

УДК 621.01.(075.8)

Малашенко В. О., д.т.н., професор (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів), **Федорук В. А., інженер,**
Стрілець В. М., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ПРИНЦИП ПЕРЕДАЧІ ЕНЕРГІЇ ДВИГУНІВ АВТОМАТИЧНИМИ ІНЕРЦІЙНО-ВАКУУМНИМИ МУФТАМИ ТА ЇХ ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наведені нові способи передавання обертального моменту інерційно-вакуумними муфтами за рахунок інерційності мас їх елементів та з'єднання валів способом адгезії півмуфт. Описані конструкції інерційно-вакуумних муфт для реалізації нових способів передавання обертального моменту та особливості динамічних характеристик муфт в різноманітних формах їх виконання.

Ключові слова: інерційно-вакуумні муфти, спосіб, адгезія, обертальний момент, класифікація.

Постановка проблеми. Підвищення технічних характеристик, надійності та довговічності самокерованих муфт, які широко використовуються в загальному та спеціальному машинобудуванні, а також розширення їх технологічних можливостей при передачі обертального моменту з швидкохідних валів в циклічному режимі за рахунок використання інерційності маси ведучої півмуфти та адгезії виконавчих елементів муфти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Експлуатаційні вимоги сприяли розробці та проведенню аналізу різноманітних конструкцій самокерованих муфт, що описані у роботах [1-4]. Однак, серед відомих конструкцій муфт відсутні такі, які одночасно поєднували б в собі максимальну кількість основних властивостей самокерованих муфт і поряд з тим відповідали б додатковим вимогам до них, приміром компенсування осьового, радіального та кутового збільшеного незбігу геометричних осей валів, забезпечення нелінійної жорсткості, демпфуючої здатності та енергоємності, особливо на швидкохідних валах при циклічній роботі кінематичного ланцюга. Крім того, самокеровані муфти, обертальний момент в яких передається за рахунок сил тертя на поверхнях дотику фрикційних елементів, мають нестабільний характер роботи, особливо в неусталеному режимі роботи, коли відбувається проковзування фрикційних поверхонь дотику півмуфт через залеж-

ність часу зчеплення півмуфт від величини зведеного моменту інерції ведених мас, моменту сил опору, кутової швидкості обертання ведучого вала та часу вмикання. Це спонукало розробку нового класу раціональніших муфт.

Метою роботи є процес розроблення нових конструкцій інерційно-вакуумних муфт для реалізації нових способів передачі обертального моменту з швидкохідних валів в циклічному режимі.

Реалізація роботи. На основі аналізу способів передачі обертального моменту і конструкцій муфт для їх реалізації, описаних у роботах [1-4], розроблені нові способи передачі обертального моменту [5, 6, 7]. Суть способу [5, 6] полягає в тому, що контакт ведучої та веденої півмуфт і створення тертя між ними виконується осьюою силою, яка виникає за рахунок інерційності маси ведучої півмуфти, встановленої на ведучому валу на косих шліцах, або на несамогальмівній різьбі. Запропонований спосіб передачі обертального моменту забезпечує високу плавність вмикання муфти з одночасним зменшенням часу неусталеного режиму, що забезпечує зменшення динамічного навантаження на вали, а як наслідок, зменшення нагрівання поверхонь тертя та їх спрацювання. Спосіб [7] передачі обертального моменту полягає в з'єднанні двох півмуфт за рахунок розрідження, яке створюється між ведучою і веденою півмуфтами. На основі вказаних нових способів передачі обертального моменту на даний час розроблені інерційно-вакуумні муфти [8, 9].

Муфта запобіжна інерційно-вакуумна [8] (рис. 1), складається з ведучої півмуфти 1, виконаної у вигляді еластичної тарілки, закріпленої за допомогою фланця 2 та гвинтів 3 на стакані 4 з внутрішніми косими шліцями 5, розміщеними на проміжній втулці 6 з такими ж шліцями на зовнішній поверхні. Проміжна втулка 6 розміщена на ведучому валу 7 за допомогою різьби 8, витки якої направлені в протилежну сторону нахилу шліців 5. Стакан 4 та проміжна втулка 6 підпружинені на ведучому валу 7 пружинами стискання 9 і 10, відповідно, в протилежні сторони, причому пружність пружини 10 проміжної втулки 6 в стані спокою більша пружності пружини 9 стакана 4. Зміна пружності пружин регулюється гайками 11 і 12. Ведуча півмуфта має перепускний клапан 13. На веденому валу 14 за допомогою гвинтів 15, шайби 16 та шпонки 17 закріплена ведена півмуфта 18, виконана у вигляді упорного диска.

Ця запобіжна інерційно-вакуумна муфта працює так. При вмиканні двигуна, на початку обертання ведучого вала, сила радіального опору в

різьбовому з'єднанні менша, ніж сила радіального опору в шліцьовому з'єднанні з косими шліцями, тоді проміжна втулка з розмішеним на

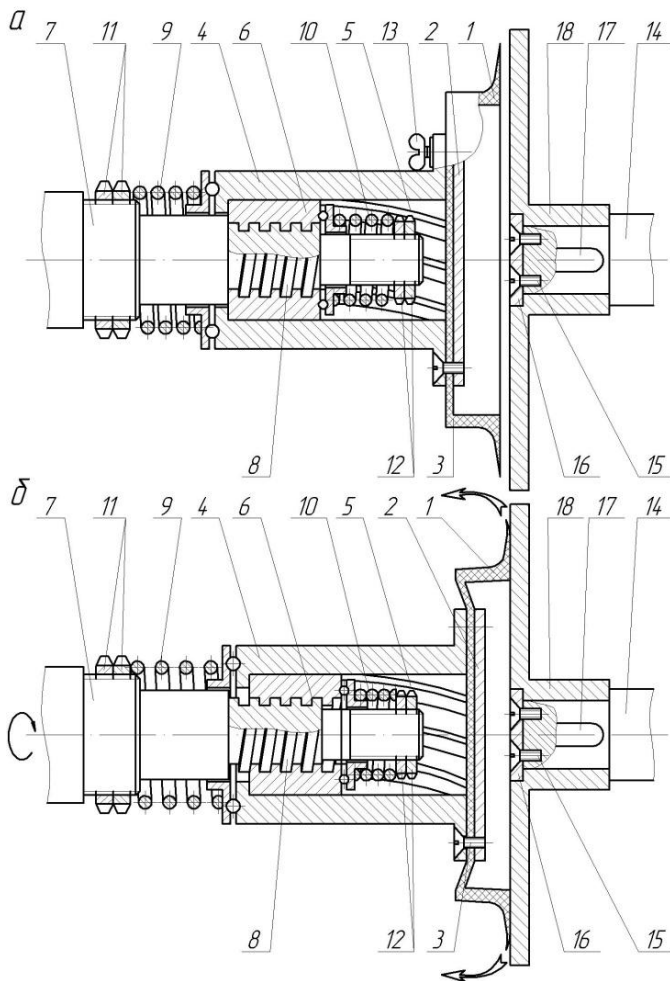


Рис. 1. Муфта запобіжна інерційно-вакуумна: *a* – положення до роботи; *б* – робоче положення

ній стаканом та ведучою півмуфтою під дією сили, що виникає від інертності їх мас, зміщується на різьбі ведучого вала до контакту з торцевою поверхнею веденої півмуфти. При цьому еластична тарілка дефо-

рмується і повітря витискається в атмосферу, а торцева поверхня притискається до торцевої поверхні веденої півмуфти. Далі, при обертанні ведучого вала і зміщенні проміжної втулки в крайнє положення, стакан під дією тієї ж сили, що виникає від інертності мас ведучої півмуфти, зміщується від веденої півмуфти, повертаючи деформовану еластичну тарілку у вихідне положення. Завдяки цьому між ведучою і веденою півмуфтами виникає більше розрідження, яке забезпечує повне зчеплення півмуфт і муфта набуває робочого режиму.

При збільшенні обертального моменту на веденому валу, еластична тарілка деформується, щільність стику порушується і повітря з атмосфери попадає в зону розрідження між півмуфтами, що призводить до їх роз'єднання. Після цього, завдяки тому, що пружність пружини 10 проміжної втулки більша пружності пружини 9 стакана, проміжна втулка з розміщенням на ній стаканом з ведучою півмуфтою повертається у початкове положення, що зумовлює в подальшому повернення в початкове положення стакана. Для роз'єднання ведучої і веденої півмуфт при нормальному режимі роботи муфти, порожнина між ними за допомогою перепускного клапана з'єднується з атмосферою. В наступному циклі вмикання двигуна процес зчеплення півмуфт повторюється.

В конструкції описаної вище запобіжної інерційно-вакуумної муфти ведуча півмуфта виконана у вигляді еластичної тарілки нестандартного виконання, однак для урізноманітнення технологічних можливостей та технічних характеристик інерційно-вакуумних муфт в їх конструкціях поряд з нестандартними еластичними елементами можуть використовуватись і класичні присоски різноманітних форм та виконань, так як принцип роботи таких муфт і схеми дії сил між їх ведучими і веденими елементами на принципі адгезії між контактними поверхнями будуть ідентичними. Так, на рис. 2 показана схема присоски і дія в ній сил при передачі обертального моменту з ведучого вала на ведений, де F_i – складова сили інерції ведучої півмуфти; F_a – сила адгезії ведучої та веденої півмуфт; F_f – сила тертя між ведучою півмуфтою (присоскою) та веденою півмуфтою; T – обертальний момент.

Відповідно до принципу роботи муфти, після первинної деформації еластичної тарілки (присоски), і контакту її торцевої поверхні з поверхнею веденої півмуфти та витиснення повітря з під тарілки (присоски) між контактними поверхнями півмуфт виникає розрідження від складової сили інерції стакана

$$F_i = mR\omega^2 \cos \alpha, \quad (1)$$

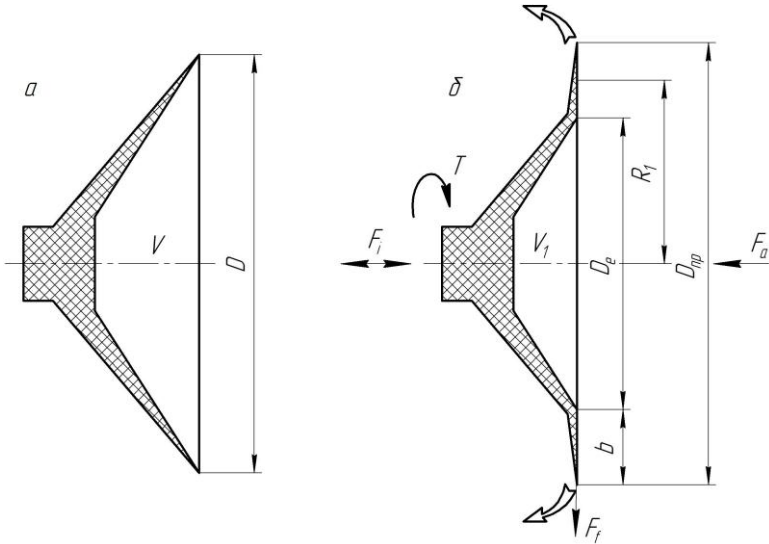


Рис. 2. Схема присоски і дія в ній сил при передачі обертового моменту:
a – положення до роботи; *б* – робоче положення

де m – маса стакану; R – радіус інерції центра ваги стакану; ω – номінальна кутова швидкість обертання ведучого вала; α – кут нахилу косих шліців стакану.

Нормальна сила притискання ведучого та веденого елементів муфти, що створюється адгезією між поверхнями контакту між присоскою та веденою півмуфтою, складає

$$F_n = mR\omega^2 \cos \alpha - F_{np}, \quad (2)$$

де F_{np} – сили пружності пружини і еластичної тарілки (присоски).

$$F_{np} = mR\omega_0^2 \cos \alpha, \quad (3)$$

де ω_0 – кутова швидкість обертання ведучого вала, при якій будуть подолані сили пружності пружини та присоски.

Підставивши (3) у (2) отримуємо:

$$F_n = mR \cos \alpha (\omega^2 - \omega_0^2). \quad (4)$$

З джерел [10] відомо, що

$$F_n = \frac{\pi(D_{np} - 2b)^2}{4(P_0 - P_1)}, \quad (5)$$

де D_{np} – діаметр зовнішньої кромки присоски; b – ширина ущільнюючого поясочка; P_0 – тиск довкілля; P_1 – тиск всередині порожнини присоски (еластичної тарілки).

Привівнявши вирази (4) і (5), отримуємо:

$$mR \cos \alpha (\omega^2 - \omega_0^2) = \frac{\pi (D_{np} - 2b)^2}{4(P_0 - P_1)}. \quad (6)$$

З виразу (6) видно, що збільшення розрідження під присоскою (еластичною тарілкою), а відповідно, і нормальної сили притискання ведучого та веденого елементів муфти при сталих параметрах присоски і кутової швидкості обертання ведучого вала можна добитись збільшенням маси стакану, що призводить до збільшення обертального моменту, що передається з ведучого вала на ведений і визначається з виразу

$$T = \frac{F_f (D_{np} - b)}{2} = \frac{f F_n (D_{np} - b)}{2}, \quad (7)$$

де f – коефіцієнт тертя між поверхнями ведучого та веденого елементів муфти.

Крім того, відомо [10], що нормальна сила притискання за рахунок адгезії поверхонь при однаковому розрідженні під присоскою буде більшою при використанні жорсткої присоски в порівнянні з еластичною присоскою. Тому використання в конструкціях інерційно-вакуумних муфт присосок з різноманітною жорсткістю як по матеріалу, з якого вони виготовлені, так і по формі їх виконання, показаних на рис. 3, забезпечує урізноманітнення технічних характеристик та технологічних можливостей муфт відповідно до технологічних вимог при роботі кінематичного ланцюга.

Однак, всі наведені варіанти виконання присосок, тобто варіанти виконання ведучих півмуфт в конструкціях інерційно-вакуумних муфт передбачають додатковий механізм притискання присосок (ведучих півмуфт) до контактних поверхонь ведених півмуфт і попереднього витиснення повітря з під присосок, що в свою чергу ускладнює конструкції муфт. Крім того, для створення більшої величини розрідження під присоскою необхідний значний хід стакану на косих шліцах втулки. Тому була розроблена конструкція присоски (ведучої півмуфти) у вигляді тарілчастої оберненої присоски підпружиненої в сторону веденої півмуфти пружиною стиснення (рис. 4)

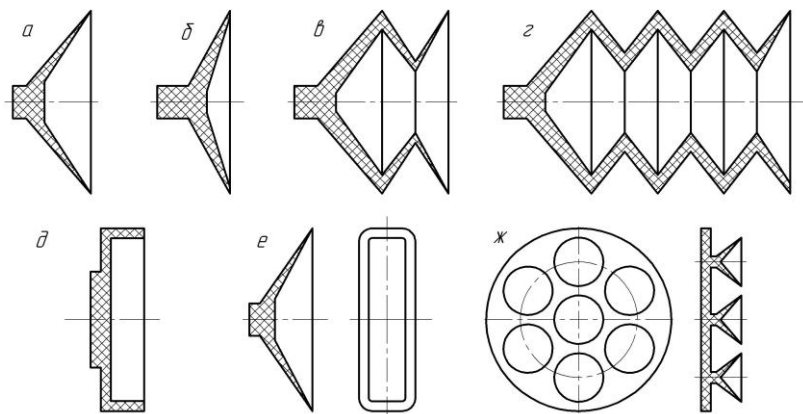


Рис. 3. Варіанти виконання присосок в інерційно-вакуумних муфтах: *a* – конусна глибока; *б* – конусна плоска; *в* – у вигляді одноступеневого сильфона; *г* – багатоступеневого сильфона; *д* – тарілчаста; *е* – еліпсоподібна; *ж* – складена

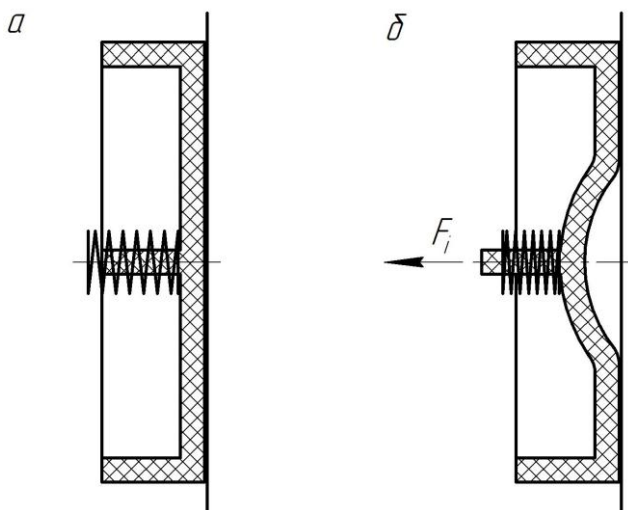


Рис. 4. Схема тарілчастої оберненої присоски: *a* – муфта в неробочому положенні; *б* – муфта в робочому положенні

Конструктивні особливості та властивості присосок визначають характер функцій жорсткості інерційно-вакуумних муфт, а неліній-

ність жорсткості муфт позитивно впливає на зниження резонансних амплітуд коливань. На рис. 5 показані характеристики інерційно-вакуумних муфт з різними варіантами виконання присосок (ведучих півмуфт).

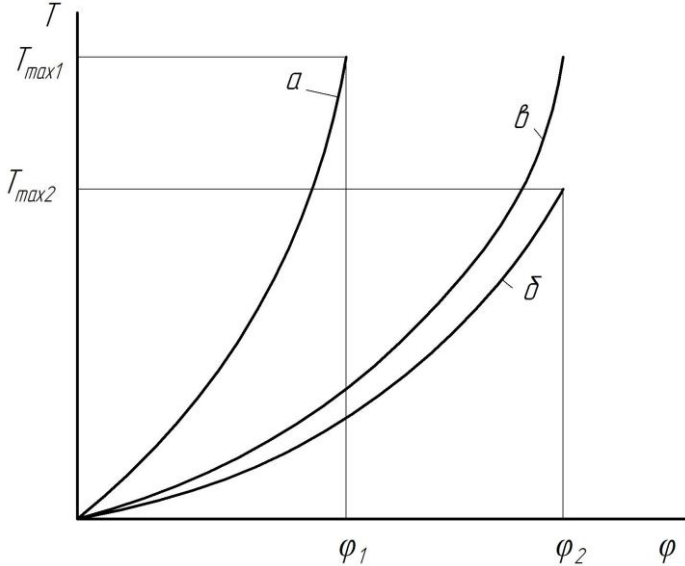


Рис. 5. Характеристики інерційно-вакуумних муфт з рівнозначним розрідженням під присоскою: a – з жорсткою присоскою; b – з еластичною присоскою; v – з тарілчастою оберненою присоскою

Із рис. 5 видно, що характер функції муфти з тарілчастою оберненою присоскою, визначається насамперед конструктивними особливостями муфти, яка забезпечує створення розрідження під присоскою безпосередньо в момент вмикання ведучого вала та властивостями присоски, яка поряд з еластичністю має високу несучу здатність, що забезпечує передачу підвищеного обертового моменту.

На основі конструкції тарілчастої оберненої присоски була розроблена конструкція муфти інерційно-вакуумної регульованої [9].

Муфта інерційно-вакуумна регульовальна (рис. 6) складається з ведучої півмуфти 1, виконаної у вигляді еластичної тарілки з днищем 2, яка серединою внутрішньої поверхні днища 2 закріплена за допомогою гвинтів 3 та шайби 4 на підпружиненій, через упорний підшипник 5, пружиною 6 втулці 7, встановленій на ведучому валу 8 за допомогою

несамогальмівної різьби 9, витки якої направлені в сторону протилежну напрямку обертання ведучого вала 8. Пружність пружини 6 регулюється гайками 10. На різьбовій поверхні 11 ведучого вала 8 розміщений обмежувач 12 ходу втулки 7 з конtringайкою 13. Ведуча півмуфта 1 зовнішньою поверхнею днища 2 знаходиться в постійному контакті з торцевою поверхнею веденої півмуфти 14, закріпленої за допомогою шайби 15, гвинтів 16 та шпонки 17 на веденому валу 18.

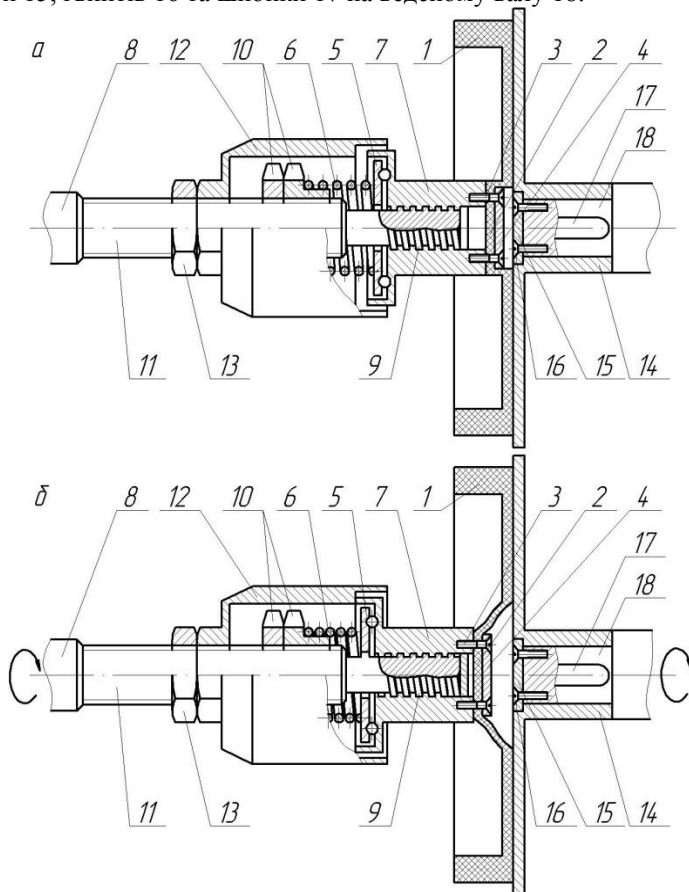


Рис. 6. Муфта інерційно-вакуумна регульована: *a* – положення до роботи; *б* – робоче положення

Принцип роботи муфти інерційно-вакуумної регульованої такий. В неробочому стані муфти ведуча та ведена півмуфти можуть вільно обертатись одна відносно одної. При вмиканні двигуна, в початковий

момент обертання ведучого вала втулка під дією сили, що виникає від інертності мас ведучої півмуфти, пересилоючи пружність пружини зміщується на самогальмівній різьбі вздовж ведучого вала до контакту обмежувача ходу. В момент зміщення втулки, закріплене до неї серединою внутрішньої поверхні днище еластичної тарілки деформується в середній частині. Завдяки щільному приляганню крайніх торцевих зовнішніх поверхонь днища ведучої і веденої півмуфт, між ними виникає розрідження, яке призводить до їх зчеплення і передачі обертового моменту. Величина розрідження, а отже, і сила зчеплення півмуфт, яка забезпечує величину обертового моменту, регулюється величиною ходу втулки за допомогою обмежувача. Відповідно при більшому ході втулки відбувається більша деформація днища ведучої півмуфти, а отже, створюється більше розрідження між півмуфтами, яке забезпечує передачу більшого обертового моменту.

В процесі роботи муфти, при збільшенні обертового моменту на веденому валу, крайні торцеві зовнішні поверхні днища еластичної тарілки деформуються і утворюються щілини, через які повітря з атмосфери попадає в зону розрідження між півмуфтами, що призводить до їх роз'єднання. При нормальній роботі муфти, без перевантаження, роз'єднання відбувається при плановій зупинці ведучого вала, при цьому втулка під дією пружини на несамогальмівній різьбі повертається у вихідне положення, розрідження між півмуфтами зникає і вони роз'єднуються.

Муфта інерційно-вакуумна запобіжна здійснює передавання обертового моменту за рахунок сил тертя, що створюються на поверхнях дотику контактних поверхонь муфти за рахунок адгезії між цими поверхнями. В такій муфті за рахунок конструктивного виконання ведучої півмуфти відсутнє часткове проковзування поверхонь дотику в початковий момент обертання ведучого вала, що виключає негативний вплив ефекту нагрівання поверхонь тертя.

В таких муфтах в порівнянні, наприклад, з фрикційними муфтами відсутній час холостого ходу, коли відбувається проковзування поверхонь дотику півмуфт.

На рис. 7 показані порівняльні характеристики залежності обертового моменту від часу при вмиканні фрикційної та інерційно-вакуумної запобіжної муфт, де $T_{оп}$ – момент сил опору; $T_{зч}$ – момент зчеплення муфти; T_{max} – максимальний обертовий момент; t_x – час холостого ходу; $t_{зч}$ – час зчеплення муфти; $t_{вмк}$ – час повного вмикання муфти.

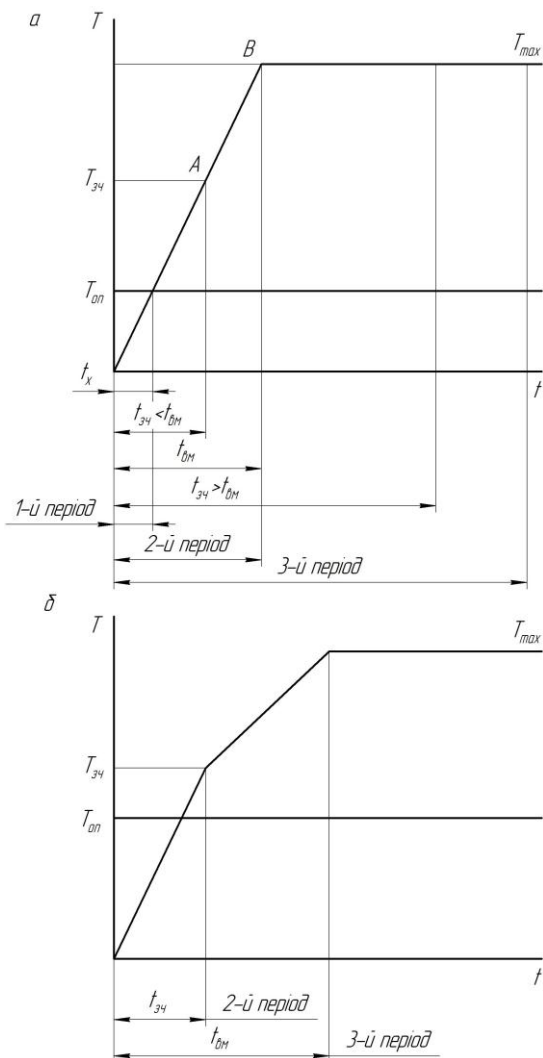


Рис. 7. Порівняльні характеристики залежності обертального моменту від часу при вмиканні муфти: *а* – фрикційної муфти; *б* – інерційно-вакуумної запобіжної муфти з тарілчастим оберненим елементом

З графіків видно, що час холостого ходу t_x в початковий момент обертання ведучого вала, тобто в перший період вмикання муфти, який характеризується проковзуванням контактних поверхонь у фрикційній

муфті, в інерційно-вакуумній муфті відсутній. У фрикційній муфті зчеплення ведучої та веденої півмуфт відбувається до точки B (рис.7, a), після чого муфта обертається, як одне ціле. Крім того, у фрикційній муфті час зчеплення, який залежить від величини зведеного моменту інерції ведених мас, моменту сил опору, кутової швидкості обертання ведучого вала та часу вмикання, може бути меншим часу вмикання, або більшим часу вмикання, що призводить до проковзування поверхонь контакту півмуфт і, відповідно нагрівання поверхонь тертя. У інерційно-вакуумній муфті перший період, подібно до фрикційної муфти, відсутній, а зчеплення півмуфт відбувається відразу у другому періоді за час $t_{зч}$ до досягнення муфтою моменту зчеплення $T_{зч}$ більшого моменту опору $T_{он}$ з подальшим його зростанням до максимального обертального моменту T_{max} , причому зростання моменту від $T_{зч}$ до T_{max} відбувається більш плавно за рахунок пружності тарілчастого елемента.

Запропоновані муфти інерційно-вакуумні можуть бути використані в кінематичних ланцюгах при передачі обертальних моментів з швидкохідних валів, особливо при роботі кінематичних ланцюгів в циклічних режимах.

Висновки:

1. Розроблено конструкції та проведено попередній аналіз жорсткості, демпфуючої здатності та енергоємності пружних елементів, які можуть бути застосовані в інерційно-вакуумних муфтах швидкохідних приводів різноманітних машин і механізмів циклічної дії, де потрібно мати плавний запуск без проковзування поверхонь півмуфт.

2. Розглянуто будову та принцип роботи нових запатентованих інерційно-вакуумних муфт з пружними елементами особливої конструкції, що здатні передавати енергію двигуна за рахунок використання інерційності маси ведучої півмуфти та сил адгезії виконавчих елементів муфти.

3. Запропоновані муфти є об'єктами подальших досліджень з метою їх впровадження у швидкохідних приводах різноманітних машин і механізмів циклічної дії.

1. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків / В. О. Малащенко. – Львів : НУ “Львівська політехніка”, 2009. – 196 с. 2. Малащенко В. О. Кулькові механізми вільного ходу / В. О. Малащенко, П. М. Гашук, О. І. Сороківський, В. В. Малащенко. – Львів : Новий Світ-2000, 2012. – 212 с. 3. Иванов М. Н. Детали машин / Иванов М. Н. – М. : Высшая школа, 1984. – 336 с. 4. Решетов Д. Н. Детали машин / Д. Н. Решетов – М. : Машиностроение, 1989. – 496 с. 5. Пат. 54454 Україна, МПК F 16 D 13/00.

Спосіб передачі крутного моменту муфтою / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Федорук М. Л., Бондарчук Б. В.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у № 201005421; заявл. 05.05.10; опубл. 10.11.10, Бюл. № 21, 2010 р. **6.** Пат. 76015 Україна, МПК F 16 D 13/00, F 16 D 43/00 Спосіб передачі обертового моменту муфтою / Федорук В. А., Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у № 201205566; заявл. 07.05.12; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24, 2012 р. **7.** Пат. 63039 Україна, МПК F 16 D 13/00. Спосіб передачі крутного моменту / Федорук В. А., Федорук С. Л., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у № 201102344; заявл. 28.02.11; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18, 2011 р. **8.** Пат. 63809 Україна, МПК F 16 D 13/00. Муфта запобіжна інерційно-вакуумна / Федорук В. А., Федорук С. Л., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у № 201102478; заявл. 02.03.11; опубл. 25.10.11, Бюл. № 20, 2011 р. **9.** Пат. 63058 Україна, МПК F 16 D 13/00. Муфта інерційно-вакуумна регульована / Федорук В. А., Федорук С. Л., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у № 201102473; заявл. 02.03.11; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18, 2011 р. **10.** Якимчук М. В. Дослідження зусиль утримання упаковок вакуумними захоплюючими пристроями / М. В. Якимчук // Харчова промисловість. – № 10, 2011. – С. 440-445.

Рецензент: д.т.н., професор Кравець С. В. (НУВГП)

Malashchenko V. O., Doctor of Engineering, Professor (National University “Lviv Polytechnic”), **Fedoruk V. A., Engineer, Strilets V. M., Candidate of Engineering, Associate Professor** (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

PRINCIPLE OF ENGINE ENERGY TRANSFER BY AUTOMATIC INERTIAL-VACUUM CLUTCHES AND THEIR DYNAMIC CHARACTERISTICS

The new methods of torque transmitting by inertial-vacuum clutches due to weights inertia of its elements and shaft connections by half clutches adhesion are shown. The design of inertial-vacuum clutches for new ways of torque transmitting realization and peculiarities of dynamic characteristics of clutches of various forms are described.

Keywords: inertial-vacuum clutches, method, adhesion, torque, classification.

Малашенко В. А., д.т.н., професор (Національний університет «Львівська політехніка»), **Федорук В. А., інженер, Стрилець В. Н., к.т.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природопользования, г. Ровно)

ПРИНЦИП ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИМИ ИНЕРЦИОННО-ВАКУУМНЫМИ МУФТАМИ И ИХ ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Приведены новые способы передачи крутящего момента инерционно-вакуумными муфтами за счет инерционности масс их элементов и соединения валов способом адгезии полумуфт. Описаны конструкции инерционно-вакуумных муфт для реализации новых способов передачи крутящего момента и особенности динамических характеристик муфт в различных формах их исполнения.

Ключевые слова: инерционно-вакуумные муфты, способ, адгезия, крутящий момент, классификация.