



УДК 621.81

**РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРУЖНО-ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ
ГНУЧКОГО ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА****Луців Ігор Володимирович**, д.т.н., професор**Гевко Іван Богданович**, д.т.н., професор**Гудь Віктор Зіновійович**, к.т.н., доцент**Дубиняк Тарас Степанович**, старший викладач

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

I. Lutshiv, Doctor of Technical Sciences, Full Professor**I. Hevko**, Doctor of Technical Sciences, Full Professor**V. Gud**, PhD, Associate Professor**T. Dubinyak**, Senior Lecturer

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

Розроблено дослідний зразок пружно-запобіжної муфти гнучкого гвинтового конвеєра та сформовано експериментальний стенд для її дослідження. Досліджено пружно-запобіжну муфту гнучкого гвинтового конвеєра. За результатами досліджень отримано графічну інтерпретацію взаємозв'язку моменту спрацювання, встановлено коефіцієнти динамічності та точності спрацювання розробленого зразка муфти.

Ключові слова: пружно-запобіжна муфта, гнучкий гвинтовий конвеєр, елементи зачеплення, привід, момент спрацювання, коефіцієнт.

Рис. 9. Літ. 7.

1. Постановка проблеми

Гвинтові транспортери використовуються в різних галузях економіки для переміщення різноманітних матеріалів. При транспортуванні вантажів гвинтовими конвеєрами часто виникають перевантаження, викликані як технологічними процесами виконання операцій, так і випадковими явищами, що призводять до значних деформацій і поломок шнеків та інших елементів цих механізмів. Серед різноманіття гвинтових конвеєрів це в першу чергу стосується гнучких гвинтових конвеєрів. Тому для забезпечення надійного процесу транспортування гнучкими гвинтовими конвеєрами потрібно використовувати в конструкціях їх приводів ефективні запобіжні пристрої.

2. Аналіз відомих досліджень та публікацій

Основи конструювання, теоретичних та експериментальних досліджень запобіжних муфт заклали такі вітчизняні вчені як Тепінкічів В.К. [1], Поляков В.С., Ряховський О.А., Барбаш І.Д. [2], Малащенко В.С. [3] та інші. Проте розробка кожної конструкції гвинтового конвеєра має певну специфіку надійного захисту [4], що зумовлює потребу в подальших розробках і дослідженнях спеціальних запобіжних пристроїв.

3. Мета роботи

Експериментальні дослідження і аналіз динамічних навантажень в приводах гнучких гвинтових конвеєрів (ГГК) оснащених пружно-запобіжними муфтами (ПЗМ).

4. Реалізація результатів досліджень

Для проведення експериментальних досліджень ПЗМ ГГК [5] було спроектовано та виготовлено експериментальну установку [6], загальний вигляд якої зображено на рис. 1. Експериментальна установка складається з опори 1, електродвигуна 2, досліджуваної ПЗМ 3 (рис. 2), бункера з шибром 4, патрубкa зі шнеком 5, регульованого вивантажувального отвору 6, монітора 7, підключеного до персонального комп'ютера, та перетворювача частоти (Altivar 71) 8. Установка працює наступним чином. Обертальний момент з електродвигуна 2 через досліджувану муфту 3 передається на шнек 5 ГГК. Сипкий матеріал засипається в бункер 4 і з нього потрапляє до патрубкa зі шнеком 5. Величина подачі матеріалу регулюється шибром, що встановлений у бункері.



Далі матеріал транспортується до регульованого вивантажувального отвору 6. Регулюванням вивантаження матеріалу створюється додаткове навантаження на шнек, 1, відповідно, на досліджувану пружно-запобіжну муфту [5].

Пружні властивості муфти дозволяють в значній мірі компенсувати виникаючі у шнеку навантаження, а у випадку значного перевантаження шнека і його аварійної зупинки проходить розчеплення напівмуфт [6]. Після зменшення навантаження до заданого ПЗМ відновлює своє зачеплення і проходить включення шнека.

Для покращення точності та зручності проведення дослідів у кінематичний ланцюг станда вмонтовано автоматизований електропривід [6], який включає трьохфазний асинхронний електродвигун, що керується перетворювачем частоти (Altinar-71) з персонального комп'ютера за допомогою програмного забезпечення Power Suite версії 2.3.0.

Завдяки цій програмі здійснюється вибір необхідної частоти обертання вала двигуна і проводився його запуск [7]. При керуванні роботи двигуна є можливість плавного нарощування та зменшення його частоти обертання в межах від 0 до 1480 об/хв., що дозволяє виконувати дослідження статичних і динамічних процесів. Крім того, існує можливість включення реверсу вала двигуна.

Дані про витрати енергії і величину обертального моменту на валу електропривода, в залежності від навантаження, в установлені терміни часу у вигляді табличних даних та графічних залежностей відображаються на моніторі дисплея комп'ютера у відсотках від номінальних величин [7].

Для побудови графічних залежностей використовувались максимальні значення дослідних даних.

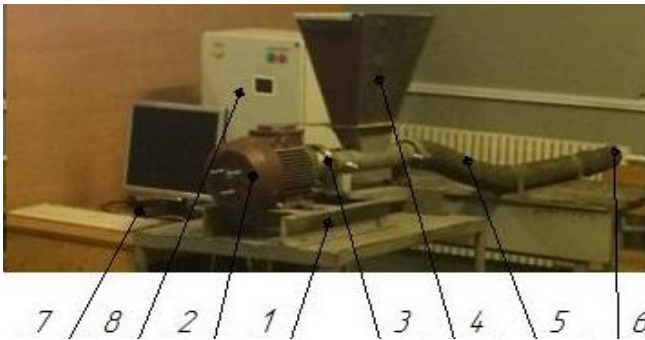


Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки для дослідження привода гнучкого гвинтового конвеєра

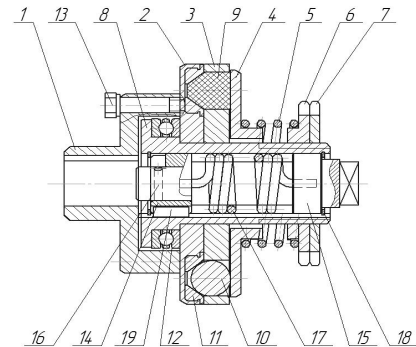


Рис. 2. Схема пружно-запобіжної муфти

Наведемо короткий опис досліджуваної ПЗМ. Конструкцію ПЗМ ГГК виконано у вигляді ведучої напівмуфти з лунками та веденої напівмуфти з отворами, в яких розміщені елементи зачеплення (кульки - лунки і конічні стержні - лунки), що підпружинені пружиною стиску з регулюванням сили затиску гайками.

Окрім того, ведучу півмуфту виконано з двох частин, які через опорний підшипник взаємодіють з можливістю колового обертання з ведучою півмуфтою, в середині якої розташовано механізм плавного пуску. Схему ПЗМ ГГК зображено на рис. 2 (конічний стержень – неметал, кулька – метал), а її загальний вигляд в розібраному вигляді представлено на рис. 4. Проте ПЗМ може бути виконана у варіанті з іншим типом демпферного виконання: стержень – метал, кулька – неметал (на фото рис. 3 представлено конічні стержні двох типів) [7].

ПЗМ ГГК складається з ведучої півмуфти, що включає маточину 1, до якої болтами 13 закріплено ведучий фланець 2, в якому рівномірно по колу встановлено знімні лунки 11, та веденої півмуфти, яка складається з цапфи 8, на якій розташовано з можливістю осьового зміщення диск з отворами під елементи зачеплення 3 та з можливістю осьового зміщення та радіального повертання торцевий диск 4. Півмуфти взаємодіють між собою через опорний підшипник 12 та лунки 11, в контакт з якими знаходяться конічні стержні 9 та кульки 10, які виконані відповідно з пружного матеріалу чи металу і розташовані по чергово в отворах диска 3. Величина передачі обертального моменту регулюється натягом пружини стиску 5 гайками 6, 7. У середині цапфи 8 розташовано механізм плавного пуску, що складається з вала 15 на якому кріпиться пружина кручення 17 та втулка 14. При пуску приводу (на рисунку не показаний) обертовий момент передається з маточини 1 через ведучий фланець 2, знімні лунки 11, на конічні стержні 9 та кульки 10, а з них на диск 3, цапфу 8. Конструктивно втулка 14 від цапфи 8 через шпонку 19 передає крутний момент плавно скручуючи



пружину 14 валу 15. Коли момент кручення досягне певного значення і кінці пружина обернуться на певний кут тоді втулка 14 спрацює з штифтом 16, що жорстко закріплений на валу 15 [7].

У свою чергу на кінці вала 15 виконано хвостовик, який можна агрегатувати із шнеком (на рисунку не показаний) для передачі обертового моменту [7].

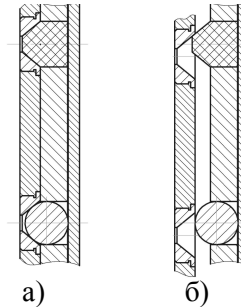
Введення демпферних елементів та пружини скручування в конструкцію ПЗМ ГГК забезпечує плавний запуск шнека під час пуску привода та зменшення динамічних навантажень на нього в процесі перенавантаження [7].

На рис. 4 представлено схему контакту елементів зачеплення кульки - лунки і конічні стержні - лунки ПЗМ при спрацюванні в початковий та в завершальний момент розчеплення. Як видно на рисунку, якщо використовувати конічні стержні з демпфувального матеріалу (капролону), то передача обертового моменту ПЗМ здійснюється кульками (метал).

Але на завершальному моменті розчеплення, як при входженні в контакт при змиканні після відносного повертання півмуфт під час розчеплення, першочерговим відбувається контакт пар елементів зачеплення конічні стержні – лунки, що забезпечує за рахунок демпфувальних властивостей стержнів у поєднанні зі скручуванням-розкручуванням пружини скручування різке зменшення динамічних навантажень під час спрацювання ПЗМ.



Рис. 3. Видяк пружно - запобіжної муфти в розібраному вигляді

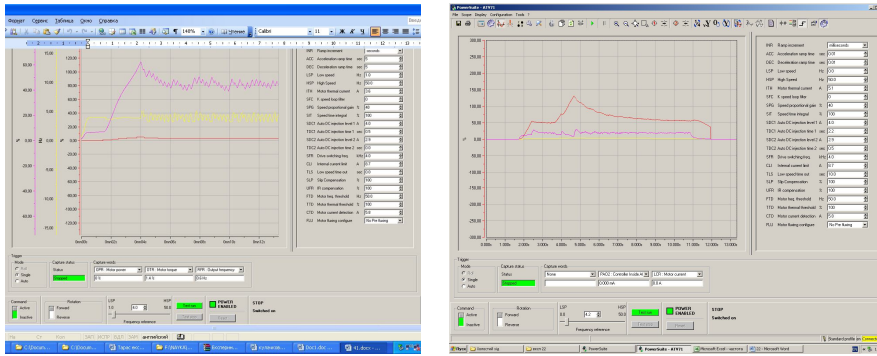


**Рис. 4. Схема контакту елементів зачеплення ПЗМ при спрацюванні:
а) початковий момент розчеплення;
б) завершальний момент розчеплення**

При виконанні досліджень візуально чітко спостерігався при запуску привода сповільнений запуск шнека, за рахунок скручування пружини скручування. Також при перевантаженнях і загалом під час виконання процесу транспортування пружина скручування постійно виконувала демпфуючу функцію за рахунок скручування-розкручування в кінематичному ланцюгу при передачі обертового моменту від привода до робочого органу [7].

На рис. 5 представлено вікна осцилографа з результатами спрацювання запобіжної муфти з елементами зачеплення конічні стержні (метал) – лунки і досліджуваної пружно-запобіжної муфти з пружиною скручування та різними елементами зачеплення кульки (метал) – лунки і конічні стержні (капролон) – лунки. Як видно з рисунків, при використанні демпфувальних елементів при спрацюванні муфти в режимі перевантаження режим буксування проходить значно плавніше без значних динамічних навантажень, що видно із зубців осцилограми при повторних змиканнях-розмиканнях півмуфт. Частота обертання задавалась у вікні осцилографа з персонального комп'ютера у вигляді кратних чисел 4.2, 8.4, 12.6, 17, 21, що відповідно відповідало швидкості обертання 120 об/хв., 240 об/хв., 360 об/хв., 480 об/хв., 600 об/хв.

На рис. 6 і рис. 7 наведено результати експериментальних досліджень ПЗМ ГГК при наступних її конструктивних характеристиках: діаметр розміщення елементів зачеплення $D = 100$ мм; середній діаметр внутрішнього отвору рухомого диску веденої півмуфти $d = 48$ мм; попередня деформація (підтиск) пружини $\Delta_0 = 4$ мм; поточна деформація пружини (в режимі розчеплення півмуфт ПМЗ) $\Delta_n = 6$ мм; кількість елементів зачеплення кульок (метал) $z_1 = 3$; кількість елементів зачеплення конічних стержнів (капролон) $z_2 = 3$; діаметр конічних стержнів $d_c = 20$ мм; діаметр кульок $d_k = 20$ мм; жорсткість пружини: $C_1 = 12,4$ Н/мм, $C_2 = 14,7$ Н/мм, $C_3 = 16$ Н/мм; кут між напрямком дії колової сили і нормаллю від точки контакту елемента зачеплення з контактуючою поверхні: $\alpha_1 = 50^\circ$, $\alpha_2 = 55^\circ$, $\alpha_3 = 60^\circ$.



а)

б)

Рис. 5. Приклад вікна осцилографа з результатами спрацювання запобіжних муфт: а) з елементами зачеплення конічні стержні (метал) – лунки; б) з пружиною скручування та елементами зачеплення кульки (метал) – лунки і конічні стержні (капролон) – лунки

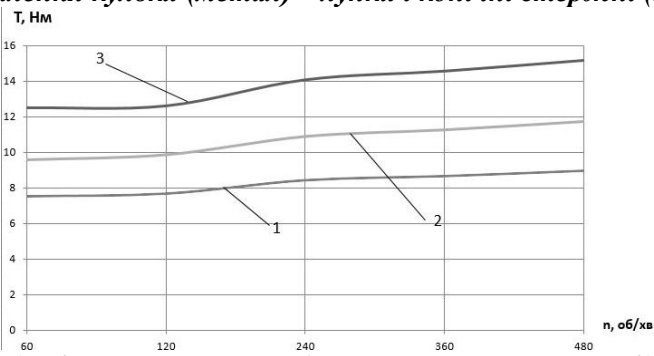


Рис. 6. Залежність передачі максимального обертального моменту T від частоти обертання n пружно - запобіжною муфтою при $C_3 = 16 \text{ Н/мм}$ для: 1 – $\alpha_1 = 50^\circ$; 2 – $\alpha_2 = 55^\circ$; 3 – $\alpha_3 = 60^\circ$

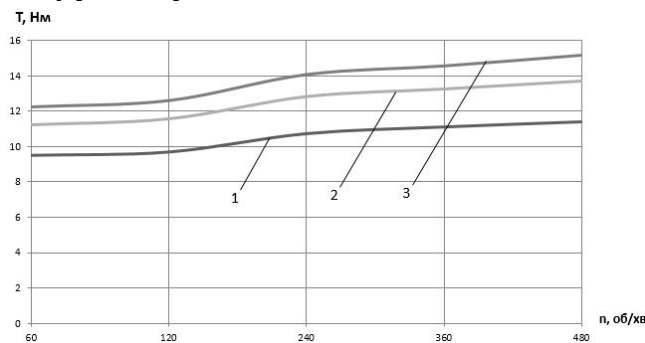


Рис. 7. Залежність передачі максимального обертального моменту T від частоти обертання n пружно - запобіжною муфтою при $\alpha_1 = 50^\circ$ для: 1 – $C_1 = 16 \text{ Н/мм}$; 2 – $C_2 = 14,7 \text{ Н/мм}$; 3 – $C_3 = 12,4 \text{ Н/мм}$

На рис. 8 і рис. 9 представлено графічні залежності коефіцієнта динамічності K_d досліджуваної ПЗМ ГТК від частоти обертання n ведучої півмуфти при спрацюванні в режимі перевантаження.

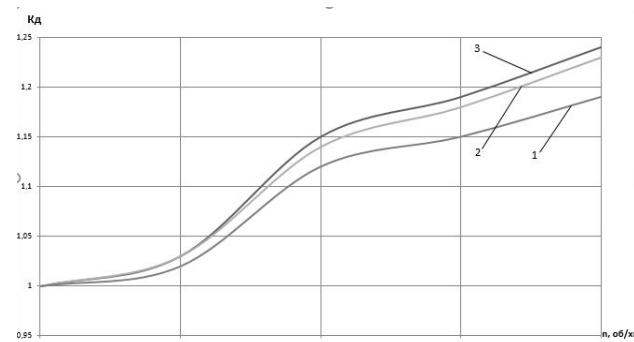


Рис. 8. Залежність коефіцієнта динамічності K_d пружно - запобіжною муфти від частоти обертання n при $C_3 = 15,6 \text{ Н/мм}$ для: 1 – $\alpha_1 = 50^\circ$; 2 – $\alpha_2 = 55^\circ$; 3 – $\alpha_3 = 60^\circ$

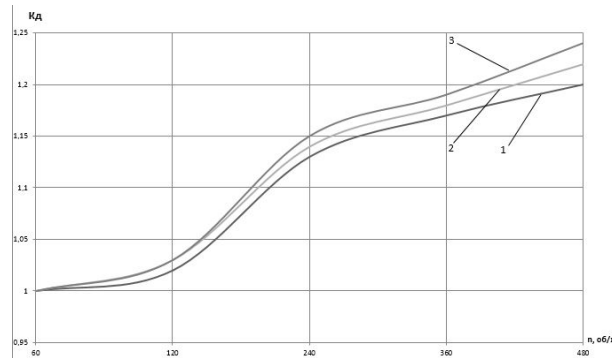


Рис. 9. Залежність коефіцієнта динамічності K_d пружно - запобіжної муфти від частоти обертання n при $\alpha_1 = 50^\circ$ для: 1 – $C_1 = 15,6$ Н/мм; 2 – $C_2 = 14,3$ Н/мм; 3 – $C_3 = 12,1$ Н/мм

В результаті проведених експериментальних досліджень ПЗМ ГГК встановлено, що коефіцієнт динамічності ПЗМ залежить від частоти обертання муфти і прямопропорційно зростає при зростанні швидкості обертання. Так коефіцієнт динамічності K_d (для пружини з жорсткістю $C_3 = 16$ Н/мм) при швидкості 240 об/хв. становить 1,12-1,15; при швидкості 360 об/хв. становить 1,15-1,19; при швидкості 480 об/хв. - $K_d = 1,19-1,24$. Коливання коефіцієнту динамічності залежить від моменту опору і вищі показники ($K_d = 1,15$ при швидкості 240 об/хв.; $K_d = 1,21$ при швидкості 360 об/хв.; $K_d = 1,24$ при швидкості 480 об/хв.) притаманні режиму буксування при більших передавальних моментах. Загалом коефіцієнт динамічності досліджуваної пружно-запобіжної муфти, у порівнянні з варіантом запобіжної муфти з елементами зачеплення конічні стержні (метал) – лунки без пружиною скручування, є меншим в 1,21-1,29 рази. Коефіцієнт точності спрацювання ПЗМ ГГК K_t коливається в межах 1,16-1,23, що є допустимим і відповідає вимогам, що ставляться до запобіжних муфт з елементами зачеплення у вигляді кулачків чи кульок [2].

5. Висновки

Проведені експериментальні дослідження пружно-запобіжної муфти гнучкого гвинтового конвеєра дозволили зробити ряд висновків:

- розроблена конструкція пружно-запобіжної муфти може ефективно використовуватись у приводах гнучких гвинтових конвеєрів і чітко за рахунок скручування-розкручування виконує демпфуючу функцію в кінематичному ланцюгу при передачі обертального моменту від приводу до робочого органу;

- коефіцієнт динамічності пружно-запобіжної муфти (для пружини з жорсткістю 16 Н/мм) при швидкості 240 об/хв. становить 1,12-1,15, при швидкості 360 об/хв. становить 1,15-1,19, а при швидкості 480 об/хв. становить 1,19-1,24; коливання коефіцієнту динамічності залежить від моменту опору і вищі показники притаманні режиму буксування при більших передавальних моментах;

- коефіцієнт точності спрацювання пружно-запобіжної муфти коливається в межах 1,16-1,23, що є допустимим і відповідає вимогам, які ставляться до запобіжних муфт з елементами зачеплення у вигляді кулачків чи кульок.

Список використаних джерел

1. Тепинкичиев В.К. Предохранительные устройства от перегревки станков. – М. Машиностроение, 1964. – 157 с.
2. Поляков В. С. Справочник по муфтам. / Барабаш И.Д., Реховский О.А. / Машиностроение, 1974. – 352 с.
3. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків / В.О. Малащенко. – Львів : вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2006. – 196 с.
4. Гевко І. Б. Динамічна модель процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром / І. Б. Гевко, А. О. Вітровий, О. Я. Гурик // Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей. – Луцьк, 2001. – Вип. 8. – С. 72–82.
5. Investigation of dynamical impact loads in screw conveyer drives with safety clutches. INMATEH - Agricultural Engineering // [I.V. Lutsiv, Iv.B. Hevko, O.L. Lyashuk, T.S. Dubynyak] // Polytechnic University of Bucharest, 2017, - Vol. 51, № 1, P. 69-76.



6. Луців І.В., Гевко Ів.Б., Гудь В.З., Дубиняк Т.С. Експериментальне обладнання для дослідження приводів гвинтових конвеєрів. Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» Випуск 10, ЛНТУ. Луцьк, 2017, С. 115-121.
7. Гевко І. Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05. 02.02 «Машинознавство» / І. Б. Гевко. – Львів, 2013. – 42 с.

Reference

- [1] Tepinkichiev V.K. Predohranitel'nye ustrojstva ot peregrevki stankov. – M. Mashinostroenie, 1964. – 157 s.
- [2] Polyakov V. S. Spravochnik po muftam. / Barabash I.D. , Rekhovskij O.A. / Mashinostroenie, 1974. – 352 s.
- [3] Malashchenko V.O. Mufti privodiv. Konstrukcii ta prikladi rozrahunkiv / V.O. Malashchenko. – L'viv : vid-vo Nac. un-tu «L'vivs'ka politekhnik», 2006. – 196 s.
- [4] Gevko I. B. Dinamichna model' procesu transportuvannya sipkih materialiv gvintovim konveerom / I. B. Gevko, A. O. Vitrovij, O. YA. Gurik // Sil'skogospodars'ki mashini: zb. nauk. statej. – Luc'k, 2001. – Vip. 8. – S. 72–82.
- [5] Investigation of dynamical impact loads in screw conveyer drives with safety clutches. INMATEH - Agricultural Engineering // [I.V. Lutsiv, Iv.B. Hevko, O.L. Lyashuk, T.S. Dubynyak] // Polytechnic University of Bucharest, 2017, - Vol. 51, № 1, P. 69-76.
- [6] Luciv I.V., Gevko Iv.B., Gud' V.Z., Dubinyak T.S. Eksperimental'ne obladnannya dlya doslidzhennya privodiv gvintovih konveeriv. Zbirnik naukovih prac' «Perspektivni tekhnologii ta priladi» Vipusk 10, LNTU. Luc'k, 2017, S. 115-121.
- [7] Gevko I. B. Naukovo-prikladni osnovi stvorennya gvintovih transportno-tekhnologichnih mekhanizmv : avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya doktora tekhn. nauk : spec. 05. 02.02 «Mashinoznavstvo» / I. B. Gevko. – L'viv, 2013. – 42 s.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УПРУГО-ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ МУФТЫ ГИБКОГО ВИНТОВОГО КОНВЕЙЕРА

Спроектирован и изготовлен опытный образец упруго-предохранительной муфты гибкого винтового конвейера и экспериментальная установка для его экспериментального исследования. Описано строение упруго-предохранительной муфты и экспериментальной установки для ее исследования. Проведены экспериментальные исследования напряженно-предохранительной муфты гибкого винтового конвейера и по их результатам построено графические зависимости момента срабатывания и определены коэффициенты динамичности и точности срабатывания исследуемой муфты.

Ключевые слова: упруго-предохранительная муфта, гибкий винтовой конвейер, элементы зацепления, привод, момент срабатывания, коэффициент.

Рис. 9. Лит. 7.

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF ELASTIC-POWERFUL MUSCULA OF FINE GUNT CONVEYOR

A prototype of a flexible screw conveyor elastic-safety clutch was designed and manufactured and an experimental installation for its experimental study. The structure of an elastic-safety clutch and an experimental installation for its research is described. Experimental investigations of elastic-safety couplings of flexible screw conveyor were carried out. According to their results, graphical dependences of the moment of operation were constructed and the coefficients of dynamism and precision of the operation of the investigated coupling were determined.

Keywords: elastic-safety coupling, flexible screw conveyor, clutch elements, drive, moment of operation, coefficient

Fig. 9. Ref. 7.



ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Луців Ігор Володимирович – доктор технічних наук, професор кафедри «Конструювання верстатів, інструментів та машин» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна, e-mail: kaf_vi@tu.edu.te.ua).

Гевко Іван Богданович – доктор технічних наук, професор кафедри «Менеджменту у виробничій сфері» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна, e-mail: kaf_vi@tu.edu.te.ua).

Гудь Віктор Зіновійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілів» Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя (вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна).

Дубиняк Тарас Степанович – старший викладач кафедри «Приладів і контрольно-вимірювальних систем» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна, e-mail: d_taras@ukr.net).

Луцив Игорь Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование станков, инструментов и машин» Тернопольского национального технического университета имени Ивана Пулюя (ул. Русская, 56, г. Тернополь, 46001, Украина, e-mail: kaf_vi@tu.edu.te.ua).

Гевко Иван Богданович – доктор технических наук, профессор кафедры «Менеджмента в производственной сфере» Тернопольского национального технического университета имени Ивана Пулюя (ул. Русская, 56, г. Тернополь, 46001, Украина, e-mail: kaf_vi@tu.edu.te.ua).

Гудь Виктор Зиновьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобилей» Тернопольского государственного технического университета имени Ивана Пулюя (ул. Русская, 56, г. Тернополь, 46001, Украина).

Дубиняк Тарас Степанович – старший преподаватель кафедры «Приборов и контрольно-измерительных систем» Тернопольского национального технического университета имени Ивана Пулюя (ул. Русская, 56, г. Тернополь, 46001, Украина, e-mail: d_taras@ukr.net).

Lutshiv Igor – Doctor of Technical Sciences, Full Professor of the Department of Designing Machines, Tools and Machines at Ternopil National Ivan Puluj Technical University (56, Ruska str., Ternopil, 46001, Ukraine, e-mail: kaf_vi@tu.edu.te.ua).

Hevko Ivan – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Department of Management in Production Area, Ternopil National Technical University named after Ivan Puluj (56, Ruska str., Ternopil, 46001, Ukraine, e-mail: kaf_vi@tu.edu.te.ua).

Gud Viktor – PhD, Associate Professor of the Department of Automobile, Ternopil State Technical University named after Ivan Puluj (56, Ruska str., Ternopil, 46001, Ukraine).

Dubinyak Taras – Senior Lecturer of the Department of Instruments and Control Systems of the Ivan Pulya Ternopil National Technical University (56, Ruska str., Ternopil, 46001, Ukraine, e-mail: d_taras@ukr.net).