

УДК 621.825.5

А. О. БОРИС<sup>1</sup>, Є. С. ВЕНЦЕЛЬ<sup>2</sup>, П. Л. НОСКО<sup>3</sup>, П. В. ФІЛЬ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

<sup>3</sup>Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## ТЕРТЯ ПІД ЧАС ВИМИКАННЯ КУЛЬКОВИХ ОБМЕЖУВАЧІВ ОБЕРТАЛЬНОГО МОМЕНТУ

*Проведено аналітичні дослідження впливу тертя на величину обертального моменту, при якому відбувається спрацювання запобіжної муфти гайковерта, тобто роз'єднання ведучої та веденої його частин. Виконано кількісний аналіз залежності цього робочого моменту від основних конструктивних параметрів. Отримані результати подано у вигляді таблиць і графіків, що мають суттєве практичне значення для полегшення виконання монтажно-демонтажних операцій.*

**Ключеві слова:** кульковий обмежувач обертального моменту; тертя у муфтах.

**Вступ.** Під час проведення ремонтних робіт над механізмами різноманітних транспортних засобів застосовуються відповідні пристрої. Особливе місце в процесі виконання монтажно-демонтажних робіт займають операції з нарізевими з'єднаннями, які часто вимагають точної величини сили попереднього затягування, яка створюється прикладанням потрібного обертового руху однієї деталі механізму відносно іншої нерухомої. Це має місце, наприклад, під час затягування гайок нарізевих з'єднань до регламентованого рівня, коли традиційно застосовують так звані динамометричні ключі. Точність виконання цього процесу суттєво залежить від людського фактора та властивостей інструменту, який з часом може змінювати свою пружну характеристику. Такі чинники приводять до зниження якісного рівня складання машин при їх виготовленні чи монтажно-демонтажних операціях під час проведення ремонтних робіт над різноманітними механізмами, що вимагають сталої сили притискання.

**Аналіз публікацій.** У відомих літературних джерелах часто наголошується на тому, що існує цілком конкретна й актуальна технічна проблема з підвищення якості виконання монтажно-демонтажних операцій під час проведення ремонтних робіт [1 – 6]. Ця проблема сприяла розробленню нових технічних засобів цього напрямку [6 – 10] та викликала необхідність проведення відповідних досліджень основних їх експлуатаційних показників.

**Мета і постановка завдання.** Метою даної статті є підвищення точності складання напружених болтових з'єднань проведенням необхідних теоретичних досліджень з уточнення величини обертального моменту, що прикладається до інструменту, за рахунок визначення його частки, яка добавляється внаслідок виникнення тертя між кульками та боковими робочими поверхнями пазів півмуфт. Це необхідно знати для розробки способу автоматичного регулювання величини обертального моменту з урахуванням наявного тертя, застосовуючи спеціальні гайковерти, що істотно скорочує час виконання складальних операцій, підвищує точність процесу затягування гайок завдяки цілковитому

усуненню прояву людського чинника та дозволяє легко регулювати величину сили затягування нарізевих з'єднань різноманітних машин та механізмів.

**Виклад основного матеріалу.** Поставлену мету можна досягти, застосовуючи у будові гайковерта розроблені та запатентовані нові конструкції запобіжних муфт одnobічної та двобічної дії [11]. Базовою конструкцією є кулькові муфти, що функціонують за принципом зачеплення тіл кочення з робочими пазами півмуфт. Вони є прості та дозволяють легко синтезувати гайковерти з наперед заданими характеристиками і тим самим розв'язати актуальну проблему машинобудування.

Характерна конструкція муфти цього типу наведена на рис. 1. Вона відрізняється тільки тим, що має зовнішню поверхню внутрішньої півмуфти бочкоподібної форми, що істотно покращує її компенсаційну здатність, що для кінематичних ланцюгів приводів машин має велике значення.

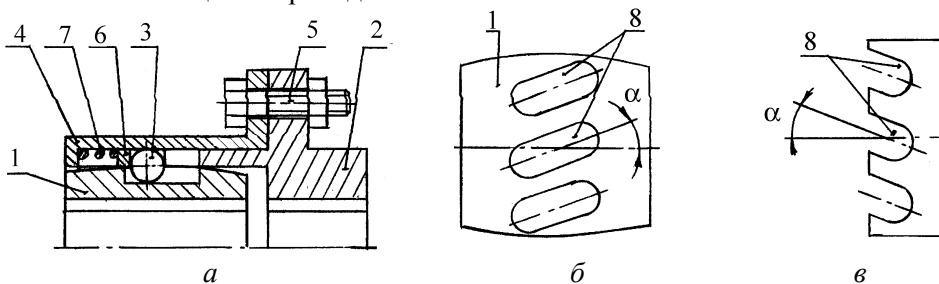


Рис. 1. Принципова схема кулькової обгінної муфти осьової дії: *a* – загальний вигляд; *б* і *в* – розміщення пазів відповідно на ведучій та веденій півмуфтах

Ця муфта має також переваги в тому, що складається із меншої кількості деталей, тобто муфта простіша у виготовленні та експлуатації. Вона включає в себе: ліву півмуфту 1, що має маточину з зовнішньою бочкоподібною поверхнею, на якій нарізано пази під кутом  $\alpha$  до осі обертання; праву півмуфту 2, що має також маточину для закріплення її на валу, та частину у вигляді кільця, на торці якого нарізано відповідну кількість пазів протилежного нахилу. У пазах півмуфт розташовано по одній кульці 3, що можуть з'єднувати півмуфти та передавати обертальний момент за принципом зачеплення. Для надійного вмикання муфти в роботу, тобто вчасного зчеплення півмуфт, муфта обладнана кільцем 6, що спирається на гвинтову пружину 7. Півмуфти розміщені в спільному корпусі 4, що болтами 5 закріплюється до веденої півмуфти.

Муфта може бути в чотирьох режимах, це залежить від розташування кульок. Якщо кульки займають крайнє ліве положення, то передача муфтою обертального моменту неможлива тому, що муфта функціонує як звичайний підшипник у неробочому режимі. Це можливо тоді, коли ведуча півмуфта змінить напрямку руху або зупиниться, а ведена – продовжуватиме рухатись. До робочого стану муфта перейде тоді, коли кульки будуть розташовані в крайньому правому положенні. Вони зчіплюють півмуфти та передають обертальний момент, що приводить до навантаження робочих поверхонь як кульок, так і півмуфт. Є ще два проміжні стани такі, коли кульки мали б вкочуватися в пази та викочуватися з них. Але, з причини особливої силової взаємодії в робочій зоні, кульки тут схильні до проковзування відносно поверхонь пазів, що впливає на точність виконання приладом заданих технологічних операцій. У даній роботі робиться спроба дослідити вагомість

впливу тертя на точність роз'єднання півмуфт, тобто точність затягування болтових з'єднань під час їх монтажу.

Наведений матеріал є підґрунтям для проведення дослідження впливу тертя на точність роз'єднання півмуфт, а саме: на момент вимикання гайковерта, що наведений на рис 2.

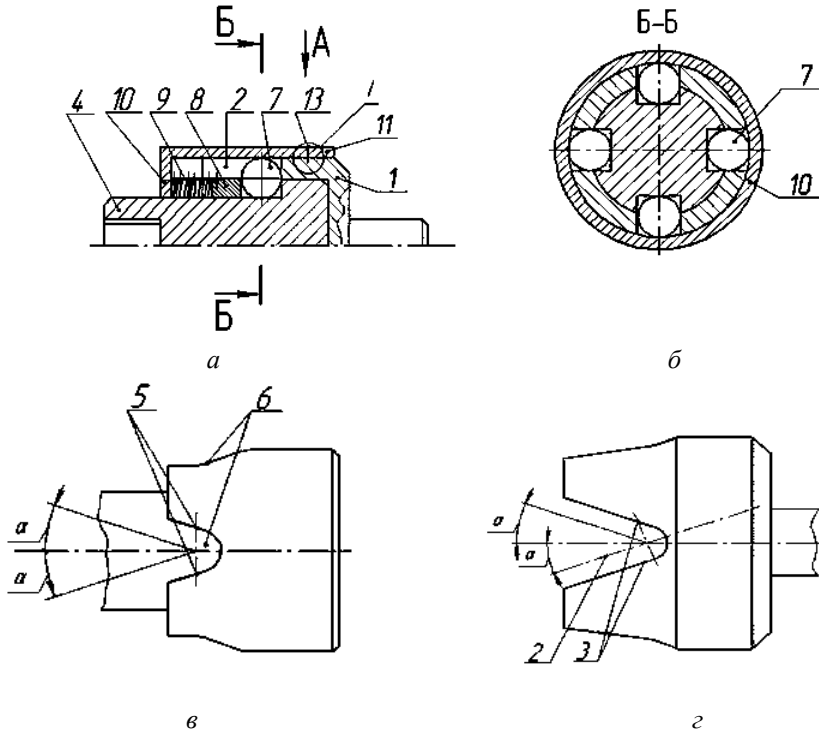


Рис. 2. Принципова конструкція гайковерта: а – загальний вигляд; б – переріз Б-Б; в, г – вид А на ведену та ведучу півмуфти

На основі розрахункових схем [11] можна записати моменти вимикання пристрою без урахування тертя в робочій зоні

$$T = K_i \frac{GD_0 d_d^4}{32D^3 i_p} \frac{2l_0 + (1 + \sin \alpha) d}{2 \operatorname{tg} \alpha} \quad (1)$$

та з урахуванням тертя

$$T_p = K_i \frac{GD_0 d_d^4}{32D^3 i_p} \frac{2l_0 + (1 + \sin \alpha) d}{2 \frac{\operatorname{tg} \alpha - f}{1 + f \operatorname{tg} \alpha}} \quad (2)$$

де  $T$  і  $T_p$  – обертальні моменти, при яких вимикається запобіжна муфта гайковерта;  $K_i$  – коефіцієнт нерівномірності навантажень кульок;  $G$  – модуль пружності другого роду;  $D_0$  – діаметр кола центрів кульок;  $d_d$  – діаметр дроту пружини;  $l_0$  – переміщення кульки паралельно осі муфти;  $D$  – діаметр пружини;  $i_p$  – кількість її робочих витків;  $f$  – коефіцієнт тертя;  $\alpha$  – кут нахилу пазів півмуфт,  $d$  – діаметр кульки.

Якщо поділити вираз (2) на – (1) і виконати прості скорочення, то дістанемо вираз

$$\frac{T_p}{T} = \frac{\operatorname{tg}\alpha(1 + f\operatorname{tg}\alpha)}{\operatorname{tg}\alpha - f} \quad (3)$$

Аналізуючи вираз (3), стає очевидним те, що при будь-яких значеннях кута нахилу  $\alpha$  і кута тертя  $\rho = \operatorname{arc} \operatorname{tg} f$ , відношення обертальних моментів, при яких відбувається вимикання муфти завжди буде більше одиниці. Внаслідок того, що за технологічним процесом запобіжна муфта може мати вельми різні значення кута  $\alpha$ , матеріал, умови експлуатації тощо, тому як приклад тут проведено кількісний аналіз одного із розроблених гайковертів для затягування гайок болтових з'єднань.

Результати кількісного аналізу найхарактерніших випадків зведено до табл. 1 та рис. 3.

Таблиця 1

**Рівень впливу тертя на момент вимикання муфти**

$\alpha$ , град		$T_p / T$					
		10	20	30	40	50	60
$f$	0,010	1,061	1,032	1,023	1,020	1,020	1,023
	0,025	1,170	1,083	1,060	1,052	1,052	1,059
	0,050	1,407	1,180	1,126	1,108	1,106	1,119
	0,075	1,763	1,294	1,199	1,167	1,163	1,181
	0,100	2,356	1,430	1,280	1,231	1,222	1,246

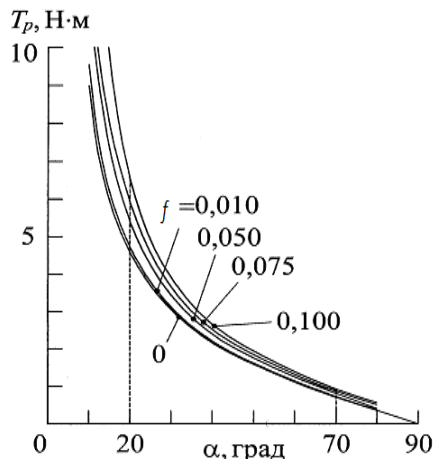


Рис. 3. Характеристики гайковерта з урахуванням тертя

Встановлено, що на процес тертя, тобто на силову взаємодію, істотно впливає кутова орієнтація пазів півмуфти, яка приводить до зміни напрямків дії сил, що виникають між тілами кочення та робочими поверхнями пазів.

Перевірку особливостей впливу цих параметрів на навантажувальні властивості запобіжної муфти гайковерта виконано на конкретних прикладах (не вдаючись до строгих аналітичних виразів). Розглянуто пристрій з такими параметрами: діаметр, на якому розташовані центри кульок —  $D_0 = 50$  мм; діаметр кульок —  $d = 10$  мм; діаметр дроту пружини —  $d_d = 4,5$  мм; середній

діаметр пружини —  $D = 45$  мм; кількість робочих витків пружини —  $i_p = 5$ ; кут орієнтування пазів у ведучій півмуфті —  $\alpha' = 45,5$  град; кут тертя —  $\rho = 0,5$  град (коефіцієнт тертя —  $f = 0,0087$ ); коефіцієнт жорсткості пружини —  $k_p = 100$  Н.

Тепер надаючи різних значень конструкційному параметру  $\alpha''$ , що визначає орієнтацію пазів у веденій півмуфті, і регулювальному параметру  $l_0$ , що вимірює попереднє затягування натискної пружини, проведено кількісний аналіз, результати якого наведено в табл. 2. У разі  $l_0 = 0$  і  $\alpha'' = -20$  і  $-40$  ідеться про нерегульовану складову обертального моменту, це чисто теоретичний стан пристрою.

Таблиця 2

**Рівень можливості конструкційного та регулювального впливу на момент вимикання запобіжної муфти**

$\alpha''$ , град	-40	-20	0	20	40	60	80	90	
$T_p$ , Н·м	$l_0 = 0$ , мм	2,448	1,051	1,009	0,991	0,900	0,692	0,310	0,017
	10	16,154	4,245	3,026	2,468	1,997	1,433	0,623	0,035
	20	29,860	7,439	5,044	3,945	3,093	2,174	0,936	0,052

Тут чітко простежується монотонно спадна залежність величини  $T_p$  від параметра  $\alpha''$ . Проте, величина нерегульованої складової обертального моменту майже не чутлива до зміни параметра  $\alpha''$ , доки справджується умова  $-20 \leq \alpha'' \leq 30^\circ$ .

Залежність величини  $T_p$  від параметра  $\alpha''$  наведено графічно (рис. 4), де видно, що крутизна функції  $T_p = T_p(\alpha'')$  помітно зростає із збільшенням параметра  $l_0$ .

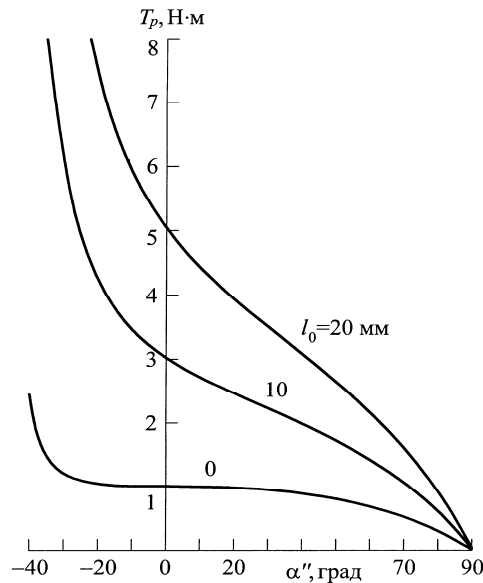


Рис. 4. Вплив орієнтації пазів веденої півмуфти на навантажувальні властивості запобіжної муфти

Понад те, побудована ця залежність помітно крутіша в околах більших за модулем значень  $\alpha''$  (від'ємних і додатних). При чому кращими випадками будуть такі, в яких чи  $\alpha'' = 0$ , чи  $\alpha'' = \alpha'$ . Саме в цих випадках є широкі можливості калібрування бажаних навантажувальних властивостей муфт за

рахунок відповідного добору параметрів притискної пружини (середнього її діаметра), діаметра дроту, кількості робочих витків, попереднього стискання пружини тощо.

Остаточо можна говорити, що тертя в муфті провокує небажане зростання робочого оберտального моменту, але для гайковертів воно сприяє зменшенню параметрів натискної пружини. Це пояснюється тим, що тертя «допомагає» пружині втримувати довше кульку в стані зачеплення її з боковими поверхнями веденої півмуфти.

**Висновки.** Виконано якісний і кількісний аналізи з метою оцінювання рівня впливу тертя на експлуатаційні характеристики гайковерта з кульковою муфтою, який передає оберտальний момент за принципом зачеплення кульок з боковими поверхнями пазів півмуфт під час виконання монтажних операцій.

Оцінено рівні впливу кутів нахилу пазів півмуфт до твірної циліндричної їх поверхні на величину моменту вимикання гайковерта, що дає змогу вибрати раціональніші параметри притискної пружини та самої муфти для різноманітних пристроїв, які застосовуються в машинобудуванні для обмежування чи регулювання обертальних моментів.

Отримані важливі вирази для оцінки рівня впливу тертя на експлуатаційні показники гайковертів під час попереднього затягування нарізевих з'єднань, один із яких можна назвати коефіцієнтом чутливості муфти до «компенсації» тертя.

#### Список літератури

1. Автомобильный справочник / Пер. с англ. 2 изд., переработ. и доп. — М.: ЗАО «КЖИ». За рулем, 2004. — 992 с.
2. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. — Львів. НУ ЛП, 2006. — 196 с.
3. Пилипенко М. Н. Механизмы свободного хода. — М.: Машиностроение, 1966.— 288 с.
4. Ряховский О. А., Иванов С. С. Справочник по муфтам.—Л.: Политехника, 1991. —383 с.
5. Малащенко В.В. Підвищення ефективності роботи механізмів вільного ходу застосуванням кулькових муфт // Дис. канд. техн. наук. 2010. -146с.
6. Патент № 66514А Україна, МКИ F16D41/04. Запобіжна муфта./ Гащук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. // Оpubл. 2004. Бюл. №5.
7. Патент № 77435 Україна, МКИ F16D41/04. Запобіжна муфта. / Гащук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. // Оpubл. 2006. Бюл. №12.
8. Патент № 30362 Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта. /Малащенко В.В. // Оpubл. 2008. Бюл. № 4.
9. Патент № 53354А Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта. / Куновський Г.П., Кравець І.Є., Малащенко В.О., Сороківський О.І.// Оpubл. 15.01.2003. Бюл. № 1.
10. Патент № 64104 Україна, МКИ F16D43/00. Запобіжна муфта. / Малащенко В.О., Малащенко В.В. // Оpubл. 2011. Бюл. №20.
11. Гащук П.М. Аналіз залежності обертального моменту від конструктивних параметрів запобіжних муфт. Динаміка, міцність та проектування машин і приладів: Вісник Національного університету «Львівська політехніка». / П.М. Гащук, В.В. Малащенко // .— Львів, 2010, № 678.— С. 20—25.

---

*A. O. BORIS, E. S. WENZEL, P. L. NOSKO, P. V. FIL*

### **FRICITION WHEN ENGAGING BALL DETENT TORQUE LIMITERS**

Analytical researches have been performed that studied the friction effect on the torque magnitude that triggers an overload release clutch, which means disconnecting its driving and driven parts. It has been quantitatively analyzed how this working torque depends on design parameters. The obtained results are shown in the form of tables and graphs, which has a significant practical importance for facilitating assembling and dismantling operations.

**Keywords:** ball detent torque limiter; friction in clutches.

**Борис Андрій Орестович** – аспірант кафедри деталей машин Національного університету "Львівська політехніка", вул. Ст. Бандери, 32, м. Львів, тел. +38 (032) 258-21-85, E-mail: andriyborys@i.ua

**Венцель Євген Сергійович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівельні і дорожні машини Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, вул. Тимуровцев, 3, м. Харків, тел. +38 (057) 738-77-97, E-mail: 7051956@bigmir.net

**Носко Павло Леонідович** – д-р техн. наук, професор кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, проспект Космонавта Комарова, 1, м. Київ, тел. +38 (044) 406-77-73, E-mail: nosko\_p@ukr.net

**Філь Павло Володимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, проспект Космонавта Комарова, 1, м. Київ, тел. +38 (044) 406-77-73, E-mail: pfil2009@gmail.com