

6. Воронин, А. В. Механизация и автоматизация сборки в машиностроении [Текст] / А. В. Воронин, А. И. Гречухин, А. С. Калашников и др. — М.: Машиностроение, 1985. — 272 с.
7. Миллер, Э. Э. Техническое нормирование труда в машиностроении [Текст]: уч. пос. / Э. Э. Миллер. — 3-е изд. — М.: Машиностроение, 1972. — 248 с.
8. Михайлов, А. Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем [Текст] / А. Н. Михайлов. — Донецк: ДонНТУ, 2002. — 379 с.
9. Kugelman, D. Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern [Text] / Doris Kugelman. — München: Herbert Utz Verlag GmbH, 1999. — 158 p.
10. Junker, G. Schraubenverbindungen. Berechnung und Gestaltung [Text] / G. Junker, H. Kothe. — Berlin: Veb Verlag Technik, 1968. — 451 p.
11. Shreiner, D. OpenGL programming guide: the official guide to learning OpenGL, versions 3.0 and 3.1 [Text] / Dave Shreiner; Bill the Khronos OpenGL ARB Working Group. — Ed. 7. — Pearson Education, Inc., 2010. — 1015 p.
12. Walsh, P. Advanced 3D game programming with DirectX 10.0 [Text] / P. Walsh. — Wordware Publishing, Inc., 2008. — 529 p.
13. Timofeev, Yu. Generalized Model for Development of Manufacturing Process Structures for Flexible Manufacturing [Text] / Yuri Timofeev, Aleksand Shelkovi // Proceedings of the 2nd International Conference «Research and Education in Natural Sciences», 17–19 Marc 2004, Miskolc, Hungary. — P. 161–166.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СТРУКТУР СБОРКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Сборка сложных машиностроительных изделий в условиях мелкосерийного производства характеризуется низким уровнем

достоверности технологических решений. Это связано с невозможностью поиска оптимальных вариантов технологических процессов для заданных организационно-технических условий производства из-за сложности как объекта сборки, так и средств, которые при этом применяются. Одним из путей преодоления этих проблем является имитационное трехмерное моделирование производственной среды.

Ключевые слова: сборка, моделирование, технологическая операция, сборщик, семантическая сеть.

Скоркін Антон Олегович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра металоріжучого обладнання і транспортних систем, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна, e-mail: Andrameda862@mail.ru.

Кондратюк Олег Леонідович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра металоріжучого обладнання і транспортних систем, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна, e-mail: kondr20071@yandex.ua.

Скоркин Антон Олегович, кандидат технических наук, доцент, кафедра металлорежущего оборудования и транспортных систем, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина.

Кондратюк Олег Леонидович, кандидат технических наук, доцент, кафедра металлорежущего оборудования и транспортных систем, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина.

Skorkin Anton, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, Ukraine, e-mail: Andrameda862@mail.ru.

Kondratuk Oleg, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, Ukraine, e-mail: kondr20071@yandex.ua

УДК 693.6.002.5

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.41395

**Попов С. В.,
Васильев А. В.,
Леднік Р. А.**

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ КОНІЧНОГО ПІДШИПНИКА КОВЗАННЯ

Стаття присвячена дослідженню тертя ковзання, визначенню розмірів виконавчих поверхонь після прикладеного навантаження. Виділено спеціальну конструкцію конічного підшипника ковзання, що працює у складі мобільного розчинозмішувача. Наведено розрахунки величини зношування конічного підшипника. Теоретичні дослідження засвідчують, що тиск на поверхні підшипника розподіляється за гіперболічною залежністю. Поверхневі шари пари тертя потребують використання зносостійких покриттів.

Ключові слова: підшипник ковзання, цапфа, вставка, зношування, величина зношування, швидкість зношування, час зношування.

1. Вступ

Все більшого значення з початком розвитку техніки, набуває питання підвищення довговічності й надійності машин. Багато вчених і спеціалістів промислово розвинених країн світу займаються вивченням причин руйнування деталей в експлуатації та розробленні методів підвищення надійності та довговічності машин.

Зменшення матеріало- та енергомісткості об'єктів виробництва і промислового виробництва в цілому, підвищення рівня автоматизації промисловості, необхідність роботи механізмів і приладів в різних газових

і рідинних середовищах за низьких і високих температур є важливим.

У загальній проблемі надійності, точності і довговічності машин, механізмів і приладів основне місце належить питанням тертя, змащувальній дії, зношуванню поверхонь деталей і робочих органів, які між собою утворюють пари тертя.

Необхідність дослідження зносостійкості деталей машин витікає і з економічних витрат. Однією з найголовніших причин відмов внаслідок зношування є власне зношування рухомих спряжень механізмів та деталей.

На сьогодні застосовують різноманітні ефективні способи підвищення зносостійкості і довговічності деталей та механізмів. Провідна роль у створенні довговічних і надійних конструкцій механізмів і деталей належить конструкторам і технологам, які на всіх етапах безпосередньо впливають на технічні характеристики механізмів і працездатність окремих вузлів і деталей.

На основі літературних джерел, наукового аналізу і особистого досвіду технологи і конструктори повинні знайти оптимальні конструктивні рішення, правильно вибрати матеріал і визначити раціональні технологічні методи виготовлення і зміцнення деталей.

Отже, актуальність дослідження полягає у розробленні методів розрахунку нормального зношування і граничних умов переходу до патологічних процесів руйнування при терті.

2. Постановка проблеми

Для механізації незначних обсягів оздоблюваних робіт у будівництві Полтавським національним технічним університетом імені Юрія Кондратюка спроектована і виготовляється мобільний розчинозмішувач УРЗ-3,8 [1]. Однією з її характерних особливостей машини є відсутність традиційних торцевих гумових ущільнень підшипників кочення. Дані ущільнення мають дуже низький термін експлуатації, тим самим, порушуючи герметичність бункера-змішувача з часом. Для уникнення розгерметизації розроблено спеціальні регульовані конічні підшипники ковзання та застосовано в кінематичній схемі приводу цівкову передачу, що працює безпосередньо в будівельній розчинній суміші [2, 3].

Конічні підшипники ковзання піддаються впливу значного осьового та радіального зусиль під час роботи установки і спрацьовуються із часом. У зв'язку з цим виникла необхідність визначити величину зносу цапфи і вставки підшипника, які являють собою конічну пару тертя ковзання.

3. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як відомо, під час тертя відбувається руйнування поверхневих шарів матеріалів, що труться. Це явище проявляється у виникненні частинок певних розмірів, форми та хімічного складу, які називаються частинками зносу. Їх склад та розміри залежать від умов тертя та механізму зносу [4]. На даний час проведені широкі дослідження щодо встановлення зв'язку між тертям та зносом. Експериментально встановлено зв'язок між поверхневою температурою, коефіцієнтом тертя та зносом [5, 6]. Базуючись на уявленні про втомну природу зносу, опубліковано теоретичні дослідження, присвячені вивченню зв'язку між інтенсивністю зносу та коефіцієнтом тертя [7, 8].

Також для розрахунку зносу двох механічно взаємодіючих конструктивних елементів за теорією Д. Макгрегора використовують дві основні моделі: модель нульового зносу при переважно пружній деформації поверхонь, що труться, і модель вимірюваного зносу, для якої справедливі умови абразивного зносу. При розрахунку тертя та зносу за енергетичною теорією Г. Фляйшера досліджувана трибологічна система розглядається як комплекс, що підлягає навантаженню. Цей комплекс включає контр-тіло, індентор та проміжний

матеріал (змащення, оточуюче середовище). Його поведінка описується за допомогою енергетичних законів та співвідношень [9–11].

4. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — конічний підшипник ковзання, який є опорним вузлом робочого органу мобільного розчинозмішувача УРЗ-3,8 мобільного типу.

Мета дослідження — дослідження робочих процесів, що відбуваються у конічному підшипникові ковзання, а саме отримання теоретичних залежностей, що характеризують процес зношування конічної пари цапфи і вставки.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Скласти розрахункову схему навантажень, що діють на опорний вузол (підшипник).
2. Записати закон зносу із урахуванням умов роботи.
3. Знайти залежність між діючими силами і тиском, що розподілений по поверхні, яка зазнає тертя.
4. Визначити результуюче зусилля та значення швидкості зношування.
5. Визначити величину спрацювання цапфи і вставки конічного підшипника ковзання.

5. Результати дослідження щодо визначення величини зносу конічної пари тертя

Визначимо величину спрацювання цапфи і вставки, із яких складається регульований конічний підшипник ковзання, під дією радіального та осьового зусиль. При цьому будемо користуватись розрахунковою схемою, яку подано на рис. 1.

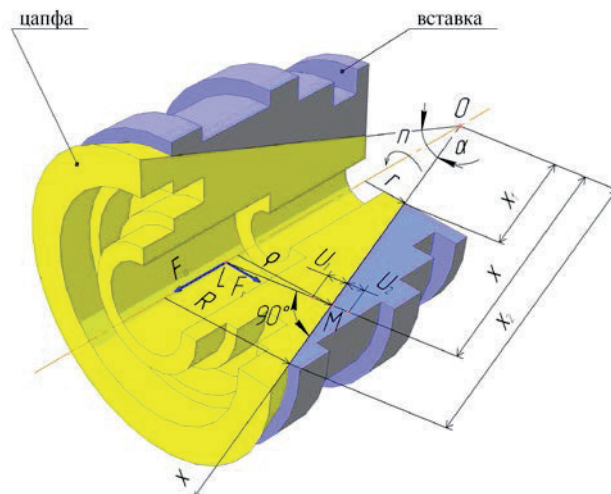


Рис. 1. Розрахункова схема до визначення величини зносу

Лінійний закон зносу в умовах сухого та граничного тертя має наступний вид:

$$\gamma = k \cdot p \cdot V, \quad (1)$$

де γ — швидкість зносу; k — характеристика зносу матеріалу спряженої деталі; V — швидкість ковзання;

$$V = 2\pi \cdot \rho \cdot n, \quad (2)$$

де ρ – відстань від осі обертання до довільної точки M , що знаходиться на поверхні тертя, тобто твірній конуса:

$$\rho = x \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) = x \cdot \sin\frac{\alpha}{2}, \quad (3)$$

де x – відстань від вершини конуса до точки M ; n – частота обертання вставки.

Для розрахунків приймаємо лінійну залежність між величиною зносу U та часом зносу t , тоді:

$$\gamma = \frac{U}{t} = \text{const.} \quad (4)$$

Основною характеристикою зносу деталі є лінійний знос, виміряний за нормаллю (відрізок LM на рис. 1) до поверхні тертя.

Знос спряження характеризується параметром U_{1-2} . Це величина відносного зближення зношених вставки і цапфи. Сума їх зносів постійна і дорівнює зносу всього спряження:

$$U_1 + U_2 = U_{1-2} = \text{const.} \quad (5)$$

Це співвідношення називають умовою дотику тіл, так як воно характеризує важливу особливість протікання зносу спряження: при будь-якій формі зношеної поверхні деталей спостерігається контакт спряжених поверхонь.

Тоді, справедливим є рівняння:

$$U_{1-2} = \frac{U_1 + U_2}{\cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)} \quad \text{або} \quad \gamma_{1-2} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}, \quad (6)$$

де $\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)$ – кут між нормаллю LM та напрямом взаємного зближення вставки з конусом.

Виразимо швидкості зносу спряжених поверхонь наступним чином:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= k_1 \cdot p \cdot 2\pi \cdot \rho \cdot n = k_1 \cdot p \cdot 2\pi \cdot x \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \cdot n; \\ \gamma_2 &= k_2 \cdot p \cdot 2\pi \cdot \rho \cdot n = k_2 \cdot p \cdot 2\pi \cdot x \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \cdot n. \end{aligned} \quad (7)$$

Враховуючи формулу (7) запишемо (6) наступним чином:

$$\gamma_{1-2} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\sin\frac{\alpha}{2}} = 2\pi \cdot n \cdot p \cdot (k_1 + k_2) \cdot x. \quad (8)$$

З формули (8) виразимо значення p :

$$p = \frac{1}{x} \cdot \frac{\gamma_{1-2}}{2\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)}. \quad (9)$$

Знайдемо залежність між силами F_r , F_a та тиском p , що розподілений по поверхні тертя:

$$\begin{aligned} F_r &= \int_{A_1} p \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \cdot dA_1 = \int_{x_1 \cdot \cos\frac{\alpha}{2}}^{x_2 \cdot \cos\frac{\alpha}{2}} p \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \cdot 2 \cdot \text{tg}\frac{\alpha}{2} \cdot x \cdot dx = \\ &= \int_{x_1 \cdot \cos\frac{\alpha}{2}}^{x_2 \cdot \cos\frac{\alpha}{2}} 2p \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \cdot x \cdot dx = \\ &= 2 \sin\frac{\alpha}{2} \int_{x_1 \cdot \cos\frac{\alpha}{2}}^{x_2 \cdot \cos\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{x} \cdot \frac{\gamma_{1-2}}{2\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot x \cdot dx = \\ &= \frac{\gamma_{1-2}}{\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \int_{\frac{r}{\sin\frac{\alpha}{2}} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}}^{\frac{R}{\sin\frac{\alpha}{2}} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}} dx = \\ &= \frac{\gamma_{1-2}}{\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \cdot \int_{r \cdot \text{ctg}\frac{\alpha}{2}}^{R \cdot \text{ctg}\frac{\alpha}{2}} dx = \\ &= \frac{\gamma_{1-2}}{\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \cdot (R - r) \cdot \text{ctg}\frac{\alpha}{2} = \\ &= \frac{\gamma_{1-2} \cdot (R - r)}{\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}. \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} F_a &= \int_{A_2} p \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \cdot dA_2 = \int_{A_2} p \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \cdot dA_2 = \\ &= \int_{x_1}^{x_2} p \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \cdot 2\pi \cdot \rho \cdot dx = \int_{x_1}^{x_2} p \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \cdot 2\pi \cdot x \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \cdot dx = \\ &= 2\pi \cdot \sin^2\frac{\alpha}{2} \cdot \int_{x_1}^{x_2} p \cdot x \cdot dx = \\ &= 2\pi \cdot \sin^2\frac{\alpha}{2} \cdot \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{x} \cdot \frac{\gamma_{1-2}}{2\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot x \cdot dx = \\ &= \frac{\gamma_{1-2}}{n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sin^2\frac{\alpha}{2} \cdot \int_{\frac{r}{\sin\frac{\alpha}{2}} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}}^{\frac{R}{\sin\frac{\alpha}{2}} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}} dx = \\ &= \frac{\gamma_{1-2}}{n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sin^2\frac{\alpha}{2} \cdot \left(\frac{R - r}{\sin\frac{\alpha}{2}}\right) = \frac{(R - r) \cdot \gamma_{1-2}}{n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sin\frac{\alpha}{2}. \end{aligned} \quad (11)$$

Зменшення кута α зменшує величину осьового навантаження і збільшує радіальне.

Виразимо результуюче зусилля:

$$\begin{aligned}
 F_{\Sigma} &= \sqrt{F_r^2 + F_a^2} = \\
 &= \sqrt{\left[\frac{\gamma_{1-2} \cdot (R-r)}{\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \right]^2 \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2} + \left[\frac{(R-r) \cdot \gamma_{1-2}}{n \cdot (k_1 + k_2)} \right]^2 \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = \\
 &= \frac{\gamma_{1-2} \cdot (R-r)}{n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2} + \sin^2 \frac{\alpha}{2}}. \quad (12)
 \end{aligned}$$

Виразимо з формули (12) значення швидкості зносу:

$$\gamma_{1-2} = \frac{F_{\Sigma} \cdot n \cdot (k_1 + k_2)}{(R-r) \cdot \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2}}}. \quad (13)$$

Виразимо значення тиску, враховуючи (9) та (13):

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{1}{x} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2)} \cdot \frac{F_{\Sigma} \cdot n \cdot (k_1 + k_2)}{(R-r) \cdot \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2}}} = \\
 &= \frac{1}{x} \cdot \frac{F_{\Sigma}}{2\pi \cdot (R-r) \cdot \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2}}}. \quad (14)
 \end{aligned}$$

Підставивши (14) в (7), враховуючи (4) отримаємо:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= k_1 \cdot p \cdot 2\pi \cdot x \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot n \cdot t = \frac{F_{\Sigma} \cdot k_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot n \cdot t}{(R-r) \cdot \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2}}}, \\
 U_2 &= k_2 \cdot p \cdot 2\pi \cdot x \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot n \cdot t = \frac{F_{\Sigma} \cdot k_2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot n \cdot t}{(R-r) \cdot \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\pi^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2}}}. \quad (15)
 \end{aligned}$$

6. Обговорення результатів дослідження щодо визначення величини зносу конічної пари тертя

Таким чином, визначено величину зносу спряжених деталей конічного підшипника ковзання. Перевагою є те, що під час розрахунків було враховано не лише осьове, але й радіальне навантаження, а також записано вираз для результуючого зусилля. Модель розроблена на базі лінійного закону в умовах граничного та сухого тертя.

Дослідження корисні під час проектування та прогнозування ресурсу роботи опор робочого органу розчинозмішувача УРЗ-3,8. Впливаючи на геометрію конічних цапфи і вставки при заданих навантаженнях можна змінити термін служби підшипника, досягнути найбільш сприятливого співвідношення між F_a і F_r .

Перспективи подальших досліджень полягають у проведенні серії експериментальних досліджень та перевірки вірності теоретичних результатів. Також необхідно призначити для виготовлення деталей тертя підшип-

никового вузла матеріал стійкий до спрацювання, або надати поверхневим шарам цапфи і вставки підвищених зносостійких властивостей шляхом застосування методів поверхневого зміцнення. Невід'ємною складовою подальших досліджень є розроблення випробувального стенду та проведення серії експериментів щодо визначення спрацювання деталей спряження.

7. Висновки

В результаті проведених досліджень:

1. Отримана тривимірна схема для визначення величини зносу вставки і цапфи конічного підшипника ковзання із урахуванням прикладених навантажень.
2. Визначено лінійний закон зносу пари тертя в умовах сухого та граничного тертя. Швидкість зносу залежить від матеріалу пари тертя, а також швидкості ковзання.
3. Тиск на поверхні тертя підшипника розподіляється за гіперболічною залежністю.
4. Отримано значення результуючого зусилля із урахуванням осьового та радіального навантажень.
5. Записано вирази, що характеризують величину зносу цапфи і вставки конічного підшипника ковзання. Суттєве значення при цьому має кут при вершині конуса. Змінюючи його можемо впливати на результуюче зусилля, а, отже, і на величину зносу.

Література

1. Онищенко, А. Г. Новые машины для механизации отделочных работ в строительстве [Текст] / А. Г. Онищенко, А. В. Васильев, С. В. Попов // Строительные и дорожные машины. — 2006. — № 1. — С. 7–9.
2. Онищенко, О. Г. Регульовані конічні підшипники ковзання мобільної розчинозмішувальної установки УРЗ-3,8 [Текст] / О. Г. Онищенко, С. В. Попов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 6/1(18). — С. 45–47.
3. Онищенко, О. Г. Розчинозмішувальна установка УРЗ-04 [Текст] / О. Г. Онищенко, С. В. Попов, В. У. Уст'янець // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. — 2005. — № 15. — С. 3–7.
4. Фигурска, М. Влияние частиц износа на поведение и биомеханические свойства поверхности [Текст] / М. Фигурска, В. Свешковский, Й. Й. Телега // Российский журнал биомеханики. — 2005. — № 2. — С. 19–33.
5. Шевеля, В. В. Реология контактных процессов при трении закаленных сталей [Текст] / В. В. Шевеля, Ю. С. Сокол // Вісник Хмельницького національного університету. — 2014. — № 4. — С. 124–129.
6. Шевеля, В. В. Реология вязкоупругого фрикционного контакта [Текст] / В. В. Шевеля, А. С. Трытек // Проблеми трибології. — 2010. — № 4. — С. 5–15.
7. Хохлов, В. А. Исследования триботехнических свойств никелида титана [Текст] / В. А. Хохлов, А. И. Потекаев // Вестник Томского политехнического университета. — 2012. — № 2. — С. 112–116.
8. Хохлов, В. А. Контактное взаимодействие и трение покоя никелида титана [Текст] / В. А. Хохлов // Вестник Томского государственного университета. — 2005. — № 1. — С. 101–108.
9. Lee, G. Y. A physically-based abrasive wear model for composite materials [Text] / G. Y. Lee, C. K. H. Dharan, R. O. Ritchie // Wear. — 2002. — Vol. 252, № 3–4. — P. 322–331. doi:10.1016/S0043-1648(01)00896-1
10. Beck, F. Application of different models for modeling abrasive wear [Text] / F. Beck, P. Eberhard // World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI). — 2014. — P. 125–127.
11. ElTobgy, M. S. Finite element modeling of erosive wear [Text] / M. S. ElTobgy, E. Ng, M. A. Elbestawi // International Journal of Machine Tools and Manufacture. — 2005. — Vol. 45, № 11. — P. 1337–1346. doi:10.1016/j.ijmachtools.2005.01.007

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА КОНИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

Статья посвящена исследованию трения скольжения, определению размеров исполнительных поверхностей после воздействия нагрузки. Выделено специальную конструкцию конического подшипника скольжения, работающего в составе мобильного растворосмесителя. Приведены детальные расчеты величины износа конического подшипника. Теоретические исследования показывают, что давление на поверхности подшипника распределяется согласно гиперболической зависимости. Поверхностные слои пары трения требуют использования износостойких покрытий.

Ключевые слова: подшипник скольжения, цапфа, вставка, износ, величина износа, скорость износа, время износа.

Попов Станіслав Вячеславович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології машинобудування, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Україна, e-mail: psv26@mail.ru.

Васильєв Анатолій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології машинобудування, Полтавський на-

ціональний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Україна, e-mail: vas.anatoly@gmail.com.

Леднік Роман Анатолійович, кафедра технології машинобудування, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Україна, e-mail: vin4ester13@mail.ru.

Попов Станіслав Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии машиностроения, Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Украина.

Васильев Анатолий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии машиностроения, Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Украина.

Ледник Роман Анатольевич, кафедра технологии машиностроения, Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Украина.

Popov Stanislav, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Ukraine, e-mail: psv26@mail.ru.

Vasilyev Anatoly, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Ukraine, e-mail: vas.anatoly@gmail.com.

Lednik Roman, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Ukraine, e-mail: vin4ester13@mail.ru

УДК 622.691.4

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.41397

Джус А. П.,
Гриджук Я. С.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ І РОЗВАНТАЖЕННЯ МОРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ СТИСНУТОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Встановлено, що при завантаженні морських транспортних засобів під тиском джерела газу постійна швидкість забезпечується за умов протікання процесу у критичному режимі. Процес розвантаження характеризується постійним зменшенням тиску газу в ємностях і витрати газу, що витікає з них. Максимальної швидкості процесів досягають підтриманням критичного режиму шляхом поетапного введення в дію компресорів.

Ключові слова: стиснутий природний газ, процес завантаження і розвантаження, режим течії, діаметр з'єднувального трубопроводу.

1. Вступ

Оптимальним методом транспортування природного газу, видобутого з невеликих за запасами і розмічених на віддалених між собою ділянках морських родовищ, є перевезення газу в стиснутому стані спеціальними суднами або баржами з використанням CNG технологій.

З урахуванням загального рівня енергозалежності України та існуючих можливостей видобутку газу на шельфі Чорного моря біля о. Зміїний, а також в перспективі освоєння глибоководного шельфу, технологію CNG доцільно розглядати як першочергову за необхідності створення гнучкої системи транспортування видобутих вуглеводнів. Тому дослідження, що сприяють впровадженню технології, є вкрай важливими для нафтогазової галузі України.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Стиснутий природний газ зазвичай перевозять наземним транспортом і зберігають у балолах під тиском до 25 МПа за температури навколишнього середовища. Для транспортування газу морськими акваторіями проектується спеціальні CNG судна, а у випадку використання несамохідних барж вантажними ємностями можуть слугувати балони, змонтовані у декілька шарів [1] або об'єднані у спеціальні модулі.

На сьогодні світовими виробниками пропонуються модулі для транспортування стиснутого природного газу, які за призначенням є рухомими автогазозаправниками. Такі модулі виконуються за розмірами стандартного морського контейнера, з допомогою спеціальних кріплень монтуються на шасі, призначеному для перевезення