

УДК 633.63:631.35

ХІМІЧЕВА Г.І., КУРИЛЯК В.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

## ПЕРЕДУМОВИ ПРОЦЕСУ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПІДШИПНИКІВ СУДНОВОГО ВАЛОПРОВОДУ

**Мета.** Обґрунтування принципів моделювання експлуатаційного процесу підшипників суднового валопроводу.

**Методика.** В процесі дослідження використано загальнонаукові та спеціальні методи математичного моделювання: порівняння, аналогія, аналіз, синтез.

**Результати.** У статті обґрунтовано метод моделювання складних технічно-експлуатаційних процесів, який забезпечує методичні засади побудови математичних моделей шляхом уніфікації процедур моделювання, класифікації критеріїв оцінювання та узагальнення технологічних змінних.

**Наукова новизна.** Обґрунтовано принципи і методи побудови моделей складних технологічних систем шляхом застосування уніфікованих процедур моделювання.

**Практична значимість.** Запропоновані рекомендації щодо вибору уніфікованих процедур моделювання складних технічних процесів обслуговування підшипників суднового валопроводу.

**Ключові слова:** уніфікація процедур, моделювання експлуатаційних процесів, упорно-опорні підшипники.

**Вступ.** Дослідженню питань ефективного обслуговування та функціонування суднової системи валопроводу присвячені праці багатьох вчених. Такі автори як Л.Т. Балицький, В.В. Коливанов, А.А. Хлибов та ін. наголошують у своїх працях на важливість правильного підходу щодо обслуговування деталей суднового валопроводу, які мають ресурс більше 50 000 ходових годин [1-3]. Багато наукових літературних джерел присвячено питанням якісного технічного обслуговування, а саме підшипникових вузлів суднового валопроводу [1,2,4]. Розробці і створенню засобів для технічного обслуговування упорно-опорних підшипників під час експлуатації, присвячені роботи багатьох вчених, зокрема І.А. Куніна, В.А. Максимова, А.К. Нікітіна, І.А. Савіна, А.А. Сручкова та ін. [1,6,7]

Аналіз відомих досліджень показує, що незважаючи на наявність певних методів, інструментів та датчиків по фіксуванню робочих параметрів підшипникових вузлів, а також наявність кваліфікованого обслуговування підшипникових вузлів, фактичний ресурс цих деталей не відповідає вкладеному в них виробником, оскільки основною складовою їх технічного обслуговування є експертний та органолептичні методи.

Покращання процесу технічного обслуговування підшипникових вузлів суднового валопроводу є важливою проблемою кораблебудівної галузі. Комплексний підхід до підвищення якості методів технічного обслуговування підшипників повинен включати як пошук нових конструктивних рішень робочих органів, так і теоретичне обґрунтування конструктивних та технологічних параметрів. Це обумовлює розвиток сучасної теорії по збереженню ресурсних параметрів деталей, які мають ресурс більше ніж 25 000 тис. робочих годин. Метою такого підходу є синтез оптимальних технологічних параметрів вузлів та обслуговуючого персоналу для забезпечення високої якості на всіх експлуатаційних етапах. Таким чином, теоретичне узагальнення, моделювання та дослідження техніко-технологічного процесу експлуатаційного обслуговування опорних підшипників валопроводу потребує розвитку існуючих методів та підходів в обслуговуванні вузлів, так і розробку нового підходу, який враховував би усі параметри та сприяв виробітку вкладеного виробником ресурсу, запобігаючи при цьому передчасне руйнування деталей вузла.

**Постановка завдання.** Метою даного дослідження є обґрунтування принципів моделювання експлуатаційного процесу обслуговування підшипників суднового валопроводу шляхом уніфікації процедур побудови моделей складних систем та розробки базових засад щодо вдосконалення методології моделювання експлуатаційних процесів.

**Результати дослідження.** Для досягнення поставленої мети необхідно дослідити загальну схему технології обслуговування упорно-опорних підшипників, вивчити особливості моделювання експлуатаційних процесів, визначити мету моделювання та узагальнити теоретичну базу побудови моделей складних систем та запропонувати принципи моделювання експлуатаційних процесів суднових підшипників системи валопроводу. Отже, технічне обслуговування суднових підшипників включає перевірку кожні 12 годин рівня температури, якості мастильного матеріалу, наявності вібрації та шуму, візуальний огляд, перевірку обтиснення гвинтів – раз у три місяці, наявність зазорів між кріпильними деталями і багато інших операцій, які виконуються раз в півроку, або в рік [1]. Від правильної та чіткої організації процесу технічного обслуговування, раціонального використання вимірювальних приладів та наявності кваліфікованого спеціаліста залежить якість роботи не тільки підшипникових вузлів, але всієї валопроводної системи в цілому, оскільки невчасний вихід із ладу підшипникового вузла призводить до неповноцінного функціонування морехідного засобу. Математичне моделювання базується на таких загальних принципах, як інформаційність, здійсненність, множинність. Але при побудові моделей складних експлуатаційних процесів, зокрема технологічних процесів обслуговування підшипників необхідно враховувати деякі додаткові аспекти. Авторами запропоновано застосувати наступні принципи моделювання складних експлуатаційних процесів.

1. Доцільність моделювання – це основоположний принцип побудови будь-яких моделей. Моделювання як процес представлення об'єкта, процесу або явища має бути цілеспрямованим, економічно обґрунтованим і отриманий результат (тобто модель) не повинен підвищувати складність.

2. Наявність достатньої інформації – це принцип інформаційної достатності, тобто для побудови моделі необхідна наявність апріорної інформації, яка дозволяє побудувати адекватну модель. Повнота та невизначеність наявної інформації обумовлюють доцільність, адекватність та ефективність моделювання.

3. Множинність моделювання – це принцип представлення реального об'єкту або процесу множиною моделей, які відображають різноманітні аспекти його функціонування. Вибір типу моделювання, деталізація опису процесу, складність моделі – все це повинно узгоджуватись з цілями та завданнями моделювання.

4. Агрегативність моделі – це принцип моделювання складних систем як сукупності більш простих складових, які об'єднані моделлю більш високого рівня - агрегатом. Ієрархічне уявлення процесу дозволяє суттєво спростити модель складного об'єкту, зосередити увагу на головних аспектах, деталізація яких розглядається на нижчому рівні абстракції.

5. Координованість – це принцип моделювання складної системи через декомпозицію та врахування взаємного впливу автономних підсистем. Будь-який технологічний процес складається з певного набору операцій, що обумовлює цілком природну декомпозицію та моделювання окремих стадій як автономних підсистем, які взаємодіють між собою. Узгодженість параметрів, інформаційних та матеріальних потоків між окремими підсистемами, а також між рівнями агрегування моделі дозволяє ефективно вирішувати складні завдання управління.

Сучасні експлуатаційні процеси мають складну структуру, що обумовлює декомпозицію на взаємопов'язані підсистеми, крізь які проходять матеріальні та інформаційні потоки. Поліпшення техніко-економічних показників функціонування технологічного процесів можливо за умов вирішення завдань координації роботи окремих

ланок експлуатаційного процесу. Виділяють три основні варіанти постановки задачі координації експлуатаційного процесу [9]:

- узгодження матеріальних потоків між підсистемами за умов збереження експлуатаційних режимів суміжних підсистем;
- узгодження експлуатаційних режимів суміжних підсистем за умов поліпшення загального показника якості функціонування експлуатаційного процесу;
- визначення таких параметрів матеріальних потоків та експлуатаційних режимів окремих підсистем, які забезпечать найліпші значення техніко-економічних показників функціонування експлуатаційного процесу.

У загальному вигляді математична постановка задачі координації складного експлуатаційного процесу формулюється наступним чином. Для кожної  $g$ -ої підсистеми складного експлуатаційного процесу треба знайти такі значення вектору параметрів експлуатаційного процесу  $X_g = \{X_{gh}\}$  та вектору управляючих впливів,  $U_g = \{U_{gh}\}$ , які забезпечать максимальне значення критерію ефективності функціонування  $g$ -ої підсистеми:

$$f_g = (X_g U_g \bar{S}_g) \rightarrow \max; U_g \in U, X_g \in X$$

де  $\bar{S}_g$  зафіксований параметр технологічного процесу, який забезпечує координацію  $g$ -ої підсистеми технологічного процесу. Задача координації формалізується наступним чином: знайти такі значення параметрів,  $S_g \in S$ , які, за умови визначених значень параметрів  $X_g$  та управляючих впливів  $U_g$  для кожної підсистеми, забезпечать ефективність технологічного процесу, тобто

$$F(s) = \sum_{g=1}^N a_g f_g(\bar{X}_g, \bar{U}_g, S_g) \rightarrow \max, S_g \in S$$

де  $a_g$  – коефіцієнт відносної важливості  $g$ -ої підсистеми технологічного процесу,  $\bar{X}_g$  та  $\bar{U}_g$  та – рішення відповідних локальних задач для кожної підсистеми,  $N$  – загальна кількість підсистем.

З метою формального уявлення та дослідження техніко-технологічного процесу обслуговування упорно-опорних підшипників автором пропонується розглядати експлуатаційні процеси технічного огляду та обслуговування підшипників суднового валопроводу з точки зору теорії складних систем. Експлуатаційні процеси можна розглядати як складні системи, які характеризуються наступними ознаками [9]:

- велика кількість взаємопов'язаних між собою підсистем та елементів;
- наявність достатньої кількості різноманітних зв'язків та відношень;
- різноманіття цілей та вимог окремих ланок технологічного процесу;
- випадковий характер процесів;
- інваріантність структури;
- неоднорідність фізичної природи, гетерогенність.

Отож, головною метою управління складними експлуатаційними процесами є підвищення ефективності. Поняття ефективності як співвідношення витрат на обслуговування та фактично відпрацьований ресурс є дуже вузьким щодо розглядання функціонування складних систем. Тому будемо розрізняти наступні види ефективності виробничих та експлуатаційних процесів [10]:

- 1) за рівнем організації експлуатаційного процесу можна виділити: ефективність економіки країни, ефективність машинобудівного сектору, ефективність суднобудівної галузі;
- 2) за формою ефекту ефективність може бути загальною або частковою;
- 3) за організаційним рівнем можна відокремити ефективність на рівні окремої бригади чи ланки, ефективність на рівні мореплавства;
- 4) за функціональним впливом будемо розглядати економічну, технологічну, соціальну, екологічну та т.п. ефективність;

5) за видами заходів або технологічних процесів можна виділити такі види ефективності як, наприклад, ефективність та кваліфікація обслуговуючого персоналу;

Таким чином, проведена класифікація видів ефективності показує, що необхідні загальні принципи формування моделей оцінювання ефективності незалежно від її виду. Найбільш загальний підхід до оцінювання передбачає виділення критеріїв оцінювання та змінних, які впливають на остаточне значення оцінки. Оцінювати ефективність технічного обслуговування підшипників валопроводу лише за допомогою одного критерію неможливо. Це обумовлено складністю експлуатаційних процесів. Наприклад, для оцінювання експлуатаційного функціонування упорно-опорних підшипників можна виділити такі критерії як зменшення ресурсу за рахунок погіршення властивостей мастильного матеріалу, наявність сторонніх частинок в підшипниковому вузлі потрапляння вологи та ін.

На значення цих критеріїв впливають різноманітні фактори, серед яких, наприклад, можна виділити, неправильно підібране мастило, наявність вологи в наслідок потрапляння конденсату, сторонні частинки, надмірне обтиснення гвинтів, перекіс кілець підшипника та ін. Тому слід використовувати багатокритеріальний підхід. Розробка моделей багатокритеріального оцінювання та прийняття рішень є предметом окремого дослідження. Розглянемо лише базові принципи формування моделей багатокритеріального оцінювання. В роботі запропоновано у якості базової моделі багатокритеріального оцінювання технічного процесу експлуатаційного обслуговування підшипникових вузлів суднового валопроводу використовувати мережеву модель комплексного оцінювання. Як доведено в роботі [12], модель мережевого комплексного оцінювання надає можливість отримати агреговану оцінку; врахувати різні групи показників; порівнювати альтернативні варіанти між собою та вибирати найбільш вигідний з точки зору загальної ефективності. У моделі комплексного мережевого оцінювання для згортки показників у групи доцільно застосовувати різні види згорток та експлуатаційні коефіцієнти [10]. Причому експлуатаційні коефіцієнти визначаються у межах кожної групи окремо, що полегшує роботу експертів і робить механізм оцінки більш гнучким.

Таким чином, оцінка технічних процесів обслуговування упорно-опорних підшипників складається з двох видів показників: експертні та інструментальні. Показники «експертні» характеризують певні експлуатаційні умови та технологічні параметри зроблених висновків. Показники «інструменти» відображають певну групу характеристик інструментального вимірювального процесу. Наприклад, можна обирати групи показників за стадіями технічного експлуатаційного процесу, або за видами машин та робочих органів, які використовуються. Якщо показники ефективності технічного процесу обслуговування підшипників мають великий ресурс, неоднорідні за своєю суттю (наприклад, технічні параметри робочих органів та експлуатаційні умови роботи) і мають різні одиниці виміру, то неможливо скласти один агрегований показник шляхом згортання їх значень, а доцільніше сформулювати декілька рівнів агрегованих показників, які послідовно будуть згортатися в один. З іншого боку, проміжні агреговані показники дають оцінку різних аспектів технічного процесу обслуговування і можуть використовуватися в процесі оцінювання як самостійні.

Узагальнюючи проведені дослідження можна зробити висновок, що головною метою моделювання технічних процесів обслуговування підшипників є підвищення ефективності за рахунок визначення та обґрунтування параметрів експлуатаційних процесів і технічних засобів вимірювання. Дослідження експлуатаційних процесів на основі моделювання дозволяє визначити технічні змінні, їх взаємозв'язки та взаємовплив, виділити техніко-економічні показники, оцінити вплив на прибутковість, визначити напрямки розвитку та шляхи вдосконалення технологічної бази вимірювальних засобів. Досягнення поставленої мети та вирішення відповідних задач можливо за умов розробки методичних засад моделювання та оптимізації експлуатаційних процесів стосовно різних умов функціонування.

**Висновки.** Таким чином, проведений аналіз різноманітних аспектів щодо моделювання технічних процесів галузі обслуговування підшипникових вузлів, дозволяє зробити наступні висновки:

- технічно-логічні процеси обслуговування відносяться до класу складних систем, які характеризуються наявністю великої кількості параметрів та змінних, динамікою, неповнотою інформації, складністю структури, гетерогенністю фізичної природи, взаємним впливом та наявністю зворотних зв'язків між складовими;

- моделювання складних технічних процесів обслуговування підшипників повинно базуватися на певному наборі принципів, що забезпечують методичні засади побудови моделей шляхом уніфікації процедур моделювання, класифікації критеріїв оцінювання та узагальнення технологічних змінних;

- основними принципами моделювання технології обслуговування та правильної експлуатації підшипників суднового валопроводу запропоновано визначити: а) доцільність моделювання; б) наявність достатньої інформації; в) множинність; г) агрегативність; д) координованість.

### Список використаних джерел

1. Балацкий Л.Т. Анализ повреждений гребных валов на крупнотоннажных нефтеналивных судах типа «Прага» / Л.Т. Балацкий и др. // Морской флот, 1970. – 309 с.
2. Колыванов В.В. Поломки гребных валопроводов. Прикладная механика и технологии машиностроения / В.В. Колыванов, Сборник научных трудов № 2 (13), 2008. – 298 с.
3. Хлыбов А.А. Методика оценки технического состояния гребных валов / А.А. Хлыбов, В.В. Колыванов / Вестник АГТУ. Морская техника и технология. №1 2010. – 239 с.
4. Коровчинский М.В. Теоретические основы работы подшипников скольжения / М. В. Коровчинский М. : Машгиз, 1959. – 404 с.
5. Кунин, И. А. Гидродинамическая теория смазки упорных подшипников / И. А. Кунин М. : Изд-во АН СССР (Сиб. отд.), 1960. – 130 с.
6. Максимов, В. А. Трибология подшипников и уплотнений жидкостного трения высокоскоростных турбомашин / В. А. Максимов, Г. С. Бат-кис Казань. : Фэн, 1998. – 428 с.
7. Стручков, А. А. Повышение надежности опорных узлов роторов путем совмещения подшипников качения и скольжения / А. А. Стручков, Л. А. Савин, Р. Н. Поляков / Материалы Международной НТК «Надежность и ремонт машин», М. : Гагры, 2004. – 389 с.
8. Ладанюк А.П. Системний аналіз складного об'єкта в задачах діагностики та координації [Електронний ресурс] / А.П. Ладанюк, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць. – Режим доступу: [http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1076/1/Sist\\_anTK.pdf](http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1076/1/Sist_anTK.pdf)
9. Яценко В. С. Эксплуатация судовых валопроводов / В.С. Яценко – М. : Транспорт, 1968. – 171 с.
10. Штерензон В.А. Моделирование технологических процессов / В.А. Штерензон. – Екатеринбург. : Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та. – 2010. – 66 с.

### References

1. Balatsky, L.T. (1970) *Analysis of the damage to the propeller shafts of large oil tankers [Researches in the field of shipbuilding]*. Prague: NAVY [in Russian].
2. Kolyvanov, V.V. (2008) *Breakdown propeller shaft lines. Applied Mechanics and mechanical engineering [Collection of scientific papers]*. Kyiv: KNUVD [in Ukrainian]. Kyiv: AGTU [in Ukrainian].
3. Khlybov, A.A. (2010) *Methods of assessing the technical condition of the propeller shafts. [Marine engineering and technology]*. Moscow: ASTU [in Russian].
4. Korovchinsky, M.V. (1959) *Theoretical basics of sliding bearings [Researches in the field of shipbuilding]*. Moscow: MASHGIZ [in Russian].

5. Kunin, I.A. (1960) *Hydrodynamic theory of lubrication thrust bearings [Researches in the field of shipbuilding]*. Moscow: USSR [in Russian].
6. Maksimov, V.A. (1998) *Tribology bearings and seals fluid friction high-speed turbomachinery text [tribotehnolohiya engineering]* Kazan: FAN [in Russian].
7. Pod, A. (2004) *Improving the reliability of the support units of the rotors by aligning roller and plain bearings [Materials of international STC Reliability and repair of cars]*. Moscow: GAGRA [in Russian].
8. Ladanyuk A.P. (2014) *Systemic analiz collapsible ob'ekta in problems that koordinatsiya diagnostiki [Electron resource]*:  
[http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1076/1/Sist\\_anTK.pdf](http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1076/1/Sist_anTK.pdf)
9. Yatsenko V.S. (1968) *Operation of ship shafting [Transport]*. Moscow: GAGRA [in Russian].
10. Shterenzon V.A. (2010) *Modeling of processes [mathematical modeling]*. Ekaterinburg: USSR [in Ukrainian].

## ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ СУДОВОГО ВАЛОПРОДОДА

ХИМИЧЕВА А.И., КУРИЛЯК В.В.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Обоснование принципов моделирования процесса эксплуатации подшипников судового валопровода.

**Методика.** В процессе исследования использованы общенаучные и специальные методы математического моделирования: сравнение, аналогия, анализ, синтез.

**Результаты.** В статье обоснован метод моделирования сложных технико-эксплуатационных процессов, который обеспечивают методические основы построения математических моделей путем унификации процедур моделирования, классификации критериев оценивания и обобщения технологических переменных.

**Научная новизна.** Обоснованы принципы и методы построения моделей сложных технологических систем путем использования унифицированных процедур моделирования.

**Практическая значимость.** Предложены рекомендации по выбору унифицированных процедур моделирования сложных технических процессов обслуживания подшипников судового валопровода.

**Ключевые слова:** унификация процедур, моделирование эксплуатационных процессов, упорно-опорные подшипники.

## MATHEMATICAL MODELING OF MAINTENANCE SHIP SHAFTING BEARINGS

ХИМИЧЕВА А., КУРИЛЯК В.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** Defining the principles of operational service process modeling ship shafting bearings.

**Methodology.** The study used general scientific and specific methods of mathematical modeling, comparison, analogy, analysis, synthesis.

**Findings.** The article described a method of modeling complex technical and operational processes, providing methodological principles of construction of mathematical models to unify the procedures by modeling, classification criteria evaluation and synthesis of process variables.

**Originality.** The theoretical basis for constructing models of complex systems and modeling of proposed principles.

**Practical value.** The features of modeling operational processes, thrust bearings shipboard shaft lines.

**Keywords:** standardization of procedures, modeling of operational processes, thrust-bearings.