



Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI: 10.37128/2520-6168-2020-2



**Machinery  
Energetics  
Transport  
of Agribusiness**



**ТЕХНІКА  
ЕНЕРГЕТИКА  
ТРАНСПОРТ АПК**



**ТЕХНІКА,  
ЕНЕРГЕТИКА,  
ТРАНСПОРТ АПК**

Журнал науково-виробничого та навчального спрямування  
Видавець: Вінницький національний аграрний університет

---

Заснований у 1997 році під назвою «Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту».  
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.  
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації  
КВ № 16644–5116 ПР від 30.04.2010 р.

---

*Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» / Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. Вінниця, 2020. 2 (109) . 146 с.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол №1 від 27.08.2020 р.)*

*Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.*

*Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 року №886)*

---

**Головний редактор**

**Токарчук О.А.** – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

**Заступник головного редактора**

**Веселовська Н.Р.** – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

**Відповідальний секретар**

**Полевода Ю.А.** – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

**Члени редакційної колегії**

**Іскович – Лотоцький Р.Д.** – д.т.н., проф., Вінницький національний технічний університет

**Цуркан О.В.** – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

**Булгаков В.М.** – д.т.н., проф., академік НААН, Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Іванчук Я.В.** – к.т.н., доц., Вінницький національний технічний університет

**Бандура В.М.** – к.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

**Зарубіжні члени редакційної колегії**

**Йордан Максимов** – д.т.н., професор Технічного університету Габрово (Болгарія)

---

Відповідальний секретар редакції **Полевода Ю.А.** кандидат технічних наук, доцент  
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет, тел. 46–00–03

Сайт журналу: <http://tetapk.vsau.org/>

Електронна адреса: [pophv@ukr.net](mailto:pophv@ukr.net)



## ЗМІСТ

## I. МАШИНОВИКОРИСТАННЯ У РОСЛИННИЦТВІ ТА ТВАРИННИЦТВІ

*Алієв Е.Б., Миколенко С.Ю., Яропуд В.М., Малегін Р.Д.*

<b>ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ КАВІТАЦІЙНОГО ДИСПЕРГАТОРА-ГОМОГЕНІЗАТОРА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ СИРОВИНИ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ НА КОРМОВІ ЦІЛІ.....</b>	<b>5</b>
--	----------

*Бабин І. А., Гришун А. В.*

<b>ТЕОРЕТИЧНІ ОБҐРУНТУВАННЯ ДЕЯКИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ З КЕРОВАНИМ РЕЖИМОМ ДОЇННЯ.....</b>	<b>16</b>
---	-----------

*Грушецький С.М., Яропуд В.М.*

<b>МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ В БАРАБАННОМУ СЕПАРАТОРІ.....</b>	<b>27</b>
---	-----------

*Kurilo Vasily, Pryshlyak Viktor*

<b>JUSTIFICATION OF THE METHOD AND DEVICE FOR TREATMENT AND SOWING OF SUGAR BEETS AND THE APPLICATION OF THE RESULTS IN PREPARATION TECHNOLOGIES.....</b>	<b>42</b>
---	-----------

*Малаков О.І., Бурлака С. А., Єленіч А.П.*

<b>ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМУ ПЛЮЩЕННЯ РОСЛИННОЇ МАСИ КОСАРКИ-ПЛЮЩИЛКИ ПРИЧІПНОЇ КПП-4,2.....</b>	<b>48</b>
---	-----------

## II. ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

*Комаха В.П., Єленіч А. П.*

<b>НАПРЯМОК ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ В СКЛАДІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....</b>	<b>57</b>
--	-----------

*Мутко Микола*

<b>METHODOLOGICAL BASES FOR IMPROVING THE STRUCTURE OF PRODUCTION SUBDIVISIONS OF MOTOR TRANSPORT ENTERPRISES.....</b>	<b>64</b>
--	-----------

*Холодюк О.В.*

<b>ГЛОБАЛЬНІ НАВІГАЦІЙНІ СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ ТА ЇХ РОЛЬ У ТЕХНОЛОГІЯХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА.....</b>	<b>71</b>
---	-----------

## III. ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ І ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

*Ivan Sevostianov, Svetlana Kravets, Maryna Pidlypna*

<b>USE OF CRITERIAL SYNTHESIS AND ANALYSIS FOR MODERNIZATION OF OBJECTS OF MACHINE BUILDING PRODUCTION.....</b>	<b>88</b>
---	-----------

*Кондратюк Д.Г., Дмитренко В.П.*

<b>ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЕКСТРУЗІЇ ТА ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕКСТРУДЕРА З ПРУЖНИМ ГВИНТОВИМ ЕЛЕМЕНТОМ НА ІНДЕКС РОЗШИРЕННЯ ЕКСТРУДАТУ.....</b>	<b>97</b>
---	-----------

## IV. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА

*Гайдамак О.Л., Матвійчук В.А., Кучеренко Ю.С.*

<b>ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ.....</b>	<b>105</b>
--	------------

*Токарчук О. А., Полевода Ю.А.*

<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НОВИХ ТИПІВ МУФТ.....</b>	<b>113</b>
--	------------



**V. ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ**

*Возняк О.М., Штуць А.А.*

**РОЗРАХУНОК НЕСТАНДАРТНИХ W-ПАРАМЕТРІВ ЧОТИРИПОЛЮСНИКА НА БІПОЛЯРНОМУ ТРАНЗИСТОРІ..... 122**

*Граняк В.Ф., Купчук І.М., Гонтар В.Г.*

**МЕТОД ТА ЗАСІБ ПРЯМОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН..... 128**

*Пазюк В. М.*

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ СУШІННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ..... 138**



УДК 621.825

DOI: 10.37128/2520-6168-2020-2-12

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НОВИХ ТИПІВ МУФТ**

**Токарчук Олексій Анатолійович**, к.т.н., доцент  
**Полєвода Юрій Алікович**, к.т.н., доцент  
Вінницький національний аграрний університет

**Oleksii Tokarchuk**, PhD, Associate Professor  
**Yurii Polievoda**, PhD, Associate Professor,  
Vinnytsia National Agrarian University

*Динамічні навантаження, які виникають при спрацюванні існуючих муфт, спричиняють значні ударні навантаження, це призводить до швидкого зношення поверхонь муфт та скорочення терміну експлуатації.*

*Перед сучасною технікою стоїть задача підвищення експлуатаційної надійності робочих органів і приводів машин. Одним з шляхів вирішення цієї задачі є розробка і застосування високоточних і низькодинамічних запобіжних муфт.*

*В зв'язку з цим питання розробки нових конструкції запобіжних муфт, які знижують ударні навантаження та підвищують надійність та довговічність механізмів техніки є актуальним. Проведений синтез конструктивних і кінематичних схем кулькових, кулачкових і планетарних запобіжних муфт, методика їх розрахунку в поєднанні з характером зміни моменту опору на робочому органі обладнання.*

*В статті проведено комплекс теоретичних і експериментальних досліджень для визначення їх раціональних конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів, що задовольняють умови експлуатації машин і механізмів. Був проведений силовий аналіз пружного елемента (кільцевої пружини). Побудовані схема навантаження пружного елемента двома силами та інші розрахункові схеми, а саме: еквівалентна система; схеми сил для визначення вантажного моменту; схеми сил для визначення одиничного моменту; схеми сумарного згинаючого моменту; схеми сил для визначення сумарного одиничного моменту.*

*При статичних експериментальних дослідження розроблених кулькових запобіжних муфт було встановлено характер їх спрацювання, визначено максимальний крутний момент на двох етапах спрацювання муфт і проведений порівняльний аналіз між результатами теоретичних і експериментальних досліджень. Було підтверджено позитивні результати експериментальних досліджень розробленої муфти та теоретичних положень, які можна застосовувати для обґрунтування і вибору раціональних параметрів розроблених конструкцій муфт і їх інженерного проектування.*

**Ключові слова:** експлуатаційні показники, крутний момент, запобіжна муфта, муфта, надійність, ударні навантаження, довговічність.

**Ф. 11. Рис. 5. Літ. 6.**

---

**1. Постановка проблеми**

Муфти є обов'язковими елементами у машинобудуванні, вони призначені для з'єднання та роз'єднання валів, передавання обертового моменту, а також виконують функції захисних пристроїв, що оберігають деталі, або складальні одиниці механічних приводів від дії перевантажень і можуть виконувати функції регуляторів швидкості руху. Найбільше розповсюдження отримали муфти для з'єднання деталей, що мають загальну геометричну вісь обертання.

Є ряд компенсуючих муфт, які застосовують для з'єднання та роз'єднання валів, геометричні осі яких за технологічним процесом мають радіальне, осьове та кутове зміщення. Різноманітність завдань та вимог, що розв'язуються за допомогою муфт, призвело до створення великої кількості різних їх видів і конструкцій. Часто застосовуються комбіновані муфти, що складаються з декількох простих муфт. Для автоматичного регулювання технологічними процесами широко застосовуються обгінні муфти, що автоматично з'єднують і роз'єднують вали без зупинки двигуна та передають обертовий момент тільки в одному напрямку.



Відповідно до ДСТУ 2278-93 муфти поділяються на три типи: механічні, електричні та гідравлічні, а механічні – мають чотири класи: некеровані, керовані, самокеровані та комбіновані. Кожний їх клас складається із: груп, підгруп і видів. За останні роки вітчизняними вченими розроблено низку нових конструкцій кулькових обгінних муфт, які вимагають подальшого дослідження, розрахунку для покращення ефективності механічних приводів машин та механізмів. Ці та інші виробничі проблеми стосовно нових конструкцій муфт та їх подальше дослідження і впровадження у виробництво у сукупності є вирішальним чинником вибору актуальності даної тематики [1].

Переважає більшість розроблених конструкцій запобіжних муфт і робіт, пов'язаних з визначенням їх раціональних і оптимальних конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів, направлена на визначення локальних проблем і не враховують основного комплексу вимог, яким повинні відповідати запобіжні муфти, а саме: точність спрацювання; надійність і довговічність в експлуатації (мінімальне зношення елементів зачеплення), а також зручність в експлуатації.

На нашу думку, таким трьома основними чинниками повинні відповідати запобіжні муфти, і в даній роботі буде зроблена спроба розробити конструкції саме таких муфт і провести комплекс теоретичних і експериментальних досліджень для визначення їх раціональних конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів, які задовольняють умови експлуатації машин і механізмів.

---

## 2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

---

Вагомий внесок у формування наукових основ теоретичних розрахунків параметрів запобіжних муфт, методик експериментальних досліджень, а також їх синтезу і конструювання внесли відомі вчені: Решетов Д.М., Поляков В.С., Гевко Б.М., Нагорняк С.Г., Гевко Р.Б. та інші.

Синтез конструктивних і кінематичних схем кулькових, кулачкових і планетарних запобіжних муфт, методика їх розрахунку в поєднанні з характером зміни моменту опору на робочому органі наведені в довіднику Нагорняка Г.С. і Луціва І.В. [2]. Питання профілювання лунок під кульки для забезпечення постійного моменту спрацювання запобіжних муфт вирішено в праці Нагорняка Г.С. [3].

Досліджувані запобіжні муфти використовувались у роботі [4]. Методика розрахунку запобіжних муфт із визначенням взаємозв'язку між силовими (зусилля розтиску півмуфт, крутний момент) і конструктивними параметрами кулькових і комбінованих запобіжних муфт викладено в працях Гевка Б.М., Гевка Р.Б. та Любіна М.В. [4, 5].

Провівши аналіз існуючих досліджень, які стосуються запобіжних муфт встановлено, що традиційно у механічних приводах застосовують роликіві обгінні муфти, які мають ряд недоліків, головними з яких є: обмеження терміну служби та величини обертального моменту внаслідок проковзування роликів відносно барабана. Такі обставини і спонукають до пошуку можливості покращення експлуатаційних характеристик механічного привода стосовно підвищення довговічності роботи муфт, збільшення величини обертального моменту, без збільшення габаритів привода, спрощення конструкції механічного привода тощо. Тому були запропоновані принципово нові кулькові муфти [1, 3, 4].

---

## 3. Мета і задачі дослідження

---

**Мета роботи** – зменшення рівня ударних навантажень на приводи машин шляхом обґрунтування та вибору раціональних параметрів нових конструкцій низькодинамічних кулькових запобіжних муфт.

---

## 4. Основні результати дослідження

---

Основними напрямками вдосконалення конструкцій кулькових запобіжних муфт є зменшення ударних навантажень при відносному провертанні ведучих і ведених ланок, підвищення точності та стабільності роботи муфт при їх високій довговічності.

Зменшення ударних навантажень при буксуванні півмуфт забезпечується, як правило, застосуванням демпфуючих елементів, конструктивне використання яких досить широке. Розглянемо типові варіанти їх виконання.

Кулькова запобіжна муфта (авторське свідоцтво № 1444571), що містить ступицю, ведучу і ведену півмуфти, які взаємозв'язані кульками. Ведена півмуфта за допомогою диска підтиснута пружиною. Пружину охоплює амортизаційна втулка, яка виконана з еластичного матеріалу у вигляді двох фланців, зв'язаних між собою по зовнішньому діаметру гофрованою поверхнею.



При виникненні перевантаження і відносного повертання з осьовим зміщенням півмуфт, амортизаційна втулка протидіє миттєвому розтисканню пружини, демпфуючи при цьому осьовий і коловий удар. Даний ефект досягається за рахунок використання амортизаційної втулки з полімерів, які характеризуються пружно-в'язкою деформацією.

Основним недоліком такої муфти є недовговічність амортизаційної втулки внаслідок зміни характеристик поліамідів при дії на них знакозмінних циклічних навантажень.

Варіант застосування гумових демпфуючих дисків 1 і 3 з обох сторін рухомої півмуфти 2 (рис. 1) забезпечує зменшення інерційних переміщень рухомої півмуфти в сторону стискання пружини, а також сприяє зростанню крутного моменту, який передає муфта (авторське свідоцтво № 896754). Внутрішній демпфуючий диск забезпечує гасіння осьового удару при повторному входженні півмуфт в зачеплення. Основним недоліком такої муфти є неузгодженість між часом деформації металевих пружин і гумових демпфуючих дисків. Тому при значних крутних моментах внутрішній гумовий диск не встигає повернутись в початковий напружений стан після деформації, в той час як рухома півмуфта здійснить зворотно-поступальний рух у осьовому напрямку [6].

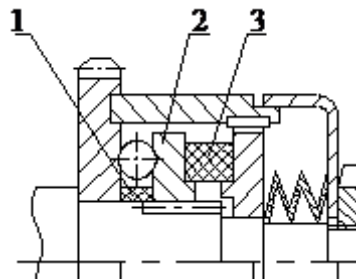


Рис. 1. Кулькова запобіжна муфта з двостороннім розташуванням демпфуючих дисків

Крутний момент, який передає муфта можна визначити згідно роботи [3].

$$T_M = \frac{RC \left[ \delta_0 \sqrt{r^2 - (\sqrt{h_l \cdot (2r - h_l) - R_\phi})^2 - r + h_l} \right]}{\operatorname{tg} \left\{ \arcsin \left( \frac{\sqrt{r^2 - V h_l \cdot (2r - h_l) - R_\phi}}{r} \right) - \phi \right\}} \quad (1)$$

Далі проводимо силовий аналіз пружного елемента (кільцевої пружини).

Система статично невизначена. Канонічні рівняння методу сил будуть мати такий вид:

$$\delta_{11} X_1 + \Delta_{1F} = 0, \quad (2)$$

де  $X_1$  – невідоме зусилля;

$\delta_{11}$ ,  $\Delta_{1F}$  – коефіцієнти канонічного рівняння.

Далі були побудовані схема навантаження пружного елемента двома силами та інші розрахункові схеми: еквівалентна система; схеми сил для визначення вантажного моменту; схеми сил для визначення одиничного моменту; схеми сумарного згинаючого моменту; схеми сил для визначення сумарного одиничного моменту.

Рівняння вантажного згинаючого моменту:

$$M_{ZF} = \frac{F}{2} (R - R \cdot \cos \phi) = \frac{FR}{2} (1 - \cos \phi). \quad (3)$$

Рівняння одиничного згинаючого моменту:

$$\bar{M}_Z = 1. \quad (4)$$

Тоді коефіцієнти канонічного рівняння методу сил знайдемо за допомогою інтеграла Мора:

$$\delta_{11} = \int_0^{\pi/2} \frac{\bar{M}_Z \cdot \bar{M}_Z}{EI_Z} dx = \int_0^{\pi/2} \frac{1 \cdot 1}{EI_Z} R dx = \frac{R}{EI_Z} \cdot \phi \Big|_0^{\pi/2} = \frac{R \cdot \pi}{2EI_Z}; \quad (5)$$

$$\Delta_{1F} = \int_0^{\pi/2} \frac{M_{ZF} \cdot \bar{M}_Z}{EI_Z} dx = \int_0^{\pi/2} \frac{FR}{2} \frac{(1 - \cos \phi) \cdot 1}{EI_Z} \cdot R d\phi = \frac{FR^2}{2EI_Z} \left[ \frac{\pi}{2} - 1 \right]. \quad (6)$$



Підставивши знайдені коефіцієнти в канонічні рівняння, знайдемо невідоме зусилля:

$$x_1 = -\frac{\Delta_{1F}}{\delta_{11}} = -0,182FR. \quad (7)$$

Рівняння згинаючого моменту для вантажної системи:

$$M_{ZF} = -x_1 + \frac{F}{2}(R - R \cdot \cos \phi) = -0,182FR + \frac{FR}{2}(1 - \cos \phi). \quad (8)$$

Рівняння згинаючого моменту для одичної системи:

$$\bar{M}_Z = -x_1 + \frac{x}{2}(R - R \cdot \cos \phi) = -0,182R + \frac{R}{2}(1 - \cos \phi). \quad (9)$$

Тоді деформація в місці прикладення одичної сили буде дорівнювати:

$$\Delta = \int_0^{\pi/2} \frac{M_{ZF} \cdot \bar{M}_Z}{EI_Z} dx = \frac{R}{EI_Z} \int_0^{\pi/2} (-0,182FR + \frac{FR}{2}(1 - \cos \phi)) \cdot (-0,182R + \frac{R}{2} \cdot (1 - \cos \phi)) d\phi = \frac{R^3}{EI_Z} \int_0^{\pi/2} (-0,182F + \frac{F}{2}(1 - \cos \phi)) \cdot (-0,182 + \frac{1 - \cos \phi}{2}) d\phi, \quad (10)$$

де:  $E$  – модуль Юнга;

$R$  – радіус кільця;

$F$  – прикладена сила;

$I_z$  – момент інерції перерізу кільця відносно горизонтальної осі.

Звідки сила, прикладена до кільця буде визначатися:

$$F = \frac{\Delta \cdot E \cdot I_z}{R^3 \cdot \int_0^{\pi/2} (-0,182 + \frac{1 - \cos \phi}{2}) \cdot (-0,182 + \frac{1 - \cos \phi}{2}) d\phi}. \quad (11)$$

Експериментальні дослідження проводились у відповідності до основних задач, які викладені у першому розділі, а також на основі проведених теоретичних розрахунків, а саме розроблена програма експериментальних досліджень, згідно якої передбачалось:

- розробку технічної документації та виготовлення дослідних моделей кулькових запобіжних муфт з можливим регулюванням параметрів елементів конструкцій, що суттєво впливають на процес функціонування муфти;
- розробку та виготовлення експериментального стенду для проведення досліджень з визначення параметрів процесу спрацювання запобіжних муфт;
- проведення статичних і динамічних досліджень з визначенням впливу конструктивних і кінематичних параметрів запобіжних муфт на характер їх спрацювання та зміну величини крутного моменту;
- проведення експериментальних досліджень з використанням математичного планування багатофакторного експерименту;
- проведення порівняльного аналізу результатів теоретичних і експериментальних досліджень стосовно величини крутного моменту при спрацюванні муфт і кута відносного провертання півмуфт після їх розмикання до повторного контакту;
- проведення виробничих випробувань розроблених конструкцій кулькових запобіжних муфт в реальних умовах експлуатації.

В конструкції кулькових запобіжних муфт з несучими радіальними елементами зачеплення, які складаються з ведучої і веденої півмуфт, кульок, які знаходяться в отворах ведучої муфти, і притиснуті пружиною до веденої півмуфти. Пружина підтримується від радіального зміщення штифтами та осевого зміщення штопорним кільцем.

Працює запобіжна муфта наступним чином. Крутний момент передається від ведучої півмуфти через несучі кульки, які притискаються у лунки пружиною на ведену півмуфту.

У випадку перевантаження, гальмується ведена півмуфта. Ведуча півмуфта і кульки з пружиною продовжують обертатись, що призводить до виходу несучих кульок із зачеплення з лунками веденої півмуфти. При цьому несучі кульки переміщуються в радіальних пазах в сторону осі, що призводить до деформації пружин. В цей момент кульки перекочуються по веденій півмуфті.

При подальшому відносному провертанні кульки наближаються до наступних дугових пазів. Дуговий паз із сторони входження кульки виконаний менш похилим для більш плавного входження у





лунку. Під дією надто великого крутного моменту кулька знову виходить з лунки. При зменшенні величини крутного моменту, під дією пружин, кульки відновлюють контакт з пазами внутрішньої поверхні корпусу веденої півмуфти, тобто відновлюється функціонування пристрою. Компенсація неспіввісності валів, що з'єднуються відбувається за рахунок деформації відповідної пружини. Пропонована запобіжна кулькова муфта характеризується, крім функції захисту вузлів машин від перевантаження, здатністю компенсувати зміщення з'єднаних валів.

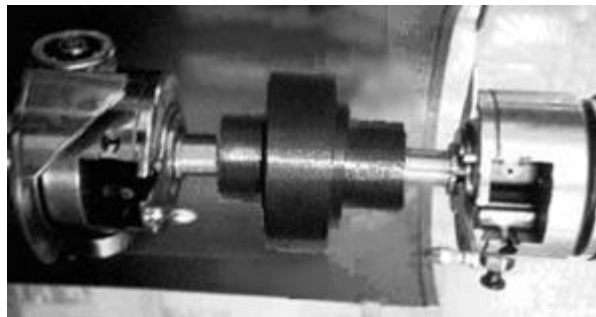
Існує варіант виконання запобіжної кулькової муфти з радіальними елементами зачеплення. В даному випадку муфта відрізняється від попередньої тим що вона встановлюється не на двох валах, а на валові і ланцюговій передачі, лунки для кульок виконані на зовнішній поверхні. Представлена запобіжна муфта складається з зірочки, у якій виконані отвори для кульок, котрі притискаються пружиною у лунки, котрі виконані на зовнішній стороні маточини. Від осевого зміщення пружини встановлено кільце, а від осевого зміщення зірочки стоять штопорні кільця. Дана запобіжна кулькова муфта працює аналогічно попередній конструкції муфти.

Проведення та обчислення результатів статичних досліджень запобіжних муфт відбувалося до відповідної методики.

Метою статичних експериментальних досліджень розроблених і виготовлених кулькових запобіжних муфт було встановлення характеру їх спрацювання, визначення максимального крутного моменту на двох етапах спрацювання муфт і здійснення порівняльного аналізу між результатами теоретичних і експериментальних досліджень.

Попередньо муфти встановлювались на розривну машину Р5, для чого були виготовлені спеціальні кріпильні кінцевики, які з одного боку з'єднувались з півмуфтами, а з іншого – захватами розривної машини. Загальний вигляд даного стенду, на якому встановлено муфти, зображено на рис. 2.

За допомогою навантажувального механізму збільшували момент опору на муфту, величина якого фіксувалась на силовій шкалі. При цьому визначалось відносне зміщення півмуфт за допомогою кутової шкали.



*Рис. 2. Загальний вигляд стенду з муфтою*

Як показали результати досліджень, кутове повертання півмуфт відбувалось при максимальному крутному моменті, який різко падав при виникненні кутового зміщення півмуфт. Це повністю підтверджує результати теоретичних досліджень, які викладені на основі аналізу попередніх формул. Тобто крутний момент різко падає при виникненні кутового зміщення півмуфт.

Таким чином, при проведенні досліджень фіксували максимальний крутний момент в десятикратній повторюваності при різних положеннях лунок.

Для проведення експериментальних досліджень муфти виготовлялись з наступними конструктивними параметрами.

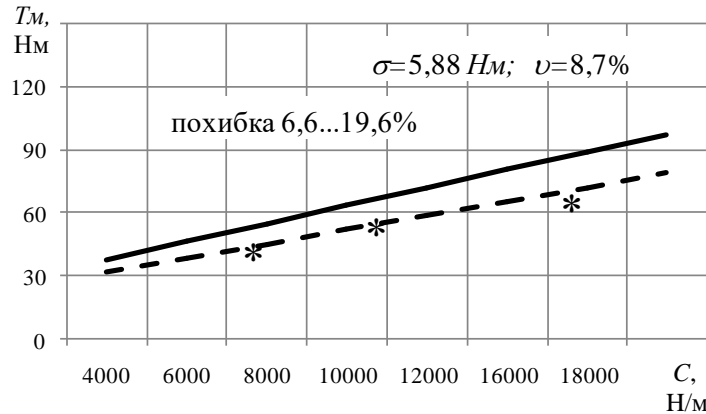
Для муфти з радіальними елементами зачеплення:  $C = 7530; 10900; 16400; 19100$  Н/м;  $R = 0,023$  м;  $r = 0,0078$  м;  $\delta_0 = 0,01$  м;  $h_1 = 0,003$  м.

Дані параметри підставлялись в теоретичні залежності, за якими визначали максимальний крутний момент на муфтах. При цьому приймали, що коефіцієнт тертя рівний  $f = 0,17$ .



За результатами досліджень встановлено, що для муфти з радіальними елементами зачеплення, дані показники становлять:  $\gamma_T = 1,27$ ;  $T_m = 67,4$  Нм;  $\sigma = 5,88$  Нм;  $\nu = 8,7\%$ .

Результати теоретичних і експериментальних досліджень, які представлені на рис. 5 носять явно виражений лінійний характер. Верхні пари графіків відображають основний крутний момент спрацювання муфти при виникненні перевантаження.



**Рис. 3. Залежність зміни крутного моменту муфти з радіальними елементами зачеплення від жорсткості пружини**

Оскільки коефіцієнт точності спрацювання муфт визначається основним крутним моментом, що передає муфта, то порівняльний аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень проводимо для пари графіків.

З аналізу графічних залежностей, які зображені на рис. 3 встановлено, що похибка між результатами теоретичних і експериментальних досліджень знаходиться в межах 6,6...19,6% для різних значень результатів експерименту.

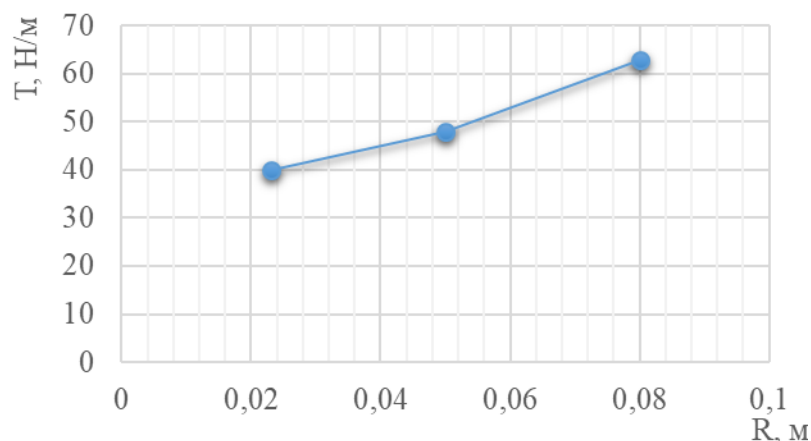
Таким чином, за результатами експерименту встановлено, що попередньо виведені аналітичні залежність, для визначення крутного моменту, який передає муфта адекватно відображають реальні процеси спрацювання розроблених муфт. Тому дані аналітичні залежності можуть бути використані при інженерному проектуванні різних типорозмірів таких муфт.

При цьому, задаючись одним сталим параметром, можна визначити інші, виходячи з необхідного крутного моменту, який має передавати муфта.

Експериментальні дослідження розроблених і виготовлених кулькових запобіжних муфт проводились на стенді за методикою, яка наведена вище. Також проводились дослідження для кулькової запобіжної муфти зі зміною радіусу розташування кульок  $R$ , та з різними радіусами кульок  $r$ .

Результати експериментальних досліджень переставлено на рис. 4 і 5.

Тенденція впливу параметрів  $R$ , і  $r$  на величину  $T_m$  для муфти з радіальними елементами зачеплення є аналогічною до попередньо розглянутої.



**Рис. 4. Залежність впливу радіуса розташування кульок на величину крутного моменту**

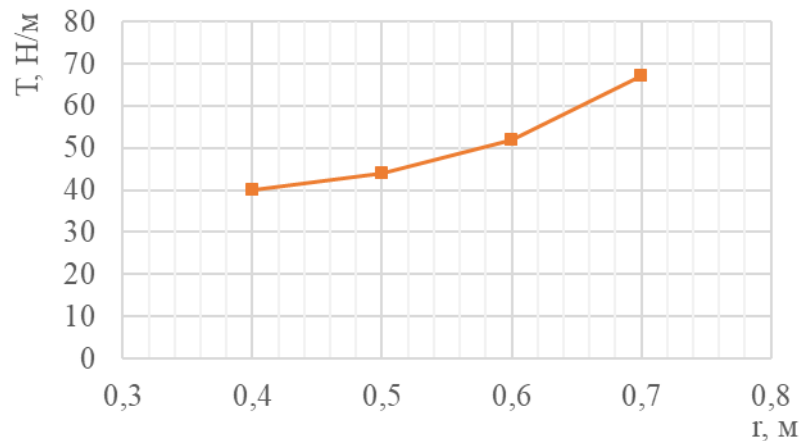


Рис. 5. Залежність впливу глибини лунок на величину крутного моменту

Для залежності  $T_m = f(C)$  – 6,6% – 19,6%.

Для залежності  $T_m = f(R)$  – 7% – 18,5%.

Для залежності  $T_m = f(r)$  – 7,5% – 17%.

Таким чином, результати експериментальних досліджень розробленої муфти підтвердили справедливість теоретичних положень, які можна застосовувати для обґрунтування і вибору раціональних параметрів розроблених конструкцій муфт і їх інженерного проектування.

## 5. Висновок

На основі розрахункових схем спроектовані і виготовлені експериментальні конструкції кулькових низькодинамічних запобіжних муфт. На базі фрезерного верстату розроблений стенд для проведення досліджень і визначення експлуатаційних характеристик запобіжних муфт, а також запропонована методика проведення досліджень.

За результатами статичних досліджень встановлено, що коефіцієнт точності спрацювання муфти становить  $\gamma_r \approx 1,27$ . На основі статистичної обробки розсіювання крутного моменту встановлено, що середнє квадратичне відхилення становить  $\sigma = 5,88$  Нм, а коефіцієнт варіації  $\nu = 8,7\%$ . Похибка між результатами теоретичних і експериментальних досліджень  $\delta = 6,6 \dots 19,6\%$ .

## Список використаних джерел

1. Борис А. О. Покращення ефективності механічних приводів застосуванням кулькових обгінно-запобіжних муфт : автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук : 05.02.02. Львів, 2019. 25 с.
2. Нагорняк С. Г., Луцив И.В. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования: справочник. Киев : Техника, 1992. 72 с.
3. Нагорняк С. Г. Обґрунтування конструктивно-силових параметрів планетарних відцентрових муфт : автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук : 05.02.02. Львів, 2005. 19 с.
4. Гевко Р. Б., Клендій О. М., Погрішук Б. В., Клендій В. М., Добіжа Н. В. Дослідження процесів спрацювання низькодинамічних кулькових запобіжних муфт із замкнутими коловими профілями елементів зачеплення. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2018. № 1. С. 23–33.
5. Любін М. В., Токарчук О. А., Єленіч М. П. Розрахунки підймальних механізмів та машин : навчальний посібник. Вінниця : ВНАУ, 2013. 208 с.
6. Tokarchuk O., Polievoda Y. Development of new ball safety couplings and justification of the basic technical parameters which ensure the reliability of the technical work. *Scientific bulletin. Series D: Mechanical Engineering*. 2020. Vol. 82, Iss. 2. pp. 49–60.

## References

- [1] Borys, A. O. (2019). *Pokrashchennia efektyvnosti mekhanichnykh pryvodiv zastosuvanniam kulkovykh obhinno-zapobizhnykh muft* [Improving the efficiency of mechanical drives by using ball bypass safety



- couplings] (*Extended abstract of Candidate's thesis*). Lviv. [in Ukrainian].
- [2] Nahorniak, S. H., Lutsyv, Y.V. (1992). *Predokhranytelnie mekhanyzmi metalloobrabativaiushcheho oborudovanyia* : directory. Kyiv. Tekhnyka. [in Ukrainian].
- [3] Nahorniak, S. H. (2005). *Obhruntuvannia konstruktivno-sylovykh parametriv planetarnykh vidtsentrovnykh muft* [Substantiation of structural and power parameters of planetary centrifugal couplings] (*Extended abstract of Candidate's thesis*). Lviv. [in Ukrainian].
- [4] Hevko, R. B., Klendii, O. M., Pohrishchuk, B. V., Klendii, V. M., Dobizha, N. V. (2018). *Doslidzhennia protsesiv spratsiuvannia nyzkodynamichnykh kulkovykh zapobizhnykh muft iz zamknutymy kolovymy profiliamy elementiv zacheplennia* [Research of processes of operation of low-dynamic ball safety couplings with the closed circular profiles of elements of gearing]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 1, 23–33. [in Ukrainian].
- [5] Liubin, M. V., Tokarchuk, O. A., Yelenich, M. P. (2013). *Rozrakhunky pidiimalnykh mekhanizmiv ta mashyn* : navchalnyi posibnyk. Vinnytsia. [in Ukrainian].
- [6] Tokarchuk, O., Polievoda, Y. (2020). Development of new ball safety couplings and justification of the basic technical parameters which ensure the reliability of the technical work. *Scientific bulletin. Series D: Mechanical Engineering*, 82, 2, 49–60. Bucharest. [in Romanian].

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НОВЫХ ВИДОВ МУФТ

*Динамические нагрузки, возникающие при срабатывании существующих муфт, вызывают значительные ударные нагрузки, это приводит к быстрому износу поверхностей муфт и сокращения срока эксплуатации.*

*Перед современной техникой стоит задача повышения эксплуатационной надежности рабочих органов и приводов машин. Одним из путей решения этой задачи является разработка и применение высокоточных и низкочастотных предохранительных муфт.*

*В связи с этим вопрос разработки новых конструкции предохранительных муфт, которые снижают ударные нагрузки и повышают надежность и долговечность механизмов техники является актуальным. Проведенный синтез конструктивных и кинематических схем шариковых, кулачковых и планетарных предохранительных муфт, методика их расчета в сочетании с характером изменения момента сопротивления на рабочем органе оборудования.*

*В статье проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований для определения их рациональных конструктивных, кинематических и динамических параметров, которые удовлетворяют условия эксплуатации машин и механизмов. Был проведен силовой анализ упругого элемента (кольцевой пружины). Построены схема нагрузки упругого элемента двумя силами и другие расчетные схемы, а именно: эквивалентная система; схемы сил для определения грузового момента; схемы сил для определения единичного момента; схемы суммарного изгибающего момента; схемы сил для определения суммарного единичного момента.*

*При статических экспериментальных исследованиях, разработанных шариковых предохранительных муфт было установлено характер их срабатывания, определены максимальный крутящий момент на двух этапах срабатывания муфт и проведен сравнительный анализ между результатами теоретических и экспериментальных исследований. Было подтверждено положительные результаты экспериментальных исследований разработанной муфты и теоретических положений, которые можно применять для обоснования и выбора рациональных параметров разработанных конструкций муфт и их инженерного проектирования.*

**Ключевые слова:** эксплуатационные показатели, муфта, крутящий момент, предохранительная муфта, надежность, ударные нагрузки, долговечность.

**Ф. 11. Рис. 5. Лит. 6.**

### RESEARCH OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF NEW TYPES OF COUPLINGS

*Dynamic loads that occur during the operation of existing couplings cause significant shock loads, which leads to rapid wear of the surfaces of the couplings and shortens the service life.*

*Modern technology faces the task of improving the operational reliability of the working bodies and drives of machines. One way to solve this problem is to develop and use high-precision and low-dynamic safety couplings.*

*In this regard, the question of developing new designs of safety couplings that reduce impact loads and increase the reliability and durability of machinery is relevant. The synthesis of structural and kinematic*



*schemes of ball, cam and planetary safety couplings, the method of their calculation in combination with the nature of the change in the moment of resistance on the working body of the equipment.*

*The article conducts a set of theoretical and experimental studies to determine their rational design, kinematic and dynamic parameters that will satisfy the operating conditions of machines and mechanisms. A force analysis of the elastic element (ring spring) was performed. The scheme of loading of an elastic element by two forces and other settlement schemes are constructed, namely: equivalent system; force diagrams for determining the load torque; force schemes for determining the unit moment; schemes of total bending moment; force schemes to determine the total unit moment. During static experimental studies of the developed ball safety couplings, the nature of their operation was established, the maximum torque at the two stages of operation of the couplings was determined and a comparative analysis between the results of theoretical and experimental studies was performed.*

*The positive results of experimental researches of the developed coupling and theoretical positions which can be applied to a substantiation and a choice of rational parameters of the developed designs of couplings and their engineering designing were confirmed.*

**Key words:** performance, torque, safety coupling, coupling, reliability, shock loads, durability.

**F. 11. Fig. 5. Ref. 6.**

#### **ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА**

**Токарчук Олексій Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: tokarchuk08@ukr.net).

**Полєвода Юрій Алікович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: vinyura36@gmail.com).

**Токарчук Алексей Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: tokarchuk08@ukr.net).

**Полевода Юрий Аликович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: vinyura36@gmail.com).

**Tokarchuk Oleksii** – PhD, Associate Professor of the Department of technological processes and equipment for processing of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonyachna st., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: tokarchuk08@ukr.net).

**Polievoda Yurii** – PhD, Associate Professor of the Department of technological processes and equipment for processing of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonyachna st., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: vinyura36@gmail.com).