

УДК 621.81

Ів. Гевко, канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПОБІЖНИХ МУФТ ПРИВОДІВ ГВИНТОВИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Резюме. Спроековано та виготовлено дослідні взірці запобіжних пристроїв та стенд для проведення їх експериментальних досліджень. Описано будову запобіжних пристроїв та стенда для дослідження механічних систем. Проведено експериментальні дослідження запобіжних пристроїв і за їх результатами побудовано графічні залежності моменту спрацювання запобіжних пристроїв і визначено коефіцієнти їх динамічності, точності, чутливості, стабільності й частоти спрацювання.

Ключові слова: механічна система, привод, запобіжний пристрій, запобіжна муфта, гвинтова транспортно-технологічна механічна система, момент спрацювання, коефіцієнт.

Iv. Gevko

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF PREVENTIVE MUFFS OF OCCASIONS OF SPIRAL MECHANICAL SYSTEMS

The summary. The pre-production models of fail-safes and stand are projected and made for the leadthrough of them experimental researches. The structure of fail-safes and stand is described for research of the mechanical systems. Experimental researches of fail-safes are conducted after their results graphic dependences of moment of спрацювання of fail-safes and certainly coefficients of their dynamic, exactness, sensitiveness, stability and frequency of exception are built.

Key words: mechanical system, occasion, fail-safe, preventive muff, spiral transport technological mechanical system, moment of exception, coefficient.

Умовні позначення

- ν_m – частота змінного струму електромережі, Гц;
- n_n – номінальна частота обертання електродвигуна, об/хв;
- ν_c – частота змінного струму електродвигуна, Гц;
- D – діаметр розміщення елементів зачеплення, мм;
- d – середній діаметр внутрішнього отвору рухомого диска веденої півмуфти, мм;
- Δ_n – поточна деформація пружини (в режимі спрацювання), мм;
- z – кількість елементів зачеплення в муфті;
- d_{kc} – середній діаметр конічного стержня, мм;
- d_k – діаметр кульки, мм;
- α – кут між напрямком дії колової сили і нормаллю від точки контакту елемента зачеплення з контактуючою поверхнею, град;
- ρ – зведений кут тертя в парі контакту, град;
- f – коефіцієнт тертя між рухомою та нерухомою частинами веденої півмуфти;
- C – жорсткість пружини, Н/мм;
- Δ_0 – попередня деформація (підтиск) пружини, мм;
- K_d – коефіцієнт динамічності запобіжної муфти;
- K_T – коефіцієнт точності спрацювання запобіжної муфти;
- K_ν – коефіцієнти чутливості запобіжної муфти;
- K_c – коефіцієнт стабільності запобіжної муфти;
- $K_{\nu c}$ – коефіцієнт частоти спрацювання запобіжної муфти.

Постановка проблеми. Гвинтові транспортно-технологічні механічні системи використовують у різних галузях економіки для транспортування, збирання, сортування, подрібнення та іншого необхідного перетворення різноманітних матеріалів. При виконанні технологічних процесів гвинтовими транспортно-

технологічними механічними системами часто виникають перевантаження, викликані як технологічними процесами виконання операцій, так і випадковими явищами, що призводять до значних деформацій і поломок елементів цих машин. Тому забезпечення ефективного виконання технологічних процесів гвинтовими транспортно-технологічними механічними системами можливе лише при правильному підборі й використанні у конструкціях їх приводів відповідних запобіжних пристроїв.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Теоретичні основи кінето-статичного та динамічного дослідження запобіжних муфт, їх синтезу й конструювання, методик експериментальних досліджень заклали такі вітчизняні вчені, як Решетов Д.М., Тепінкічій В.К., Поляков В.С., Ряховський О.А., Барбаш І.Д., Паламаренко А.З., Попов Е.М., Єсипенко Я.І., Афанасєв С.Г., Кожевников С.М., Тривайло М.С., Нагорняк С.Г., Гевко Б.М., Луців І.В., Дяченко С.К., Кіркач Н.Ф., Лопаткін М.Г., Ізотов Е.Н., Флік Е.П., Малащенко В.О., Кіндрацький Б.І., Попов Е.М., Гевко Р.Б., Хрісанов М.І. та інші. Проте розроблення кожної конкретної гвинтової транспортно-технологічної механічної системи має свою специфіку надійного захисту, що зумовлює потребу в подальших розробленнях і дослідженнях запобіжних пристроїв.

Мета роботи. Визначення техніко-експлуатаційних характеристик запобіжних пристроїв приводів механічних систем, у тому числі гвинтових транспортно-технологічних механічних систем, за допомогою проведення експериментальних досліджень. Роботу виконано згідно з постановою Кабінету Міністрів України «Високоєфективні технології у машинобудуванні, енергетиці та агропромисловому комплексі на 2010...2015 рр.».

Реалізація результатів досліджень. Для проведення експериментальних досліджень приводів гвинтових транспортно-технологічних систем та інших механічних систем, у тому числі запобіжних пристроїв, і встановлення їх основних функціонально-експлуатаційних характеристик було спроектовано та виготовлено дослідний стенд [1]. З його допомогою в автоматизованому режимі управління були проведені експериментальні дослідження в широких діапазонах частоти обертання та навантаження досліджуваних об'єктів з отриманням даних у персональному комп'ютері (рис. 1).

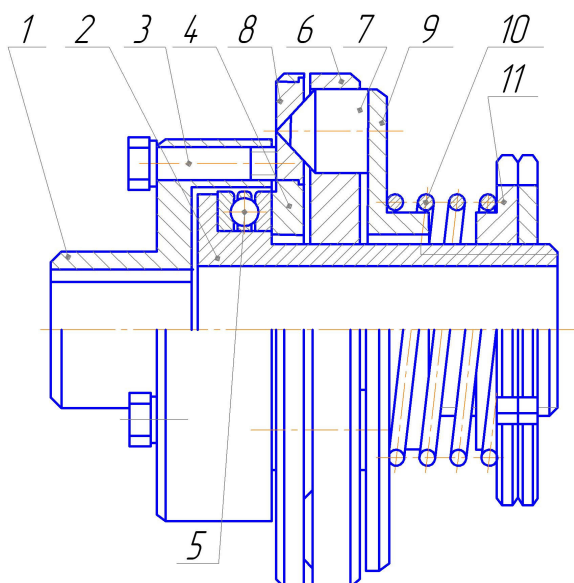


Рисунок 1. Загальний вигляд стенда для дослідження механічних систем

Дослідження механічних запобіжних пристроїв із використанням стенда проводились наступним чином. Дослідний об'єкт, виставлений на відповідний момент спрацювання, вміщався на валах генератора й електродвигуна і за допомогою пересувних опор здійснювалось необхідне балансування ведучої та веденої півмуфт запобіжного пристрою. У зв'язку з можливістю значного зміщення електродвигуна у поперечному та повздовжньому напрямках на стенді випробовувалися захисні пристрої, які з'єднують не лише співвісні вали, але й шнеками та валами, передавання моменту через які здійснюється за допомогою ланцюгових, зубчастих та карданних передач. Далі проводилось під'єднання до електромережі стабілізатора напруги, перетворювача частоти (ПЧ), персонального комп'ютера (ПК) та запускалася програма PowerSuite для налаштування перетворювачів частоти серії Altivar [2], в якій проводився вибір тих характеристик, які необхідно було досліджувати при проведенні експериментів згідно з розробленою методикою проведення випробувань. У процесі проведення випробувань вони відображаються на моніторі ПК у вигляді табличних даних і графічних залежностей. Фіксація даних проводилась із наперед заданою частотою. Завдяки програмі PowerSuite в автоматизованому режимі на ПК здійснювався вибір необхідної частоти обертання вала двигуна і проводився його запуск.

Наведемо короткий опис досліджуваної конусної запобіжної муфти. На рис. 2 зображена конструкція і загальний вигляд конусної запобіжної муфти [3], що містить ведучу 1 і ведену 2 півмуфти. До ведучої півмуфти 1 жорстко за допомогою болтів 3 закріплений фланець 4, який знаходиться в контакті з веденою півмуфтою 2 через підшипник 5. На веденій півмуфті 2 з можливістю осьового зміщення встановлено диск 6, в якому виконано отвори під конічні стержні 7. З одного боку конічні стержні 7 входять у зачеплення із лунками 8 ведучої півмуфти 1, а з іншого – вони підтискаються через фланець 9 циліндричною пружиною стиску 10 гайками затиску 11. Фланець 9 мав можливість осьового і радіального зміщення. Для проведення експериментальних досліджень лунки 8 і конічні стержні 7 були виконані різного профілю.

Працює конусна запобіжна муфта таким чином. Обертовий момент передається на ведучу півмуфту і через елементи зачеплення у вигляді конічних лунок і конічних стержнів – на ведену півмуфту. У випадку перевантаження конічні стержні виходять із зачеплення з конічними лунками, диск 6 і (або) фланець 9 переміщається в осьовому напрямку, деформуючи при цьому циліндричну пружину, і ведена півмуфта зупиняється. Після зменшення величини обертового моменту до заданого запобіжна муфта відновлює своє зачеплення і вмикається.



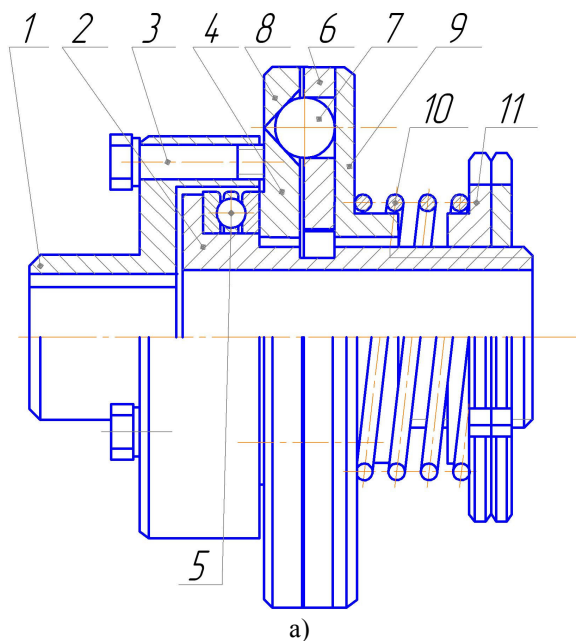
а)

б)

Рисунок 2. Конусна запобіжна муфта:
а) конструкція; б) загальний вигляд

Наведемо короткий опис досліджуваних низькочастотних кулькових запобіжних муфт. На рис. 3 зображено конструкція і загальний вигляд кулькових запобіжних муфт [4], що містить ведучу 1 і ведену 2 півмуфти. До ведучої півмуфти 1 жорстко за допомогою болтів 3 закріплений фланець 4, який знаходиться в контакті з веденою півмуфтою 2 через підшипник 5. На веденій півмуфті 2 жорстко встановлений диск 6, в якому виконані отвори і пази під кульки 7. З одного боку кульки 7 входять у зачеплення із лунками 8 фланця 4, а з іншого – підтискаються через фланець 9 циліндричною пружиною стиску 10 гайками затиску 11. З метою проведення експериментальних досліджень фланці 4 використовувались різних профілів і на їх торцевих поверхнях були виконані лунки 8, а у деяких конструкціях – і пази різної конфігурації (рис. 4а). Також і диски 6 використовувались різних профілів (рис. 4б, в, г). Фланець 9 мав можливість осьового і радіального зміщення.

Працюють низькочастотні кулькові запобіжні муфти таким чином. Обертовий момент передається на ведучу півмуфту і через елементи зачеплення у вигляді конічних лунок і кульок – на ведену півмуфту. У випадку перевантаження кульки виходять із зачеплення з конічними лунками і відтискають фланець 9 в осьовому напрямку, деформуючи при цьому циліндричну пружину, що дозволяє зупинитися веденій півмуфті.



а)

б)

Рисунок 3. Кулькові низькочастотні запобіжні муфти:
а) конструкція; б) загальний вигляд

У низькочастотній кульковій запобіжній муфті з колоподібним пазом одна із кульок, яка знаходиться в пазу 12 диска 6 (рис. 4б), починає здійснювати обкатування по пазу 13, який виконаний на торцевій поверхні фланця 4 (рис. 4а), зміщуючись при цьому до і від центра муфти. Після зменшення величини обертового моменту до заданого запобіжна муфта, після здійснення кількох повних відносних повертань півмуфт, відновлює своє зачеплення і вмикається.

У низькочастотних кулькових запобіжних муфтах з трикутноподібним і п'ятикутноподібним пазами 12 дисків 6 (рис. 4в, г) одна із кульок, яка знаходиться в даному пази, починає обкатування по ньому, що не дозволяє увійти в повне зачеплення усім кулькам з усіма лунками відповідних півмуфт. Лише при здійсненні значної кількості відносних провертань півмуфт і настання моменту співпадання усіх кульок з усіма лунками проходить ввімкнення цих низькочастотних кулькових запобіжних муфт.

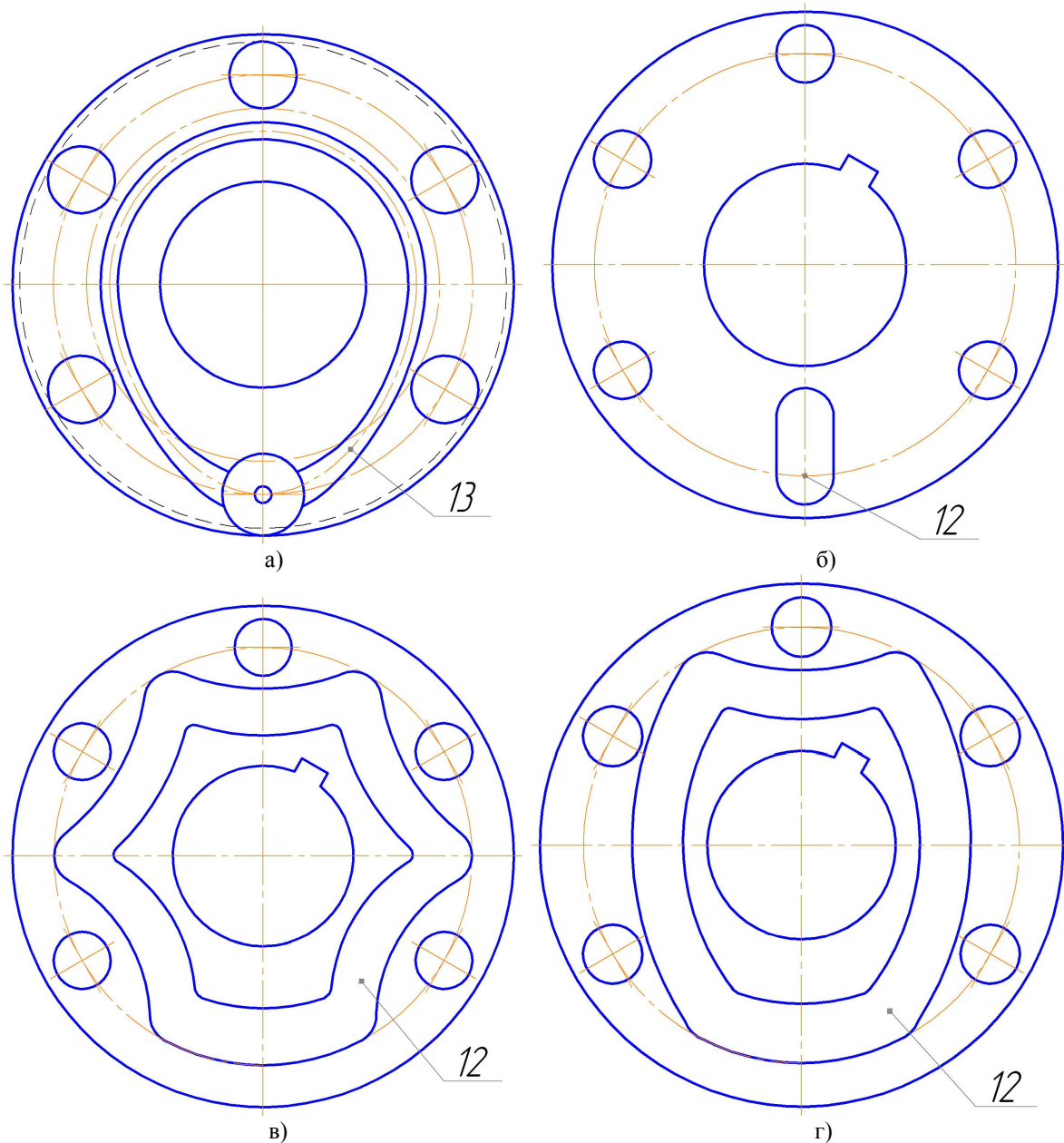


Рисунок 4. Торцеві поверхні кулькових низькочастотних запобіжних муфт:
а) фланець ведучої півмуфти; б), в), г) диски ведених півмуфт

Отримані результати експериментальних досліджень, а саме, споживаної потужності електродвигуна і обертового моменту, який передавався запобіжним пристроєм у відповідний період часу, відображались у вигляді табличних і графічних залежностей на моніторі ПК (рис. 5) у процентному співвідношенні до номінальної потужності. Частота обертання задавалась у вікні осцилографа в ПК у вигляді кратних чисел 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, що відповідало відповідній швидкості обертання, яку

можна визначити за формулою

$$n_d = n_{\text{НОМ}} * v_c / v_m \quad (1)$$

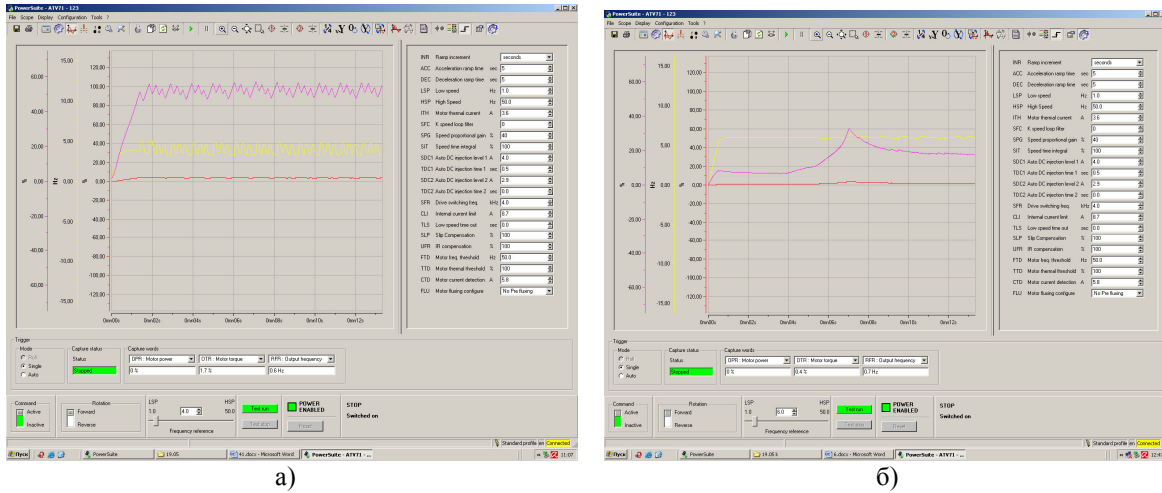


Рисунок 5. Приклад вікна осцилографа з результатами спрацювання запобіжних муфт:
а) конусна; б) кулькова низькочастотна

Результати експериментальних досліджень конусної запобіжної муфти ($D = 100$; $d = 48$; $\Delta_n = 4$; $z = 3$; $d_{kc} = 20$; $\rho = 5$; $f = 0,15$; $C = 16$; $\Delta_o = 6$) представлено на рисунку 6.

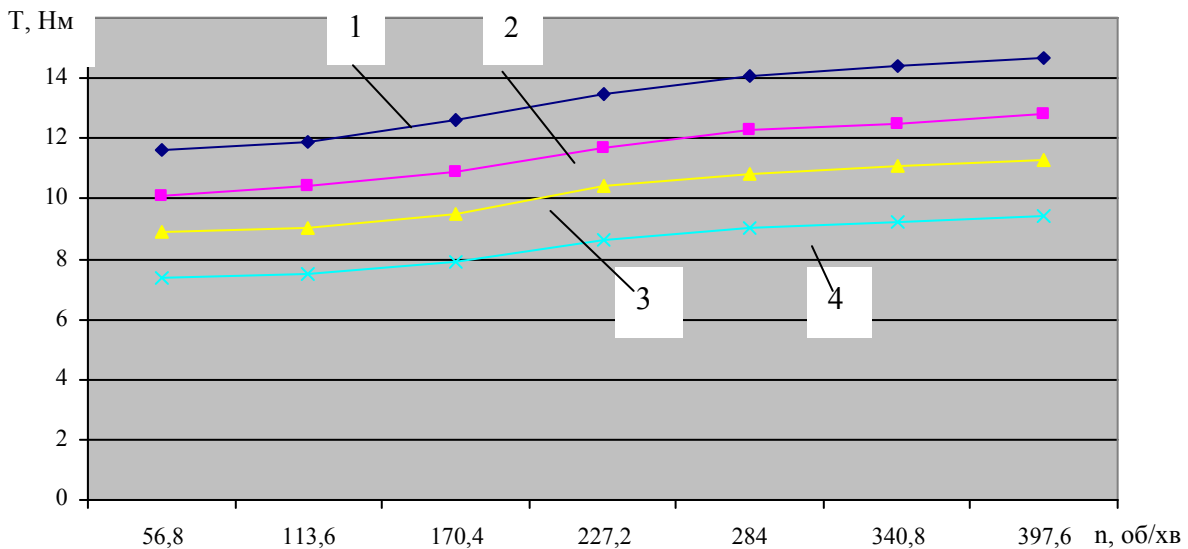


Рисунок 6. Графік залежності передавання максимального обертового моменту T від частоти обертання n_d конусною запобіжною муфтою:
1 - $\alpha = 50^\circ$; 2 - $\alpha = 53^\circ$; 3 - $\alpha = 56^\circ$; 4 - $\alpha = 60^\circ$

Встановлено, що коефіцієнт динамічності конусної запобіжної муфти залежить від частоти обертання муфти і прямопропорційно зростає при зростанні швидкості обертання. K_d при швидкості 230 об/хв становить 1,15...1,17, а при швидкості 400 об/хв $K_d = 1,25...1,29$. Коливання коефіцієнта динамічності залежить від моменту опору і вищі показники ($K_d = 1,17$ при швидкості 230 об/хв.; $K_d = 1,29$ при швидкості 400 об/хв) притаманні режиму буксування при більших моментах спрацювання ($T = 42$ Нм). Коефіцієнт точності спрацювання конусної запобіжної муфти K_T знаходиться в межах 1,13...1,17, а коефіцієнти чутливості K_χ і стабільності K_C відповідно коливаються в межах 0,99...0,98 і 0,99...0,96.

Результати експериментальних досліджень низькочастотної кулькової запобіжної муфти (рис. 4а) з колоподібним пазом ($D = 100$; $d = 48$; $\Delta_n = 3$; $z = 6$; $d_k = 13$; $\rho = 5$; $f = 0,15$; $C = 15$; $\Delta_o = 7$) представлено на рисунку 7.

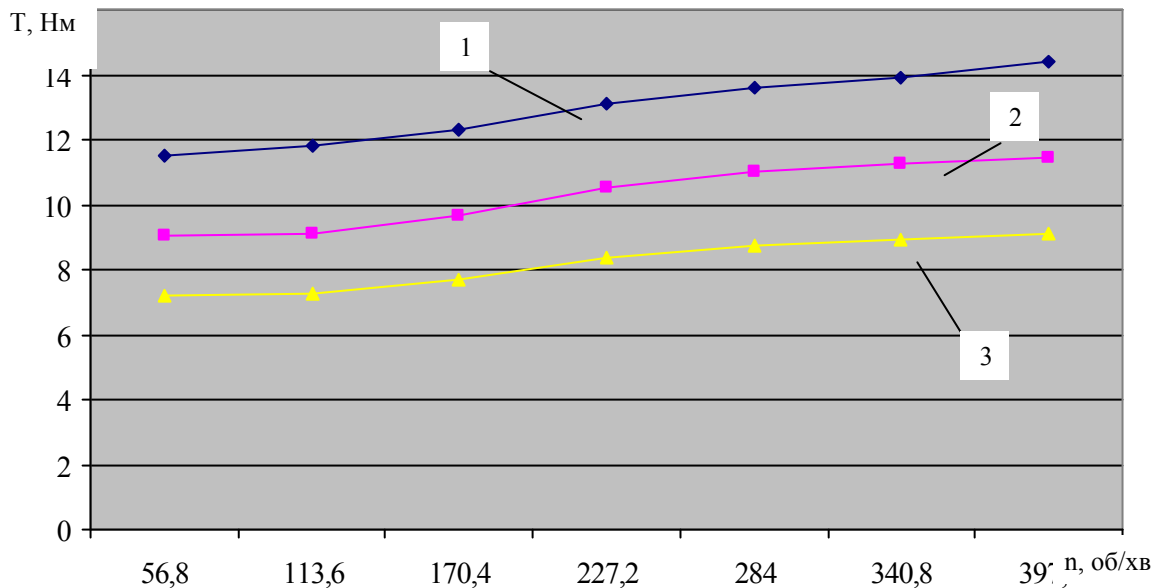


Рисунок 7. Графік залежності передавання максимального обертового моменту T від частоти обертання n_d низькочастотною кульковою запобіжною муфтою з колоподібним пазом:
1 - $\alpha = 50^\circ$; 2 - $\alpha = 55^\circ$; 3 - $\alpha = 60^\circ$

Встановлено, що коефіцієнт динамічності низькочастотної кулькової запобіжної муфти з колоподібним пазом залежить від частоти обертання муфти і прямопропорційно зростає при зростанні швидкості обертання. K_d при швидкості 230 об/хв становить 1,11...1,15, а при швидкості 400 об/хв $K_d = 1,23...1,27$. Коливання коефіцієнта динамічності залежить від моменту опору і вищі показники ($K_d = 1,15$ при швидкості 230 об/хв; $K_d = 1,27$ при швидкості 400 об/хв) притаманні режиму буксування при більших моментах спрацювання ($T = 41$ Нм). Коефіцієнт точності спрацювання K_T знаходиться в межах 1,11...1,16, а коефіцієнти чутливості K_α і стабільності K_σ відповідно коливаються в межах 0,99...0,98 і 0,99...0,94. Коефіцієнт частоти спрацювання $K_{\omega c}$ дорівнює 1.

Результати експериментальних досліджень низькочастотних кулькових запобіжних муфт (рис. 5в, г) з трикутноподібним і п'ятикутноподібним пазами ($D = 100$; $d = 48$; $\Delta_n = 3$; $z = 5$; $d_k = 13$; $\rho = 5$; $f = 0,15$; $C = 15$; $\Delta_o = 7$) практично не відрізнялись між собою, а величина обертового моменту, який передавався ними, залежно від частоти обертання мала ті ж величини, що й у низькочастотної кулькової запобіжної муфти з колоподібним пазом. Проте дані муфти ефективно працювали при швидкостях до 170 об/хв, що пов'язано з їхніми конструктивними особливостями. При більших швидкостях проходило заклинювання кульки в пазу, і, відповідно, муфти починали працювати як самовідключні. Крім того, в процесі буксування кількість холостих провертань не завжди співпадала, що спричиняло до ефекту „струшування”, тобто повторних ударних включень не циклічної дії. Коефіцієнти динамічності цих муфт становлять 1,11...1,13 при швидкості 170 об/хв. Коефіцієнт точності спрацювання K_T знаходиться в межах 1,1...1,18, а коефіцієнти чутливості K_α і стабільності K_σ відповідно коливаються в межах 0,99...0,98 і 0,99...0,94. Коефіцієнти частоти спрацювання $K_{\omega c}$ для низькочастотної кулькової запобіжної муфти з трикутноподібним пазом коливається в межах 1,17...1,83, а з п'ятикутноподібним – $K_{\omega c} = 2,33...6,5$. Для підвищення ефективності таких муфт виступи в пазах 12 (рис. 4в, г) слід виконувати пологішими. Це дозволить розширити зону їх використання при вищих швидкостях обертання.

Висновки. Проведені експериментальні дослідження запобіжних муфт приводів гвинтових механічних систем дозволили зробити ряд висновків:

- розроблені конструкції конусної та кулькової запобіжної муфти з колоподібним пазом можуть ефективно використовуватись у приводах тихохідних і середньошвидкісних гвинтових механічних систем;

- коефіцієнти динамічності цих муфт становлять відповідно 1,29 та 1,27 при швидкості 400 об/хв, коефіцієнти точності спрацювання K_T знаходяться в межах 1,11...1,17, а коефіцієнти чутливості K_C і стабільності K_C відповідно коливаються в межах 0,99...0,98 і 0,99...0,94;

- коефіцієнти динамічності даних муфт зростають при збільшенні передавального обертового моменту;

- результати експериментальних досліджень низькочастотних кулькових запобіжних муфт з трикутноподібним і п'ятикутноподібним пазами практично не відрізнялись між собою, а величини коефіцієнтів їх динамічності, точності, чутливості і стабільності залежно від частоти обертання приблизно мали ті ж величини, що й у кулькової запобіжної муфти з колоподібним пазом;

- дані муфти ефективно працювали при швидкостях до 170 об/хв, що пов'язано з їхніми конструктивними особливостями, а при більших швидкостях проходило заклинювання кульки в пазу, і, відповідно, муфти починали працювати як самовідключні, а, крім цього, в процесі буксування кількість холостих провертань не завжди співпадала, що спричиняло до ефекту „струшування”, тобто повторних ударних включень не циклічної дії;

- такі запобіжні муфти на разі можна використовувати лише у приводах тихохідних гвинтових механічних систем у конструктивному максимальному наближенні до робочого органу;

- для підвищення ефективності даних низькочастотних запобіжних кулькових муфт виступи в пазах слід виконувати пологішими, що дозволить розширити зону їх використання при вищих швидкостях обертання.

Література

1. Гевко, І.Б. Стенд для дослідження гвинтових транспортно-технологічних систем машин [Текст] / І.Б. Гевко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2011 – Вип. 111. – С. 134–143.
2. Казачковський, Н.Н. Програма PowerSuite для настройки преобразователей частоты и устройств плавного пуска (версия 2.3.0): методичні вказівки [для слухачів курсів підвищення кваліфікації та студентів спеціальності 7.092203 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривід»] [Текст] / Н.Н. Казачковський, Д.В. Якупов. – Дніпропетровськ: НГУ, 2006. – 45 с.
3. Пат. №34510. Україна, МПК⁷ F16D 43/00. Запобіжна муфта [Текст] / Гевко І.Б., Комар Р.В., Матвійчук А.В.; заявник і власник патенту Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – №u200804076; заявл.31.03.2008р.; опубл.11.08.2008р., Бюл.№15.
4. Пат. №4284. МПК⁷ F16D7/06. Низькочастотна запобіжна муфта [Текст] / Гевко І.Б.; заявник і власник патенту Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – №20040402780; заявл.15.04.2004р.; опубл.17.01.2005р., Бюл.№1.

Отримано 06.06.2011