو, V.; Babiy, M.V.; Avramenko, O. Load capacity and design parameters of ball-type safety-overrunning clutch with inclined grooves sides. Diagnostyka 2022, 23, 2022403.

15. Малащенко В.О., Сороківський О.І., Гомішин Я. Vol'nobežnā gul'očkovā spojka. Strojāstvo Strojirentvi. – 2001. – №42. – С. 56–57.

16. Malaščenko V. Sorokivskij O. The selection of Parameters of a Coaster Ball Clutch and Recommendation for its Construction. Transactions of the Universities of Košice. – 2002. – №2. – С. 1–6.

IMPROVEMENT OF THE OPERATION OF THE BICYCLE OVERRIDE COUPLING

¹Malashchenko V. O., ²Semenyuk V. F., ³Boris A. O. ⁴Lysiak B. R.

¹National University "Lviv Polytechnic"

²National University "Odesa Polytechnic"

³National University "Lviv Polytechnic"

⁴Drohobych Machine-Building Company

Abstract. Taking into account the sharp increase in motor transport in the country, the issue of developing bicycle transport is becoming increasingly acute. Therefore, there is a need to improve their operational characteristics. This circumstance contributed to the emergence of a new direction in improving mechanical drives of bicycles that can transmit torque not due to friction, but by engaging balls with the working surfaces of special grooves of the driving and driven half-couplings, which completely eliminates slipping of the contacting surfaces and increases the service life of the working mechanism. Based on the results of the research and development processes of new ball overrunning clutches for multi-speed rear hubs of bicycles, opportunities for clarification of some important provisions have been found, which has allowed the development of more economical mechanical parts of the drives. This describes the analysis of the main operational parameters, the manufacture of a technical design and a clutch in metal, its installation on a serial bicycle, and the operability of the new clutch in real, more critical load conditions is determined. This is the main purpose of this article.

Keywords: vehicles, ball overrunning clutches, overrunning clutches, rear hubs of bicycles.