

УДК 631.356.22

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ПАР ТЕРТЯ ТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ****Блезнюк О.В., к.т.н., Білаш О.В., студент***(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)*

*На підставі аналізу чинників втрати працездатного стану гичкозбиральної машини обґрунтовано практичні рекомендації з підвищення ефективності пар тертя технічного призначення.*

Постановка проблеми. З тертям пов'язана одна із проблем сучасності – спрацювання машин і механізмів. Витрати на відновлення працездатного стану машин зростають пропорційно її конструктивної складності. З позиції надійності вироби можуть знаходитись в працездатному, непрацездатному або граничному стані. Перехід від працездатного до непрацездатного відбувається після відмови. Відомо, що при настанні граничного стану машини її подальше використання за призначенням недопустимо або недоцільно. Удосконалення техніки придало проблемі підвищення строку служби машин значимість з точки зору економії матеріальних, трудових ресурсів, зокрема ефективності експлуатації пар тертя.

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що в загальному випадку – ефективність, це відношення отриманого ефекту і витрат на його здійснення:

$$E = \frac{P}{B}, \quad (1)$$

де  $P$  – отриманий ефект;  
 $B$  – витрати.

Має місце чотири варіанти досягнення ефективності трибоспряження [1], схематично які можна представити наступним чином:

1.  $P = \text{const}; B \rightarrow \min; E \rightarrow \max;$
2.  $B = \text{const}; P \rightarrow \max; E \rightarrow \min;$
3.  $P = \text{var } \uparrow; B \rightarrow \text{var } \downarrow; E \rightarrow \max;$
4.  $P = \text{var } \uparrow\uparrow; B \rightarrow \text{var } \uparrow; E \rightarrow \max.$

В якості отриманого ефекту при розгляді роботи трибоспряження виступає сукупність таких властивостей, як надійність трибоспряження (безвідмовна робота або зменшення числа відмов), його довговічність та зносостійкість (зменшення швидкості і інтенсивності спрацювання), сила тертя і коефіцієнт тертя, температура в зоні тертя, екологічна безпека, естетичні і ергономічні характеристики.

Сумарні витрати складаються з витрат на виготовлення спряження, витрат на технічне обслуговування і ремонт, амортизаційні відчислення та ін.

Максимізація критерію ефективності в конкретних умовах експлуатації може бути забезпечена завдяки здійсненню ряду заходів, які мають одночасний вплив на чисельник і знаменник виразу (1).

Зниження інтенсивності зношування трибоспряжень за рахунок підвищення зносостійкості пар тертя дозволяє збільшити експлуатаційні і міжремонтні строки, зменшити час простою в ремонті і зниження його вартості, підвищити безпеку і надійність – а в цілому – підвищити ефективність експлуатації машини. Проведені дослідження [1] вказують на те, що за рахунок збільшення зносостійкості деталей машин і механізмів можна підвищити їх продуктивність і надійність на 20...50% та знизити трудомісткості ремонту на 20...30%.

Постановка завдання. На основі системного підходу провести аналіз роботи конкретного об'єкту, механізму, вузла, пари тертя і встановити причини, що змінюють їх технічний стан. На підставі аналізу отриманих результатів досліджень розробити практичні рекомендації з підвищення ефективності пар тертя.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вивченням роботи гичкозбиральної машини БМ-6А встановлено, що дискові ножі, гичкозрізального апарату, окрім обертання, здійснюють зворотно – поступальний рух у вертикальній площині (рис.1). При цьому на деталі гичкозрізального апарату діє крутний момент і горизонтальне зусилля. Перше навантаження викликає напругу кручення, а друге – напругу згину. Окрім цього, при дії горизонтальної сили і вертикальному переміщенні ножів, відбувається знос поверхонь телескопічного з'єднання, підшипників ковзання, що призводить до порушення технологічних параметрів гичкозбиральної машини, втрат цукрової сировини.

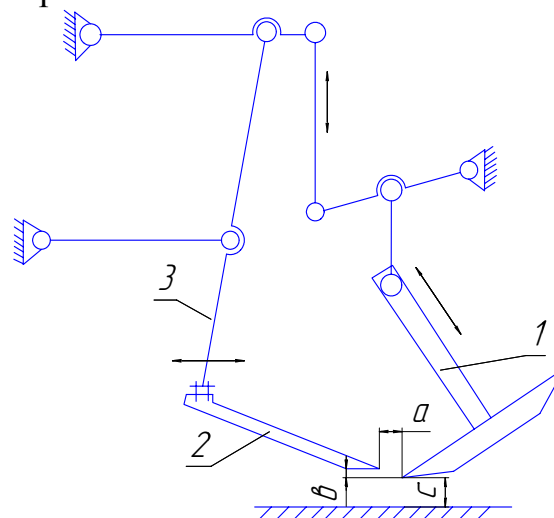


Рис. 1 – Схема гичкозбирального апарату БМ-6А:

1 – дисковий ніж; 2 – копір; 3 – паралелограмний механізм; а – горизонтальний зазор; в – вертикальний зазор

Інтенсивне спрацювання пар тертя спричиняє довгострокові простой в технічному обслуговуванні і ремонті, відповідні матеріальні витрати на ремонт і запасні частини. Згідно з типовими нормами часу [2] на розбирання, складання, обкатку одного гичкозрізального апарату гичкозбиральної машини БМ-6А необхідно 15,44 годин.

Умову працездатності машини БМ-6А з огляду інтенсивності спрацювання її пар тертя можна розглядати як:

$$P = f[\Pi_C(t, t_T)] \geq [P], \quad (2)$$

де  $P$  – імовірність виконання заданих функцій;

$\Pi_C$  – структурний параметр;

$t$  – час;  $t_T$  – час на технічні регулювання;

$[P]$  – допустиме значення параметру.

$$\Pi_C = f(t, t_T, t_\Phi) < [\Pi_C], \quad (3)$$

де  $t_\Phi$  – технологічний фактор.

Мінімізація витрат на ТО машини становить:

$$F(Q_{TO}, Q_{II}) \rightarrow \min, \quad (4)$$

$Q_{TO}$  – витрати на технічне обслуговування;

$Q_{II}$  – витрати, що обумовлені простоями із-за відмов машини.

$$Q_{TO} = f(T_{TO}, C_{TO}, T_{TP}), \quad (5)$$

$T_{TO}$  – трудомісткість технічного обслуговування, люд. год.;

$C_{TO}$  – вартість технічного обслуговування, грн.;

$T_{TP}$  – періодичність обслуговування і заміні, га.

У машинобудуванні широкого застосування знайшли підшипники ковзання, які є лімітуючою ланкою при строку роботи машин. В гичкозбиральній машині БМ-6А підшипники ковзання класифікуються згідно ГОСТ ИСО 4378-1-2001. За видом навантаження як:

– динамічно навантажений підшипник ковзання: підшипник ковзання, що піддається дії навантаження, що змінюється по модулю і, або напрямку;

– радіально-упорний підшипник ковзання: підшипник ковзання, здатний сприймати навантаження в осьовому і радіальному напрямках.

За видом мащення:

– вібродемпферний підшипник: підшипник ковзання, в якому повне розділення поверхні досягається за рахунок тиску, що виникає в змащувальному матеріалі в результаті їх взаємного переміщення уздовж нормалі до поверхні.

За конструкцією:

– підшипник круглоциліндричний: підшипник ковзання, всі поперечні перетини робочої поверхні якого мають форму кола одного і того ж діаметру;

За елементами конструкції підшипника ковзання:

– втулка підшипника ковзання, втулка підшипника, втулка: змінний трубчастий елемент підшипника ковзання, внутрішня частина якого є робочою поверхнею підшипника ковзання.

Відповідно до норм витрати запасних частин [3] інтенсивність спрацювання вкладишів втулок на порядок більший ніж валів гичкозрізального апарату. Це спонукає до проведення досліджень у напрямку підвищення експлуатаційної надійності вкладишів втулок.

Підшипники ковзання повинні задовольняти наступним вимогам: володіти низьким коефіцієнтом тертя, витримувати великі питомі навантаження, мати хороші демпферуючі здібності, володіти здатністю до припрацювання забезпечуючи високу зносостійкість, виключати схоплювання поверхонь, забезпечувати мінімальний знос спряженої деталі, здатність забезпечувати рівномірне мащення, малу собівартість.

Для збільшення довговічності пар тертя підбирають такі матеріали, в яких коефіцієнт тертя ковзання відносно малий, і тепло, що виділяється в робочій зоні, легко передається на інші деталі і навколишнє середовище.

Перелік таких матеріалів достатньо великий: чавуни, бронзи, латуні, бабіти, металокерамічні матеріали і гальванічні сплави.

Сірий ливарний чавун придатний для вкладишів опор, що несуть помірно навантаження без ударів. У широкому діапазоні швидкостей і питомих тисків застосовуються підшипники ковзання з антифрикційного чавуна. Підшипники ковзання працюють задовільно за умов: безперервної подачі мастильного матеріалу в процесі експлуатації, ретельного монтажу, що виключає перекося.

Широкого використання при виготовленні підшипників ковзання одержали кольорові антифрикційні сплави: бронза, латунь, бабіт. Це підшипники турбін, електродвигунів, генераторів, двигунів внутрішнього згоряння, компресорів і насосів, кранів і конвеєрів, дробарок та ін. Найкращими антифрикційними властивостями володіють олов'яні бронзи. Вони широко застосовуються для виготовлення вкладишів опор, що несуть стійке навантаження при високій швидкості, але вони відносно дорогі і по механічній міцності поступаються деяким маркам бронзи.

За антифрикційною якістю і міцністю латунь стоїть значно нижче бронзи, вона застосовується для підшипників при малій швидкості ковзання (рольганги, транспортери).

Бабіти, складні антифрикційні білі сплави, досить різні за своїм хімічним складом і фізико-механічними властивостями і характеризується м'якою основою з олова або свинцю з твердими зернами сплавами сурми, міді, лужних металів та ін. По антифрикційних властивостях бабіт перевищує всі інші сплави, але за механічною міцністю він значно поступається бронзі і чавуну. Тому бабіт застосовують тільки для покриття робочої поверхні вкладишів тонким шаром, що запобігає заїданню і підвищеному спрацюванню при пуску і зупинці машини [4].

Металокерамічні матеріали мають у своїй основі мідний або залізний порошок. Втулки і вкладиші підшипників чистих металевих порошоків або порошоків із присадками граніту, олова та ін. методом обпікання. Деталі мають пористість від 15 до 30% у залежності від ступня здрібнювання вихідних порошоків і від технологічного процесу виготовлення. З підвищенням пористості механічна міцність знижується, тому для підшипників ковзання, що несуть значні ударні навантаження рекомендується пористість не вище 20%.

Металокерамічні втулки і вкладиші застосовуються у підшипниках рольгангів, транспортерів, насосів, сільськогосподарських машинах, гичкозбиральній машині БМ-6А, особливо в місцях важкодоступних для змащення.

Гальванічні покриття володіють основною властивістю, що визначає придатність їх для відновлення і зміцнення, є здатність протистояти спрацюванню – зносостійкість.

Гальванічні покриття мають високу зносостійкість в умовах сухого тертя при навантаженнях нижче  $20 \text{ кг/мм}^2$ . Висока зносостійкість гальванічного заліза при сухому терті обумовлюється його високим окисленням і поки не порушена окисна плівка, тертя відбувається з найменшим спрацюванням. Легування гальванічного заліза фосфором сприяє підвищенню зносостійкості. Випробування показали, що гальванічний залізо-фосфорний сплав, підігрітий до температури  $400^\circ\text{C}$ , в умовах сухого тертя має високу зносостійкість, що більш ніж у 3 рази перевищує зносостійкість сталі 45 загартованої СВЧ [5].

На підставі аналізу отриманих результатів досліджень можна розробити практичні рекомендації з підвищення ефективності пар тертя. Всі заходи, що проводяться з метою підвищення зносостійкості і довговічності трибосопряжень, можна згрупувати в три основні групи:

#### 1. Оптимізація конструктивних рішень вузлів тертя.

Першим серед конструкторів, що звернули увагу на зв'язок зносостійкості з конструкцією вузлів тертя був П.І. Орлов. Його книги містять матеріал для конструкторів з питань конструктивних форм підшипників, конструювання високозносостійких ковзаючих опор, теорії тертя кочення. Приділено значну увагу резервам надійності і довговічності при конструюванні машин.

М.М. Тененбаума у своїх роботах проводить систематизацію конструктивних способів забезпечення високої зносостійкості машин. Всі способи підрозділені на наступні групи: виключення зовнішнього тертя; поліпшення умов тертя; рівностійкість деталей, що зношуються; оптимізація форм деталей; компенсація зносу; резервування зносостійкості; індикатори зносу. М.М. Тененбаум підкреслював, що вирішення прикладних завдань повинне ґрунтуватися на закономірностях динаміки зношування деталей і впливу конструктивних параметрів на їх зносостійкість. Він розвивав новий напрям у вивченні зносостійкості матеріалів, який можна назвати конструктивною зносостійкістю.

До конструктивних чинників входить і розрахунок деталей на знос,

методика якого найповніше розроблена Л.С. Проніковим. Як початкова фізична закономірність (подібно до закону Гука в міцності) ним прийнятий закон зношування, який пов'язує спрацювання з рядом параметрів, включаючи чинник часу, і відноситься до матеріалів двох спряжених поверхонь. Знос сполучення характеризується одним параметром  $V_{1-2}$  величиною відносного зближення деталей, що спрацьовуються 1 і 2 в напрямку, перпендикулярному до поверхні тертя. Оскільки швидкість ковзання і тиск деталей на спряжених поверхнях не однакові, поверхня деталі зношується нерівномірно. У зв'язку з цим змінюється і первинна форма деталі, що ускладнює подальше протікання процесу тертя. Всі види сполучень з погляду умов спрацювання А.С. Проніков розділяє на п'ять груп за двома типами. Він розробив типові розрахунки цих груп деталей на знос. Труднощі розрахунків пов'язані з параметром  $V_{1-2}$ , який необхідно визначати експериментальним шляхом.

## 2. Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей.

Наука і техніка мають в своєму розпорядженні чисельні технологічні засоби для підвищення зносостійкості деталей. До основних технологічних заходів, що підвищують довговічність машин, можна віднести: застосування сучасних методів створення міцних матеріалів для різних умов експлуатації машин і отримання з них заготовок високої якості, близьких формою і розмірам до готових деталей; застосування сучасних технологічних прийомів, що забезпечують виготовлення деталей заданої точності і стабільності як за розмірами, так і за фізико-механічними властивостям; застосування сучасних методів контролю якості матеріалів, заготовок і готових виробів за відповідними показниками надійності; застосування процесів зміцнюючої обробки для отримання необхідної якості робочих поверхонь деталей машин з високим опором спрацювання і поломкам в різних умовах експлуатації.

Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей машин можна згрупувати таким чином:

- хіміко-термічна обробка: цементация, азотування, хромування, ціанування, силіцування, сульфідкування і др.
- термічна обробка: полум'яно-поверхневе загартування, високочастотне загартування, поверхневе загартування з нагрівом в електропліті, лазерне зміцнення;
- хімічна обробка: глибоке анодування, оксидування, фосфатування;
- поверхнева пластична деформація: обкатка кульками і твердосплавними роликками, дробеструйна обробка, зміцнення чеканкою, гідрополірування, обробка поверхні вибуховим навантаженням;
- електроіскрове зміцнення;
- гальванічні покриття: хромування, нікелювання, залізнення, борування, родування, сріблення, лудіння, свинцування і покриття сплавами;
- хімічні покриття: нікелювання, хромування, покриття кобальтом і сплавами нікель – кобальт;

- способи придання поверхні антифрикційних властивостей: графітування, накочення (поглиблення, канавки), нанесення покриттів у вакуумі, нанесення дисульфіда молібдену, фрикційне латунювання і бронзування - ФАБО (фінішна антифрикційна безабразивная обробка), покриття пластмасами (вихровий і газополум'яний методи), металізація напиленням;

- наплавлення: електродугове, електрошлакове, вібродугове; нанесення зносостійких покриттів методом конденсації у вакуумі з іонним бомбардуванням (метод КІБ);

- нанесення твердомастильних покриттів на основі молібдену методом магнітронного напилення для вузлів сухого тертя.

### 3. Експлуатаційні заходи щодо підвищення довговічності машин.

Конструктивна досконалість і висока якість виготовлення машин не гарантують їх тривалу і безаварійну роботу. Додатковими умовами такої роботи є технічна експлуатація і система ремонтів. Завданнями технічної експлуатації є: забезпечення справного технічного стану машини під час її експлуатації і консервації; забезпечення безаварійної роботи машини при належній її економічності. Рівень технічної експлуатації машин загалом визначається раціональним використанням відповідно до призначення, постановкою на зберігання, кваліфікацією обслуговуючого персоналу, постановкою на технічне обслуговування машин і технічного нагляду за ними, організацією змащення.

Підвищення технічного рівня і якості машин, їх економічності і надійності, може бути забезпечено за рахунок:

- підвищення технічного рівня і якості змащувального устаткування, його уніфікації і стандартизації; вдосконалення і підвищення ефективності експлуатації змащувального устаткування;

- створення нових високоефективних змащувальних матеріалів, наприклад металлоплакувальних;

- конструктивної удосконалості вузлів тертя машин;

- розробки і застосування нових ефективних технологічних процесів обробки деталей, що труться;

- розробки методів безразбірного відновлення спряжених деталей.

Проблему мащення деталей не можна відокремлювати від вивчення взаємодії змащувального матеріалу з металом і впливу на цю взаємодію структурних чинників металу і легуючих елементів змащувального матеріалу. Дослідження такої взаємодії з визначенням сил тертя і зносостійкості пар тертя дозволить оптимізувати структуру і хімічний склад металу, і склад змащувального матеріалу.

### Висновки

1. Процес зрізання гички цукрового буряку залежить від технічного стану гичкозрізального апарату, насамперед пар тертя технічного призначення. Збільшення зазорів в гичкозрізальному апараті призводить до порушення

технологічних регулювань гичкозбиральної машини і як наслідок збільшення кількості некондиційних коренеплодів та необхідність проведення ремонту.

2. З метою підвищення ефективності пар тертя технічного призначення, слід розглядати три напрямки заходів, це оптимізація конструктивних рішень вузлів тертя, технологічні методи підвищення їх зносостійкості та експлуатаційні заходи.

## Список літератури

1. *Костецкий Б.И.* Надежность и долговечность машин [Текст] / Под ред. *Б.И. Костецкого.* – К.: Техника, 1975. – 475 с.
2. Машина ботвоуборочная БМ-6 (БМ-6А) типовые нормы времени на разборку и сборку при капитальном ремнте. – М.: ГОСНИТИ, 1986. – 119 с.
3. Машина ботвоуборочная БМ-6А нормы расхода запасных частей на текущий ремонт ЗТ 10.16.0001.004-87. – М.: ГОСНИТИ, 1988. – 14 с.
4. *Хрущов М.М.* Исследование изнашивания металлов [Текст] / *М.М.Хрущов, М.А.Бабичев.* – М.: АН СССР, 1960. – 351 с.
5. *Блезнюк В.Н.* Исследование и разработка технологии восстановления изношенных деталей машин железо-фосфорными покрытиями [Текст] / *В.Н. Блезнюк // Повышение надёжности восстанавливаемых деталей машин.* – Харків: ХНТУСХ, 1997. – С. 103 – 107.

## Аннотация

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАР ТРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Блезнюк О.В., Биладш В.А.**

*На основании анализа факторов потери работоспособного состояния ботвоуборочной машины обоснованны практические рекомендации для повышения эффективности пар трения технического назначения.*

## Abstract

### EFFECTIVENESS OF FRICTION PAIRS TECHNICAL PURPOSE

**O. Bleznyuk, V. Bilash**

*Based on the analysis of the factors of loss of working state machine hychkozbyralnoyi reasonably practical recommendations to improve the efficiency of friction pairs technical purposes.*