

УДК 621.822

Г.І. Хімичева, д-р техн. наук

В.В. Куриляк, аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, Україна

**ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ ОПОРНО-УПОРНИХ ПІДШИПНИКІВ  
НА ОСНОВІ КВАЛІМЕТРИЧНОГО ПІДХОДУ**

А.И. Химичева, д-р техн. наук

В.В. Курыляк, аспирант

Киевский национальный университет технологий и дизайна, г. Киев, Украина

**УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА ОПОРНО-УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ  
НА ОСНОВЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА**

Hanna Khimicheva, Doctor of Technical Sciences

Valentyna Kuryliak, PhD student

Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, Ukraine

**THE INCREASE OF RESOURCES OF THRUST AND RADIAL BEARINGS  
ON THE BASIS OF QUALIMETRICAL APPROACH**

Головною причиною передчасного виходу із ладу підшипникового вузла є недостатньо ретельне обслуговування, що, у свою чергу, призводить до скорочення розрахункового ресурсу. Вчасна профілактика та контроль обслуговування опорно-упорних підшипників: вимірювання температури, періодичний аналіз якості мастила, шуму, вібрації значно зменшує ризик виникнення передчасних пошкоджень підшипникових вузлів. Запропоновано новий контрольно-експлуатаційний метод для оцінювання якості обслуговування опорно-упорних підшипників з метою збільшення строку їх експлуатаційного ресурсу в межах кваліметричного підходу та розроблено технічно-контрольну карту для фіксування робочих параметрів підшипникового вузла судового валопроводу.

**Ключові слова:** контрольно-експлуатаційний метод, опорно-упорні підшипники, розрахунковий ресурс, судовий валопровід.

Главной причиной преждевременного выхода из строя подшипникового узла является недостаточно тщательное обслуживание, что, в свою очередь, приводит к сокращению расчетного ресурса. Своевременная профилактика и контроль обслуживания опорно-упорных подшипников: измерение температуры, периодический анализ качества масла, шума, вибрации значительно уменьшает риск возникновения преждевременных повреждений подшипниковых узлов. Предложен новый контрольно-эксплуатационный метод для оценки качества обслуживания опорно-упорных подшипников с целью увеличения срока их эксплуатационного ресурса в пределах кваліметричного подхода и разработана техническая-контрольная карта для фиксации рабочих параметров подшипникового узла судового валопровода.

**Ключевые слова:** контрольно-эксплуатационный метод, опорно-упорные подшипники, расчетный ресурс, судовой валопровод.

The main cause premature failure of the bearing unit is not thorough service, which in turn leads to a reduction in the estimated resource. Timely prevention and control services supporting-thrust bearings: temperature, periodic analysis of oil quality, noise, vibration reduces the risk of premature damage to bearings. A new control and operational method for assessing the quality of services of basic and persistent bearings was offered to increase the term of their operating life within qualimetric approach and a technically-control card for recording operating parameters of the bearing assembly of ship shafting was developed.

**Key words:** Control and operating method, basic and persistent bearings, estimated resource, ship shafting.

**Постановка проблеми.** Опорно-упорні підшипники є найважливішими деталями більшості машинобудівних машин. До їх несучої здатності і надійності висуваються високі вимоги. З цієї причини вже багато років ці підшипники є предметом інтенсивних досліджень. На сьогодні опорно-упорні підшипники є невід'ємною частиною судового валопроводу, оскільки вони передають упор, який виникає під час роботи гвинта на корпус судна. Існують механічні причини, які призводять до заклинювання та деформації підшипникового вузла, таких як: викришування, корозія, наявність сторонніх частинок тощо, але головною причиною передчасного виходу із ладу підшипникового вузла є недостатньо ретельне обслуговування, що, в свою чергу, призводить до скорочення розрахункового робочого ресурсу. Є фактори, які впливають на експлуатаційну довговічність підшипникового вузла судового валопроводу в межах розрахункового ресурсу і в основному ці фактори є наслідком некваліфікованого обслуговування [1]. За результатами проведених досліджень було виявлено, що 43 % випадків – це недостатнє зма-

щування, а у 27 % випадках – неякісний монтаж [2]. Вказані причини призводять до розцентровки, деформації та прогину валопроводу, а в деяких випадках і до необхідності повної заміни підшипникового вузла. Причиною таких наслідків є недотримання рекомендацій виробників та неврахування вимог чинних нормативних документів під час установлення та обслуговування підшипникового вузла. Тому вирішення проблеми продовження строку експлуатації опорно-упорних підшипників за рахунок контролю їх обслуговування під час експлуатації є актуальним питанням на сьогодні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Завдяки сучасним дослідженням існує можливість розраховувати ресурс підшипників з високою точністю та узгоджувати між собою довговічність підшипників і машин. Однак трапляється, що фактична довговічність підшипників є нижче розрахункової. І наслідком цього є багато причин. Наприклад, неприпустимо високе навантаження, недостатнє змащування або невідповідний мастильний матеріал, неправильний монтаж підшипника, недостатня ефективна герметизація, посадка підшипника з надмірним натягом і, відповідно, недостатній внутрішній зазор або надмірний внутрішній натяг підшипника. Кожна ситуація породжує специфічні пошкодження підшипника, яка наводить відображення в характерній картині пошкодження. Тому здебільшого стає можливим під час дослідження пошкоджень підшипників завчасно попереджувати їх під час технічного обслуговування. Огляд останніх досліджень виявив, що опорно-упорні підшипники працюють в основному в умовах високих втрат на тертя та неможливості забезпечення належного мастильного клина [2]. М.Я. Хлопенко, досліджуючи динаміку роботи підшипників, виявив, що належний сервіс експлуатації підшипникового вузла попередить більшість експлуатаційних пошкоджень. Також завданням обслуговування підшипникових вузлів займалися М.Д. Генкін, Ю. Глазов, С.Ю. Коваленко, В. Сологуб, М.В. Фомін та інші. Роботи [3] і [4] розглядають умови, в яких працюють різного типу підшипники. У них розглянуті основні причини, які призводять до заклинювання та зносу упорних підшипників. У роботі [5] автор робить акцент на детальному описі дій, які треба застосовувати впродовж усього робочого ресурсу підшипникового вузла. Але питання контролю обслуговування експлуатації упорних підшипників не розглядається. З тієї причини, що автори опирались на наявні нормативи експлуатації підшипникових вузлів, а також на те, що зазначені виробником вказівки належно виконуються. У роботі [6] автор зазначає, що у звичайних умовах правильно вибраний та правильно експлуатований підшипниковий вузол має 90 % шансів відпрацювати свій ресурс протягом встановленого строку експлуатації і 10 % шансів вийти із ладу. Автор [7] наголошує, що навіть найкраща підшипникова сталь не зможе компенсувати недоліки змащування та значної деформації валопроводу. Оцінюванням якості готової продукції на основі кваліметричного підходу займалися Г.Г. Азгальдов, В.В. Ефімов, Т.Л. Сааті та інші. Дослідники контролю якості товарів [8; 9; 10] всебічно розглянули та описали наявні методи оцінювання якості продукції, їх недоліки та переваги. Але вказівок у цих та інших роботах про оцінювання якості технічної продукції, яка знаходиться у довгостроковій експлуатації, немає. Це пов'язано з тим, що виробник не приділяє достатньої уваги продукції, яка знаходиться в періоді експлуатації. Тому таке дослідження більше зацікавить власників великих торгових судів, де в експлуатації знаходяться 90 % опорно-упорних підшипникових вузлів [11].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Проведені нами аналітичні дослідження доводять, що нині у процесі невідповідної експлуатації опорно-упорних підшипників їх розрахунковий ресурс роботи зменшується. Це є основним чинником для проведення подальших досліджень у напрямку вирішення проблеми надання якісного обслуговування підшипниковим вузлам суднового валопроводу.

**Головною метою цієї роботи** є розроблення методу оцінювання якості обслуговування опорно-упорних підшипникових вузлів на основі кваліметричного підходу.

**Виклад основного матеріалу.** Контроль обслуговування опорно-упорних підшипників проводиться на основі нормативних документів та ГОСТ 520-2002 (ДСТУ 520-2003). Підшипниковий вузол суднового валопроводу розрахований на 40 000 годин роботи, але внаслідок проблеми неякісного обслуговування цей показник знижується на 20 % [4]. Для вирішення проблеми неякісного обслуговування та продовження терміну ресурсу опорно-упорних підшипників у межах розрахункового було запропоновано до наявних методів оцінювання якості готової продукції, таких як: комплексний, органолептичний, диференційований, об'єктивний, додати новий метод, який має назву контрольно-експлуатаційний метод (КЕМ).

Метод КЕМ можна віднести до групи методів абсолютного рівня оцінювання якості продукції за тієї причини, що він ґрунтується на реальних вимірюваннях, отриманих у процесі експлуатації. Мета КЕМ полягає в оцінюванні рівня якості продукції на основі контрольно-експлуатаційних вимірювань, які безпосередньо отримуються під час роботи довгострокової технічної продукції. Такий метод дає найбільш вірогідні результати майбутнього дефекту продукції, оскільки отримані під час контролю параметри робочого стану можливо проаналізувати та застосувати запобіжні заходи для уникнення пошкодження. До продукції, яка має довгий строк експлуатації, належать опорно-упорні підшипникові вузли у системі суднового валопроводу, які на сьогодні не відпрацьовують передбачений робочий ресурс. І причиною цього у 75 % випадках є неякісне обслуговування вузла. Метод оцінювання якості підшипників на основі КЕМ наведений на рис.



Рис. Реалізація КЕМ для опорно-упорних підшипників

Для реалізації на практиці нового методу оцінювання експлуатованої продукції були створені контрольно-експлуатаційні карти (КЕК). Розроблення та застосування такого типу карт допоможе власникам підшипникових вузлів наочно прослідкувати за якістю обслуговування, що, у свою чергу, допоможе заощадити кошти на передчасній заміні підшипникових вузлів. Тому наявність КЕК допоможе обслуговуючому персоналу аналізувати причини відмов та контролювати необхідні етапи перевірок. Приклад КЕК для опорно-упорного підшипника наведений у табл.

Таблиця

Контрольно-експлуатаційна карта опорно-упорних підшипників буксиру «Базальт»

Контрольні параметри	Інтервали технічних перевірок	Звіт про проведений контроль	Необхідні заходи для усунення відхилень
Температура	Раз у 2 години	Значення температури	Вирівняти до 90 °С
Рівень мастила	Раз у 12 годин	Значення тиску	Забезпечити рівень мастила
Якість мастила	Раз у 12 годин	Якість мастила Густе / рідке	Замінити мастильний матеріал
Наявність вібрації	Раз у 12 годин	Наявність чи відсутність шуму	Затиснути гвинти / додати мастило
Обтиснення кришок вала	Раз у 3 місяці	Наявність розтиснення	Затиснути кришки
Зазор між гребнем гвинта та опорною шийкою вала	Один раз на рік	Значення зазору	Надати номінальне значення зазору

На базі буксира «Базальт» льодового класу були проведені дослідження щодо застосування КЕМ, де протягом експлуатації опорно-упорних підшипникових вузлів було виявлено доцільність його використання.

Ресурс опорних підшипників визначається за формулою 1:

$$L = a_1 a_{23} \left( \frac{C_r}{R} \right)^b, \quad (1)$$

де  $a_1$  – коефіцієнт, який враховує задану ймовірність безвідмовної роботи (ступінь надійності) підшипника;  $a_{23}$  – коефіцієнт, який враховує якість матеріалу та умови експлуатації підшипника;  $C_r$  – базова динамічна вантажність підшипника за каталогом;  $R$  – розрахункове еквівалентне навантаження на підшипник;  $b$  – показник степеня, який дорівнює для роликів підшипників – 10/3. З рівняння (1) ресурс підшипника, у годинах роботи, можна визначити за формулою (2):

$$L_h = \frac{10^6 \pi L}{180 \omega} = \frac{10^6 L}{60 n}, \quad (2)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість вала (кільця підшипника), рад/с;  $n$  – частота обертання вала (кільця підшипника), хв<sup>-1</sup>.

Після застосування експлуатаційного методу до підшипникових вузлів буксира «Базальт» було визначено, що його базовий розрахунковий ресурс з 40 000 годин відпрацював 39 588 годин, що становить на 1435 годин більше, ніж попередній ресурс роботи опорних підшипників цього буксира.

Серед найбільш поширених причин виходу з ладу опорно-упорних підшипників були визначені такі: недостатність подачі мастила під час запуску підшипникового вузла, низька якість мастильного матеріалу, неправильність конструкції підшипникового вузла, підвищення кромкових навантажень, недостатня жорсткість вала та підшипника, окислення у процесі експлуатації, незадовільна фільтрація мастила від механічних домішок і твердих продуктів окислення. Усунення цих причин забезпечує нормальну роботу підшипників. Вчасна профілактика та контроль обслуговування опорно-упорних підшипників (вимірювання температури, періодичний аналіз якості мастила, шуму, вібрації) значно зменшує ризик виникнення передчасних пошкоджень підшипникових вузлів та допомагає заощадити витрати на їх ремонт та поточне обслуговування.

**Висновки і пропозиції.** Запропоновано використання контрольно-експлуатаційного методу в межах кваліметричного підходу для оцінювання рівня якості обслуговування підшипникових вузлів на торговельних судах. Також розроблена спеціальна контрольно-експлуатаційна карта для опорно-упорних підшипників суднового валопроводу та обґрунтована доцільність її застосування на практиці. Застосування КЕК наочно демонструє весь життєвий цикл експлуатованої технічної продукції з реально фіксованими робочими параметрами. Застосування КЕМ для оцінювання якості інших типів машинобудівної продукції у період експлуатації потребуватиме продовження наукових досліджень у цьому напрямку.

#### Список використаних джерел

1. Якунин Н. Н. Теоретическое исследование условий работоспособности подшипников скольжения машин / Н. Н. Якунин. – М. : Трение и износ, 1999. – 363 с.
2. Сологуб В. А. Разработка параметра и метода контроля приработанности подшипников коленчатого вала автомобильных двигателей по показателям смазочного процесса / В. А. Сологуб, Р. Ф. Калимуллин. – М., 2005. – 120 с.
3. Коровчинский М. В. Теоретические основы работы подшипников скольжения : монография / М. В. Коровчинский. – М., 1959. – 404 с.

4. *Нормухамедов Б. Ф.* Интенсивность изнашивания, условия смазывания и надежность узлов трения двигателей / Б. Ф. Нормухамедов. – М., 1997. – 316 с.
5. *Романовский Г. Ф.* Динамика упорных подшипников скольжения судовых турбомашин : монография / Г. Ф. Романовский, Н. Я. Хлопенко. – Николаев : НУК, 2007. – 140 с.
6. *Справочник по триботехнике* : в 3 т. Т. 2. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. – М., 1990. – 416 с.
7. *Румб В. К.* Прочность судового оборудования. Конструирование и расчеты прочности судовых валопроводов / В. К. Румб. – М., 2008. – 297 с.
8. *Басовский Л. Е.* Управление качеством / Л. Е. Басовский, В. Б. Протасьев. – М., 2001. – 212 с.
9. *Азгальдов Г. Г.* Теория и практика оценки качества товаров. Основы квалиметрии / Г. Г. Азгальдов. – М., 1982. – 230 с.
10. *Фомин В. Н.* Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация : курс лекций / В. Н. Фомин. – М. : ЭКМОС, 2000. – 320 с.
11. *Карасик И. И.* Прирабатываемость материалов для подшипников скольжения : монография / И. И. Карасик. – М. : Наука, 1978. – 136 с.

УДК 621.91:530.1

**В.С. Гусарев**, канд. техн. наук

**Ю.В. Яровой**, канд. техн. наук

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

**В.С. Гусарев**, канд. техн. наук

**Ю.В. Яровой**, канд. техн. наук

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

### ЕНЕРГЕТИЧНІ КРИТЕРІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

**Vladimir Gusarev**, PhD in Technical Sciences

**Yuriy Yarovoy**, PhD in Technical Sciences

Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine

### ENERGY CRITERIA IN MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY

*Рассмотрены энергетические критерии, которые применяются в технологии машиностроения. Предложен новый энергетический критерий: действие технологической системы. На основе энергетических критериев удельная работа резания, действие технологической системы и трудоемкость обработки выполнен выбор варианта обработки внутренней цилиндрической поверхности. Применение энергетических критериев наряду с технико-экономическими повышает эффективность выбора вариантов технологического процесса.*

**Ключевые слова:** критерий, удельная работа резания, действие, технологическая система.

*Розглянуто енергетичні критерії, які використовуються в технології машинобудування. Запропоновано новий енергетичний критерій: дія технологічної системи. На основі енергетичних критеріїв питома робота різання, дія технологічної системи і трудомісткість оброблення виконано вибір варіанта оброблення внутрішньої циліндричної поверхні. Застосування енергетичних критеріїв поряд з техніко-економічними підвищує ефективність вибору варіантів технологічного процесу.*

**Ключові слова:** критерій, питома робота різання, дія, технологічна система.

*The energy criteria used in mechanical engineering are considered. New energy criterion: action of technological system is offered. On the basis of energy criteria specific work of cutting, action of technological system and complexity of processing the selection of options for processing of the inner cylindrical surface is carried out. Applying of energy criteria in addition to technical-economic criteria increases the efficiency of option selection for processing.*

**Key words:** criterion, specific work of cutting, action, technological system.

**Постановка проблемы.** Развитие современного машиностроения происходит путем внедрения в производство наукоемких технологий, современного оборудования, режущего инструмента и технологического обеспечения. Выбор новых технологий осуществляется по традиционным технико-экономическим критериям, как правило, по трудоемкости обработки и себестоимости изделия. Такой подход не всегда дает объективное суждение об эффективности внедрения той или иной технологии. Технич-