

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний морський університет

УДК:629.5.083.4

РОССОМАХА ОЛЕНА ІГОРІВНА



**УДОСКОНАЛЕННЯ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
І РЕМОНТУ СУДНОВИХ ДОПОМІЖНИХ МЕХАНІЗМІВ
РОТАЦІЙНОГО ТИПУ**

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
Дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Одеському національному морському університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ШАХОВ Анатолій Валентинович,
Одеський національний морський університет
професор кафедри «Технічне обслуговування і ремонт
суден»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
БУДАШКО Віталій Віталійович,
Національний університет «Одеська морська
академія», Директор навчально-наукового інституту
автоматики і електромеханіки

кандидат технічних наук, доцент
БУЛГАКОВ Микола Петрович,
Херсонська державна морська академія, доцент
кафедри «Експлуатація суднових енергетичних
установок»

Захист дисертації відбудеться «29» квітня 2021 року об 14:00 годині на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.061.01 в Одеському національному
морському університеті Міністерства освіти і науки України за адресою:
65029, Україна, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці імені
проф. Г.К. Сулова Одеського національного морського університету за
адресою: 65029, Україна, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.

Автореферат розісланий «25» березня 2021 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 41.060.01,

кандидат технічних наук



Олексій ДРОЖЖИН

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний розвиток світового судноплавства йде шляхом зниження витрат судновласника за рахунок скорочення чисельності екіпажу, максимальної економії змінно-запасних частин, ремонту судна. Все це негативно позначається на безвідмовності процесів перевезення.

Одним із шляхів вирішення даної проблеми протягом останніх десятиліть є вдосконалення систем управління технічним обслуговуванням і ремонтом. Для забезпечення вимог «четвірки» Судно - Класифікаційне товариство - СРЗ - Судновласник (Судноплавна компанія) на практиці все частіше використовується стратегія технічного обслуговування й ремонту (ТОіР) «за станом».

У створення теоретичних основ і методів організації, планування і управління технічного обслуговування й ремонту (ТОіР) складних технічних систем великий внесок внесли: Е. Ю. Барзилович, Р. Барлоу, Ф. Байхельт, В. Ф. Воскобоев, А. А. Іцкович, Д. Кокс, Г. Г. Маньшин, В. М. Міхлін, Ф. Прошан, Н. А. Северцев, Н. Н. Смірнов, В. Сміт, С. В. Степанов, Л. М. Александровська, П. Франкен, Дж. Ендреніта інші. Дослідженнями саме в напрямку ТОіР у судноплавній галузі займаються провідні фахівці України та світу: Р. А. Варбанець, А. В. Шахов, Н. І. Александровська та інші.

Незважаючи на те, що велику увагу приділяють цьому завданню стратегія ТОіР досі не знайшла широкого практичного застосування у зв'язку з відсутністю чіткого науково обґрунтованої моделі оцінки фактичного стану, зародження і розвитку дефектів.

Суднові допоміжні механізми ротаційного типу (СДМ РТ) дуже поширені на судах (насоси, компресори, турбокомпресори, сепаратори та ін.), мають широке застосування, а їх ТОіР багато в чому визначає ефективність системи ТОіР всього судна.

Виходячи з вищевикладеного розробка і впровадження системи ТОіР, що базується на прогнозуванні зародження та розвитку несправностей у механізмі, є актуальним науково-практичним завданням.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконані відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки, затвердженими Кабінетом Міністрів України від 7 вересня 2011 року «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень и науково-технічних розробок на період до 2020 року», сформульованими на основі закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки и техніки» від 11.07. 2001р. № 2623-III, та плану проведення науково-дослідних робіт кафедри «Технічне обслуговування і ремонт суден» Одеського національного морського університету за пріоритетними напрямами. Результати науково-дослідних робіт за участю автора викладені у звітах НДР:

1. Організаційно-технологічне проектування виробництва з утилізації суден (державний реєстраційний номер 0116U1988, 2017р.).

2. Якість підготовки кадрів на етапах навчального процесу та проектування суден. (проміжний звіт. Державний реєстраційний номер 0119U002420 РК, 2018р.).

3. Якість безпеки під час експлуатації технічного обслуговування та ремонту суден (заключний звіт. Державний реєстраційний номер 0119U002420 РК, 2019р.).

У зазначених НДР автор брала участь як виконавець окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності експлуатації суднових допоміжних механізмів ротаційного типу за рахунок впровадження стратегії ТОіР «за станом» та моделі оцінки і прогнозування зміни технічного стану складних технічних систем.

Досягнення мети пов'язане з комплексним вирішенням наступних науково-практичних задач:

- аналіз сучасних моделей і методів діагностування суднових механізмів ротаційного типу;
- розробка моделі оцінки і прогнозування зміни технічного стану і методу визначення термінів проведення робіт з ТОіР;
- експериментальна перевірка достовірності запропонованих моделей і методів;
- розробка інформаційної системи планування й управління комплексом робіт з ТОіР СДМ РТ під час експлуатації судна.

Об'єктом дослідження є процеси управління експлуатацією і ремонтом СДМ РТ.

Предметом дослідження є методи удосконалення стратегії ТОіР СДМ РТ.

Методи дослідження. У результаті дисертаційного дослідження використано: теорію систем і системного аналізу; теорію ймовірностей, дослідження марківських і полумарківських процесів; регресійний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці нових моделей і методів управління комплексом робіт з ТОіР СДМ РТ, що дозволяє підвищити ефективність судноплавства.

Вперше:

- розроблена концептуальна модель стратегії ТОіР СДМ РТ «за станом», яка містить етап прогнозування зародження та розвитку пошкоджень, що дозволяє знизити витрати на роботи з ТОіР без загрози зниження рівня безпеки судноплавства;
- розроблений метод визначення терміну проведення робіт з ТОіР СДМ РТ на підставі багатфакторного аналізу комплексу діагностичних параметрів системи, що дозволяє визначити відповідність для кожної несправності унікальної множини діагностичних параметрів.

Вдосконалено:

– систему управління роботами з ТОiP СДМ РТ на суднах за рахунок впровадження комп'ютеризованої системи Computerized Maintenance Management System, шляхом розробки план-графіків виконання робіт і планування закупівлі змінно-запасних частин.

Отримали подальший розвиток:

– аналітичний і ймовірнісний методи прогнозування зародження та розвитку несправностей у процесі експлуатації технічних систем на основі аналізу результатів технічного діагностування, що дозволить визначити час зародження і розвитку несправностей механізмів.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дисертаційного дослідження мають практичне значення і призначені для використання на підприємствах, що виконують технічне обслуговування й ремонт суднових технічних засобів. Наукові результати дисертаційного дослідження впроваджені на ПрАТ «Іллічівський судноремонтний завод».

Результати дослідження є важливими для закладів Міністерства освіти і науки України, що готують фахівців морської галузі, та використовуються в навчальному процесі Одеського національного морського університету при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю 271 – Річковий та морський транспорт і включені до робочих програм курсів «Технічний менеджмент судноплавних компаній», «Організація і технологія судноремонту» і в дипломному проектуванні магістрів Навчально-наукового інституту морського флоту за спеціальністю 271 Річковий та морський транспорт.

Особистий внесок здобувача. Розробки та висновки дисертаційної роботи, винесені на захист, отримані здобувачем самостійно. У дисертаційне дослідження зі статей, написаних у співавторстві, включені тільки результати, отримані автором особисто, або з безпосередньою його участю.

У спільній роботі [1] здобувач брала участь у загальній оцінці стану річкового транспорту України. У статтях [2, 6] здобувач брала участь в обробці даних аналізу водного транспорту України. У спільній роботі [3] автору належить визначення видів і наслідків відмов технічних систем. Стаття [4] – особиста робота здобувача, в якій запропонована концептуальна модель системи технічного обслуговування й ремонту складних технічних систем. У спільній статті [5] автор аналізувала і розробляла методи діагностування суднових технічних засобів при утилізації суден.

Внесок здобувача у роботи [7, 8] полягає у визначенні основних стратегій технічного обслуговування й ремонту суден. Стаття [9] – особиста робота здобувача, в якій проведено аналіз методів управління життєвим циклом судна. У статтях [10, 11, 12] здобувач брала участь у постановці завдання і формуванні висновків.

У роботі [13] здобувач брала участь у написанні розділу 3. У роботах [14, 15, 16] здобувач брала участь у написанні основних частин. [17] Авторське право на твір №98864. [18] Авторське право на твір №98866.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення й результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивні відгуки на:

– Міжнародна науково-технічна конференція ОНМУ «100 років вищої морської освіти в Україні» – Одеса: 2018.

– Міжнародна науково-практична конференція, присвячена пам'яті професорів Фоміна Ю.Я. і Семенова В.С. – Одеса: 2019.

– II міжнародна науково-практична морська Конференція Кафедри СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету (mrr&o-2020).

– IX Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та молодих вчених «Проблеми і перспективи розвитку транспорту» 23 квітня 2020 р.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 18 наукових роботах. З них: 4 роботи – у спеціалізованих виданнях, рекомендованих Міністерством освіти і науки України; 1 робота – у науковому виданні, що входить до переліку міжнародної наукометричної бази SCOPUS; 7 робіт – у збірниках наукових праць, виданих за матеріалами міжнародних науково-практичних конференцій, 3 публікації, які додатково висвітлюють результати дослідження (1 – навчальний посібник, 3 – конспекти лекцій); 2 авторських права на твори.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи становить 120 сторінок, список використаних джерел включає 126 найменувань. Дисертація містить 13 рисунків, 7 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовані цілі та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, відображена наукова новизна отриманих результатів, їх практичне значення та особистий внесок здобувача. Також розглянуто зв'язок з науковими програмами, планами, темами, наведена інформація щодо публікацій та апробацію результатів досліджень, його структура і обсяг.

У **першому розділі** «Аналіз сучасних стратегій технічного обслуговування й ремонту суднових допоміжних механізмів ротаційного типу» проведено:

– аналіз стратегій технічного обслуговування і ремонту суднових технічних засобів з метою відпрацювання видів ремонту в залежності від вимог до безпеки експлуатації. У рамках огляду проведений порівняльний аналіз переваг і недоліків стратегій ремонту, визначено ті, що найчастіше застосовуються на практиці;

– аналіз міжнародних стандартів ISO, національних стандартів ДСТУ, галузевих нормативних документів щодо організації робіт з ТОiP;

– аналіз існуючих моделей і методів оцінки фактичного стану та прогнозування його зміни у процесі функціонування.

Проведений аналіз дозволив визначити актуальні завдання дослідження і зробити наступні висновки.

Незважаючи на постійне зростання вимог до безпеки з боку Класифікаційних товариств та ІМО до обладнання, кількість аварій на флоті практично не зменшується, а сумарні збитки від аварій збільшуються.

Одним зі шляхів вирішення проблеми – розробка і впровадження у практику роботи судноплавної компанії науково-обґрунтованої стратегії ТОiP суднових технічних засобів і суднових конструкцій.

Найбільша увага в середовищі фахівців приділяється системі діагностування головної енергетичної установки та суднових корпусних конструкцій. Допоміжним механізмам не приділено достатньої уваги, хоча, незважаючи на відносно незначну вагу окремого механізму в сумарній величині витрат, через те, що на судні вони мають широке застосування, загальні втрати від неефективної експлуатації ротаційних допоміжних механізмів дуже значні.

У **другому розділі** «Теоретичні засади стратегії технічного обслуговування й ремонту суднових допоміжних механізмів» розглянуто загальну схеми суднових допоміжних механізмів ротаційного типу (рисунок 1). Їх технічний стан контролюється за рівнем вібрації, ударних імпульсів, перегріву підшипників, зниження подачі (напору), зміни сили струму приводного електродвигуна, місцеве зменшення товщини корпусу. Досягнення граничних значень хоча б одним з параметрів говорить про необхідність проведення технічного обслуговування або ремонту механізму.

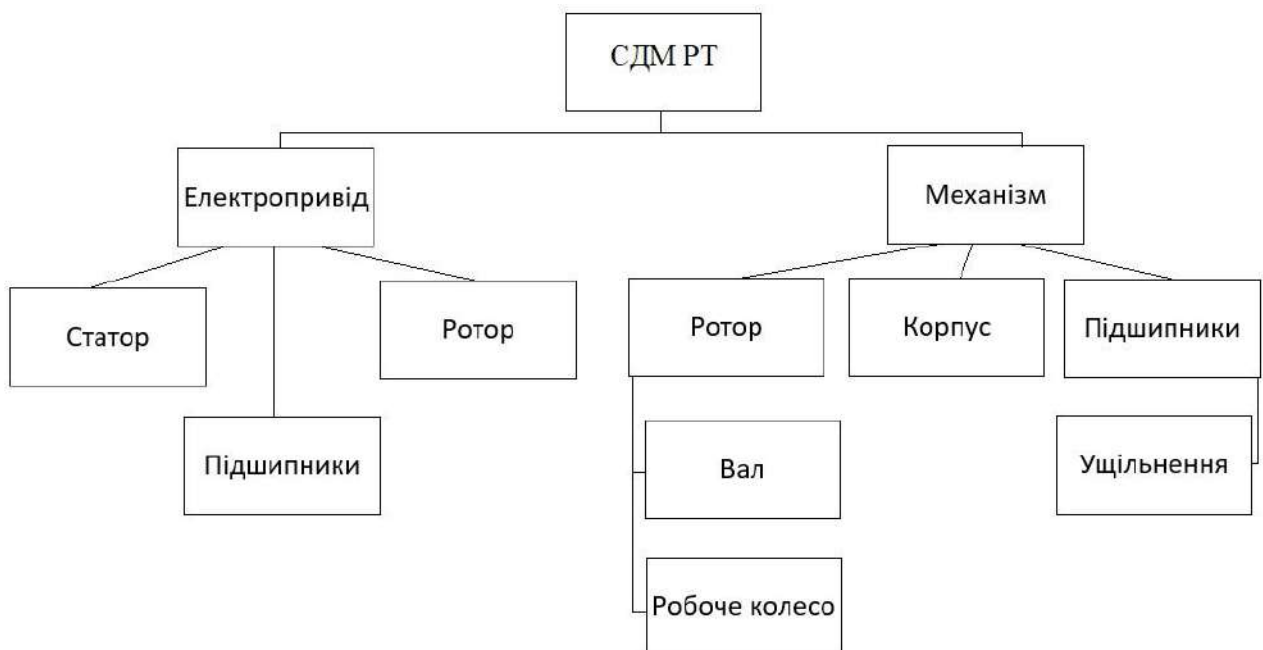


Рисунок 1 – Схема механізму ротаційного типу на прикладі насосу

Основною новелою розділу слід вважати концептуальну модель стратегії ТОіР СДМ РТ, представлену на рисунку 2.

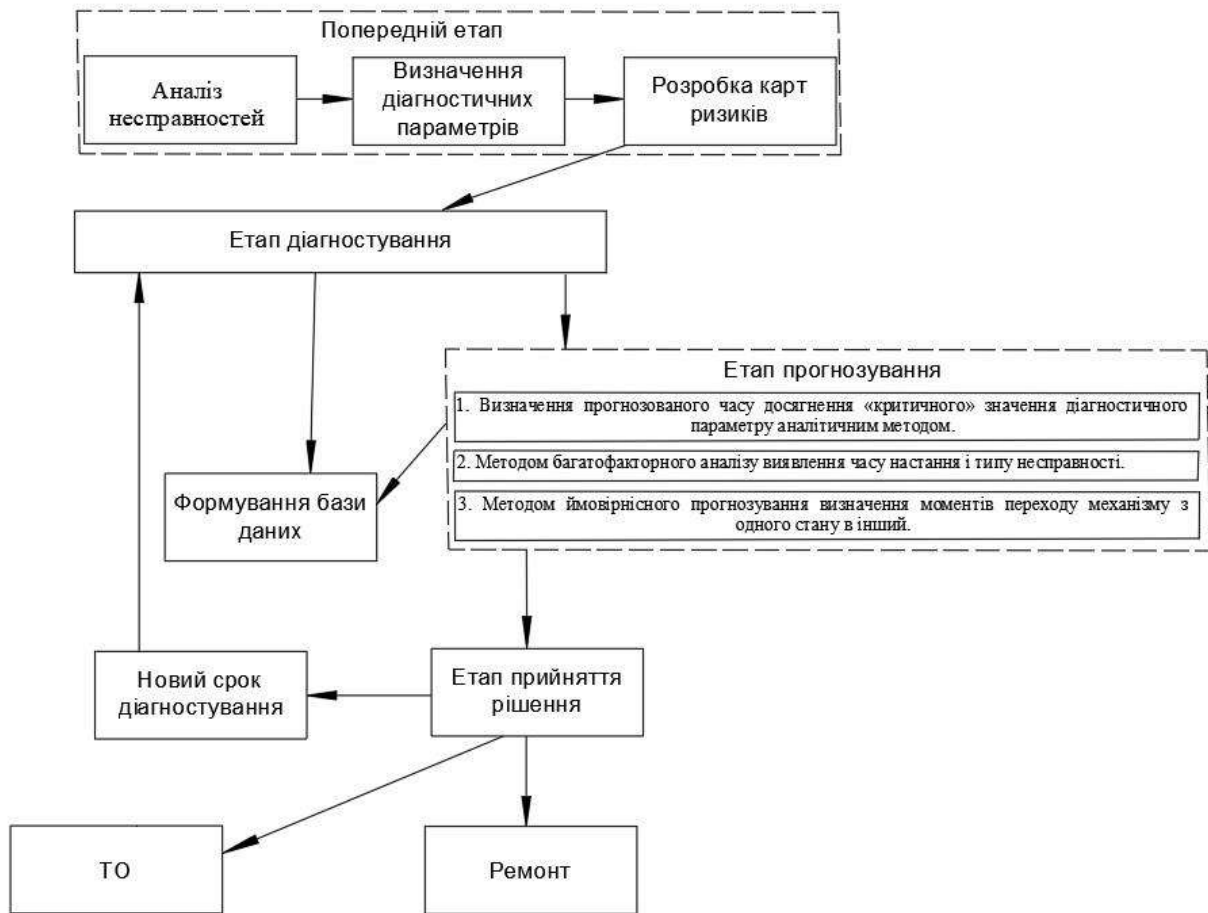


Рисунок 2 – Концептуальна модель системи ТОіР СДМ РТ

Попередній етап включає в себе 3 стадії, які проводяться для СТЗ один раз під час проектування стратегії і більше не повторюються за весь термін служби.

Стадія аналізу несправностей полягає у визначенні та аналізі умов і факторів, які призводять або можуть призвести до виникнення повної або часткової втрати функцій, зниження ефективності роботи технічної системи, погіршення безпеки або інших важливих властивостей, які в наслідку призводять до ТОіР механізму.

На наступній стадії визначається множина діагностичних параметрів, що дозволяють однозначно визначити конкретну несправність механізму.

Для кожного діагностичного параметра розробляються технології проведення діагностування і засоби, які можуть бути застосовані для діагностики. Діагностика може бути проведена за допомогою технічних засобів, автоматично (вбудоване тестування) або шляхом введення спеціальної процедури контролю до початку роботи системи або механізму, а також, при технічному обслуговуванні.

Центральним елементом моделі виступає етап прогнозування. Прогноз

є оцінкою часу до відмови та ймовірності одиничної або множинної відмови внаслідок несправностей (пошкоджень), що мають місце тепер, або очікуються у майбутньому. Прогноз ґрунтується на підтверджених досвідом знаннях щодо процесів розвитку несправностей різного виду. Завдання прогнозу – дати користувачеві можливість оцінити залишковий ресурс машини з достатнім ступенем вірогідності. Прогноз також може бути використаний для прийняття рішення, що дозволяє запобігти можливій відмові, продовжити термін експлуатації машини, або просто для використання наявного резерву часу, для підготовки до відмов, що насуваються. Ефективність прогнозу залежить від того, наскільки добре відомі й описані моделлю види несправностей і відмов для машин даного виду, як вони залежать від терміну служби і конструктивного виконання конкретної машини, яким чином вони розвиваються у часі.

Прогнозування дозволяє визначати:

- час настання майбутньої відмови;
- елементи, в яких можлива відмова;
- кількість і характер відмов у майбутньому (планувати роботи в майбутньому).

У дослідженні запропоновано два методи прогнозування – аналітичний і ймовірнісний. При аналітичному прогнозуванні результати представляються в тій самій розмірності, що і діагностичні параметри, тобто мета прогнозування – обчислення передбачуваних значень діагностичних параметрів у заплановані моменти часу.

Аналітичне прогнозування реалізується в такий спосіб – діагностичний параметр, що характеризує технічний стан СДМ РТ, змінюється у часі за монотонною функцією. Значення діагностичного параметра відомо в інтервалі t_1 , в результаті прогнозу за відомими значеннями діагностичних параметрів $D_i(t_1) \dots D_i(t_n)$ потрібно знайти значення параметра $D_i(t_n + m)$ і за цими результатами визначити часовий інтервал працездатного стану виробу у майбутньому.

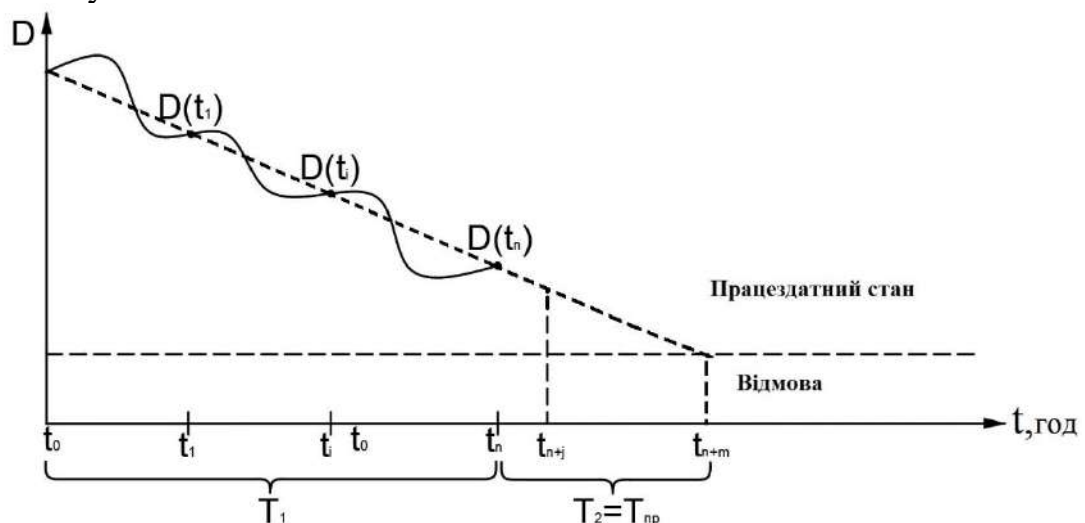


Рисунок 3 – Аналітичний прогноз визначення моменту переходу системи у стан відмови

На рисунку 3 представлена апроксимація діагностичного параметра D поліномом 1го ступеня. Тому з аналізу цих даних можна отримати час досягнення діагностичним параметром критичного значення t_{n-m} , а також час найближчого діагностування t_{n-j} .

Вирішення цього завдання базується на методах чисельного аналізу: функцію $D_i(t)$ замінюють функцією $A(t)$ таким чином, що на інтервалі часу (t_1, \dots, t_n) виконується умова рівності цих функцій:

$$D_i(t) - A(t) \leq \varepsilon_m \quad \forall t_1 \leq t \leq t_n \quad (1)$$

де: ε_m – наперед задані позитивні числа;

$A(t)$ – алгебраїчний багаточлен.

Коефіцієнти багаточлена визначаються методом найменших квадратів:

$$\sum_{j=1}^J [D_i(t_j) - A(t_j)]^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

Прогнозування зміни значення того чи іншого діагностичного параметра у часі виконується на основі регресійного аналізу. Визначивши 1-у та 2-у похідні $\frac{d'D_i}{dt}$ і $\frac{d''D_i}{dt}$ та прирівнявши їх до «0», можна виявити критичні точки функції, що є точками зародження і розвитку відповідної несправності.

Прогноз може бути складений за одним або кількома діагностичними параметрами. Багатофакторний аналіз включає в себе одночасне використання відповідних даних однією системою моніторингу. Такий спосіб аналізу кращий при прогнозуванні технічного стану, оскільки дозволяє не тільки спостерігати окремі контрольовані параметри, але і зіставляти їх зміни. Особливо це важливо, коли є підстави припускати взаємозв'язок між різними контрольованими параметрами, як, наприклад, між віброшвидкістю, температурою підшипника і в'язкістю масла (рисунок 4).

Принциповою відмінністю між стандартною процедурою аналізу набору параметрів у процесі моніторингу і багатофакторним аналізом з метою діагностування є те, що в останньому випадку часто необхідно відкладати дані за єдиною віссю, що б показала ступінь розвитку несправності. Як простий приклад за такою віссю можна відкладати відсоток виробленого ресурсу, коли 0 % відповідають машині, не введеної в експлуатацію, а 100 % – машині після її відмови. У цьому випадку параметри, значення яких при відмові падають до нуля (такі як витрата або тиск рідини), повинні бути інвертовані.

При складанні прогнозу важливо, щоб для кожного використаного параметра у багатофакторному аналізі, було відомо:

– початкове значення, відповідне залишковому ресурсу 100 % (виробленому ресурсу 0 %) або новій машині (вузли);

- кінцеве значення, відповідне залишковому ресурсу 0 % (виробленому ресурсу 100 %) або машині (вузли) після відмови;
- яким чином зміна параметра пов'язано з настанням відмови даного виду і скороченням часу до відмови.

У роботі запропоновано метод визначення періоду наступного діагностування як момент часу, коли хоча б один з діагностичних параметрів досягає критичного значення (незадовільного стану).

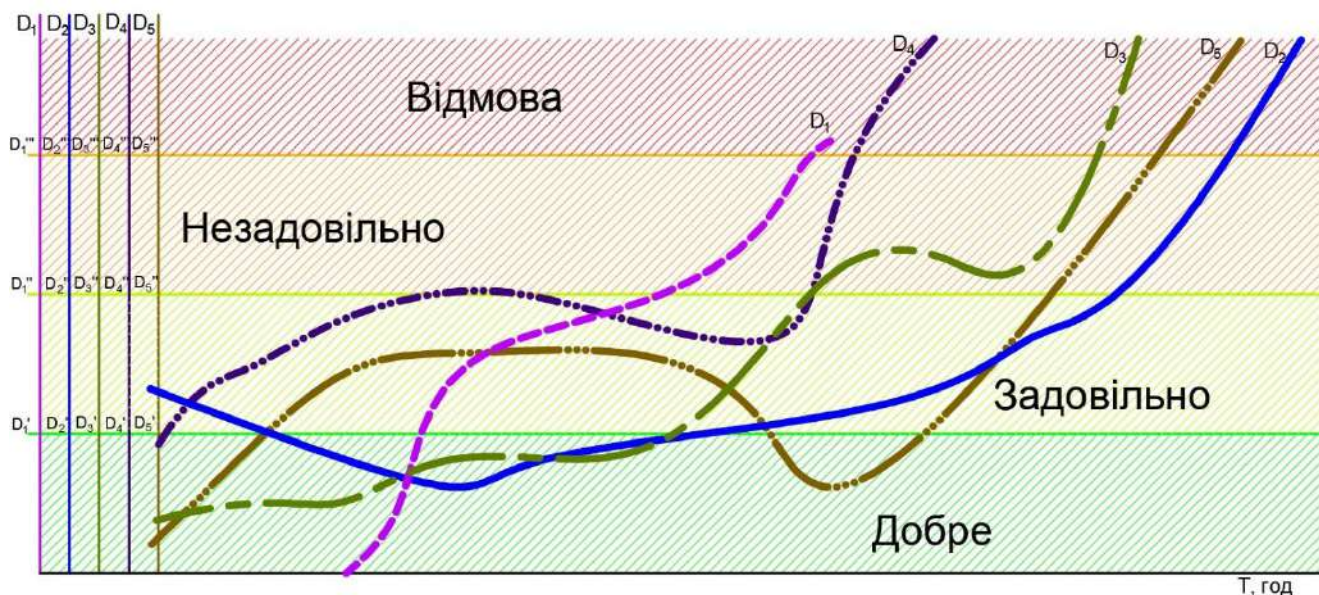


Рисунок 4 – Приклад одночасного відображення декількох параметрів відцентрового насоса НЦВ:

T – незалежний параметр, год; D – залежні контролюємі параметри

В силу випадкового характеру процесів, що протікають у системі кількісний прогноз стану підпорядковується випадковим закономірностям. Прогнозуючі оцінки завжди мають детерміновану і випадкову складові.

$$D_i(t + T_{\text{пр}}) = D_{i_{\text{дет}}}(t + T_{\text{пр}}) + D_{i_{\text{сл}}}(t + T_{\text{пр}}) \quad (3)$$

де: D_i – діагностичний параметр (віброшвидкість, потужність тощо);

t – поточний час;

$T_{\text{пр}}$ – час прогнозу.

У результаті кількісної оцінки здійснюються наступні дії:

- розраховується періодичність проведення технічного діагностування;
- визначається оптимальна сукупність діагностичних параметрів;
- коригується алгоритм перевірки технічного стану;
- розраховуються обсяги змінно-запасних частин;
- плануються роботи з ТОіР.

Ймовірнісне прогнозування полягає в обчисленні ймовірності того, що діагностичний параметр у майбутньому вийде (або не вийде) за межі допуску.

Методи ймовірнісного прогнозування базуються на використанні математичного апарату теорії випадкових функцій. Якщо для контрольованого параметру $D_i(t)$ відома його функція розподілу, то можна визначити ймовірність попадання значення функцій $D_i(t)$ у будь-який заданий інтервал осі D_i .

$$P[D(t) < D_{\text{доп}}] = \int_{-\infty}^U \omega_t(D) dU \quad (4)$$

$$\omega(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_t(V)} \cdot e^{-\frac{((D(t))-\bar{D}(t))^2}{2\sigma_t^2(V)}} \quad (5)$$

$$\bar{D}(t) = \sum_{i=1}^n D_i P_i \quad (6)$$

$$\sigma_t(D) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2 P_i} \quad (7)$$

Таким чином, у певному класі задач визначення щільності розподілу щільності діагностичного параметру зводиться до прогнозування зміни двох величин D_i і \bar{D}_i .

Перехід з одного технічного стану в інший є випадковим процесом і притаманний СДМ РТ, як об'єкту технічного діагностування. Марківський процес представляється реалістичною і зручною моделлю такого процесу, що дозволяє зв'язати ймовірнісні характеристики переходів з параметрами СДМ РТ як об'єкта технічного діагностування. Нехай $P(S_i)$ – ймовірність знаходження системи в i -му стані. Відповідно до даної моделі система може перебувати в одному зі станів:

- S_1 – добре;
- S_2 – задовільно;
- S_3 – незадовільно;
- S_4 – відмова.

Як випадковий процес з дискретними станами і безперервним часом, характеристиками переходів є інтенсивність переходів (λ_{ij}) (рисунок 5).

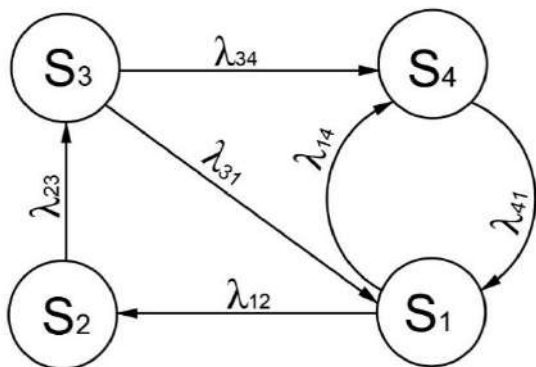


Рисунок 5 – Графік стану процесу

Випадковий процес зміни технічних станів зручно представити як перехід зі стану в стан, що наразі триває під впливом потоків подій, тоді процес моделювання буде Марківським, якщо ці потоки подій без наслідків і з постійною інтенсивністю. Потік ймовірностей переходу системи з одного стану в інший - це величина, що чисельно дорівнює $\lambda_{ij} \cdot P(S_i)$.

При цьому:

$$\sum_{i=1}^4 P_i(t) = 1 \quad (8)$$

Знаходження $P_i(t)$ здійснюється рішенням системи диференціальних рівнянь такого вигляду:

$$\frac{\delta P_i(t)}{\delta t} = \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} \cdot P_j(t) - P_i(t) \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} \quad (9)$$

де: λ_{ij} – інтенсивність переходу з S_i в S_j .

Якщо під час опису Марківського процесу припустити, що з моменту переходу виробу у стан S_i до переходу у S_j випадковий час перебування виробу у стані S_j підпорядковується безпідставному розподілу $F_{ij}(t)$, то такий процес називається напівмарківським або неоднорідним Марківським процесом, а моделювання цього процесу напівмарківською моделлю. Напівмарківські моделі дозволяють значно повніше описати процеси зміни станів у реальних системах з періодичним контролем. Формальний опис напівмарківського процесу зводиться до наступного: є кінцева множина станів S переходу зі стану S_i у стан S_j відбуваються у випадкові моменти часу. Всі стани, пов'язані у Марківський ланцюг, характеризуються вірогідністю переходу P_{ij} , і утворюють матрицю P . Перехід у S_i здійснюється в момент часу t_k , а наступний t_{k+1} , то проміжок позначається $\tau(i, j) = t_{k+1} - t_k$ і задається сімейством функцій розподілів значень інтервалів часу перебування в i -му стані, таким чином кожній парі індексів i, j відповідає розподіл $F_{ij}(t)$, що $P(\tau(i, j) \leq t)$. Тобто на відміну від Марківського процесу напівмарківський задається двома матрицями $\|P_{ij}\|, \|F_{ij}\|$ – ймовірність переходу з $P(S_i)$ у $P(S_j)$.

Є можливість задати напівматриці однією матрицею:

$$Q = \|q_{ij}\|(t) \quad (10)$$

Де $\|q_{ij}\|(t)$ являють собою ймовірність того, що з початкового стану S_i система переходить у стан S_j і час її перебування у стані S_i не перевищить величини t .

У **третьому розділі** «Впровадження стратегії технічного обслуговування і ремонту на прикладі відцентрового насосу НЦВ 63/30» представлені результати перевірки запропонованої моделі та методів на прикладі відцентрового суднового насоса.

Для експериментальної перевірки достовірності запропонованих моделі і методів в дисертації розроблено стратегію ТОіР відцентрового насосу НЦВ 63 / 30.

Суднові відцентрові вертикальні насоси НЦВ застосовуються для перекачування морської і прісної води з температурою до + 85 °С, розсолу. І

призначені для кораблів, суден, плавзасобів усіх класів, типів і призначень. Також насоси НЦВ можуть застосовуватися у наземних установках без пред'явлення до них специфічних суднових вимог. Матеріал проточної частини: бронза; подача 63 м³ / год; напір 30 м; потужність комплектуючого електродвигуна – 11 кВт.

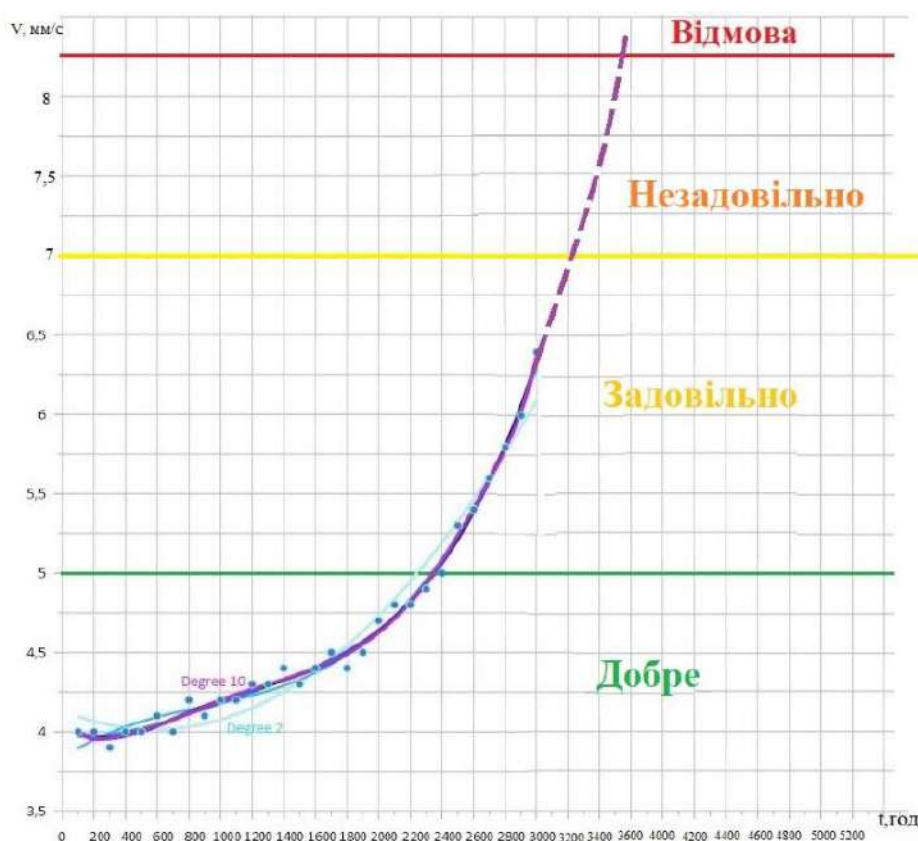
Технічний стан насосів контролюється за рівнем ударних імпульсів, вібрації, перегріву підшипників, зниження подачі (напору), зміни струму електродвигуна приводу, місцевим зменшення товщини корпусу і результатами огляду робочого колеса ендоскопом. Досягнення гранично допустимого значення хоча б одним з параметрів говорить про необхідність проведення технічного обслуговування насосу.

У таблиці 1 подано перелік характерних відмов і діагностичних параметрів, для НЦВ 63 / 30, що дозволяють діагностувати несправність: «+» позначено наявність безпосереднього зв'язку між відповідним діагностичним параметром і пошкодженням, «-» – відсутність такого зв'язку.

В якості діагностичного параметра, зміна якого аналізується, обрано віброшвидкість (мм/с). При цьому в якості апроксимуючої функції обрано поліноміальну модель ступенем від 2 до 10, розраховану за допомогою повнофункціонального пакету для побудови наукових графіків Grapher (рисунок 6).

Таблиця 1– Характерні відмови відцентрових насосів і причини їх появи

№ шп	Несправність	Діагностичний параметр							
		Ударні імпульси, дБ	Вібрація, мм/с	Подача, напору	Температура підшипника, °С	Сила току, А	Протікання через сальник	Зменшення товщини корпусу в характерній точці	Підвищення тиску всмоктування, МПа
1.	Пошкодження підшипника кочення	+	-	-	-	-	-	-	-
2.	Пошкодження підшипників ковзання	-	+	-	+	-	-	-	-
3.	Ерозія робочого колеса	-	+	+	-	-	-	-	-
4.	Занесення колеса	-	+	+	-	+	-	-	-
5.	Кавітація насоса	+	+	+	-	-	-	-	-
6.	Знос внутрішніх ущільнень	-	-	+	-	+	-	-	-
7.	Пошкодження валу	-	+	-	-	-	-	-	-
8.	Пошкодження сполучної муфти	-	+	-	-	-	-	-	-
9.	Внутрішні пошкодження корпусу (кавітаційне руйнування)	-	-	-	-	-	-	+	-
10.	Кріплення насоса	-	+	-	-	-	-	-	-
11.	Відсутність необхідного вакууму	-	-	-	-	-	-	-	+
12.	Знос сальника	-	-	-	-	+	+	-	-



a_0	4.328
a_1	-0.55
a_2	0.312
a_3	-0.091
a_4	0.0159
a_5	-0.0017
a_6	0.0001
a_7	-5.269
a_8	1.433
a_9	-2.191
a_{10}	1.439

Рисунок 6 – Поліноміальна модель

Вид поліноміальних залежностей:

$$V = \left(\left(\left(\left(\left(a_{10} + \frac{t}{100} + a_9 \right) \frac{t}{100} + a_8 \right) \frac{t}{100} + a_7 \right) \frac{t}{100} + \dots + a_1 \right) \frac{t}{100} + a_0 \right) \quad (11)$$

Аналіз значень коефіцієнтів полінома показує, що використання в даній задачі ступеня апроксимації більше 3 не має сенсу.

З метою підвищення ефективності практичного впровадження стратегії технічного обслуговування і ремонту на судах в роботі запропоновано використання Computerized Maintenance Management System (CMMS) – комп'ютеризована система управління технічним обслуговуванням. У процесі функціонування СДМ РТ система підтримує стадію експлуатації, ТОіР. Система забезпечує вирішення завдання підтримки працездатності механізму шляхом виконання наступних функцій: склад і ієрархічна структура обладнання, склад запасних частин і матеріалів, трудові ресурси, профілактичне обслуговування, оперативний план робіт, потреба у запчастинах і матеріалах, заявки на постачання, наряд-замовлення на роботи, реєстрація відмов, дефектів і реактивних робіт, облік і контроль витрат, облік і контроль виконання робіт, стандартна і спеціальна звітність з ТОіР. За базу для системи використаний програмний комплекс TRIM (Targets Related Infrastructure Management), що знайшов в останні роки широке поширення на різних промислових підприємствах, в тому числі судноремонтних.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дисертаційного дослідження вирішена задача оцінки прогнозу стану суднового технічного засобу у процесі експлуатації.

Головні висновки, наукові та практичні результати роботи:

1. Проаналізовано діючі системи технічного діагностування суднових допоміжних механізмів ротаційного типу, технології діагностування та сучасне обладнання. Підтверджена економічна доцільність впровадження для таких типів механізмів стратегії ТОіР «за станом» за умови впровадження науково-обґрунтованої системи прогнозування зародження та розвитку несправностей в процесі експлуатації суднових технічних засобів.

2. Розроблено концептуальну модель стратегії ТОіР суднових технічних засобів, основою якої є етап прогнозування, впровадження якого дозволяє підвищити ефективність управління технічним обслуговуванням та ремонтом механізмів ротаційного типу.

3. Удосконалені аналітичний та ймовірнісний методи обробки результатів технічного діагностування СДМ РТ, що дозволить визначати час зародження і розвитку несправностей суднових машин і механізмів.

4. Достовірність запропонованих моделі і методів доведена шляхом експериментальної перевірки на прикладі відцентрового насосу НЦВ 63 / 30 пожежної системи буксира.

5. Спроектована комп'ютеризована система управління технічним обслуговуванням і ремонтом судна, що підтримує стадію експлуатації і ремонту та дозволяє використовувати стратегію «за станом» з елементами прогнозування зародження на розвитку несправностей.

6. Результати дослідження впроваджені на ПрАТ «Іллічівський судноремонтний завод»; використовуються у навчальному процесі та у науково-дослідних роботах кафедри Технічне обслуговування і ремонт суден Одеського національного морського університету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані результати дисертації:

1. Шахов А. В., Россомаха О. І., Россомаха О. А. Річковий транспорт в Україні // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті – 2019. – № 3(68). – С. 5–15. – ISSN: 2226 – 1915. – DOI: 10.31375/2226-1915-2019-3-5-15 (*Фахове видання*).

2. Shakhov A. V., Rossomakha O. I., Sherstyuk O. I., Rossomakha O. A. Risk-oriented safety management strategy on inland waterways of Ukraine // Розвиток транспорту – 2019. - №2(5). – С. 67 – 85. – ISSN: 2616-7360 – DOI: 10.33082/td.2019.2-5.01 (*Фахове видання*).

3. A. Shakhov, V. Pitera, O. Sherstiuk, O. Rossomakha and A. Rzhеuskyi Management of the Technical System Operation Based on Forecasting its "Aging" // Proceedings of the 1st International Workshop IT Project Management (ITPM

2020), Ukraine, February 18-20, 2020. CEUR Workshop Proceedings 2565, 2020, pp. 130-141. ISSN: 1613 – 0073 (*індексується в наукометричних базах: SCOPUS*).

4. Россомаха О. І. Концептуальна модель системи технічного обслуговування і ремонту складних технічних систем // Розвиток транспорту – 2020. - №1(6). – С. 56 – 70. – ISSN: 2616 – 7360 – DOI: 10.33082/td.2020.1-6.05 (*Фахове видання*).

5. Пизинцали Л. В., Александровская Н. И., Россомаха О. І., Никифоров Ю. А., Шахов В. И., Рабочая Т. В. Принципы формирования системы экологического менеджмента предприятия по утилизации морских судов в Украине // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2020. – №1(29). –С. 83 – 96 – ISSN 2226-8553 – DOI: 10.33298/2226-8553/2020.1.29.10. (*Фахове видання*).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Россомаха О. І. Аналіз проблем і перспективи розвитку річкового транспорту в Україні // Міжнародна науково-практична конференція, присвячена пам'яті професорів Фоміна Ю.Я. і Семенова В.С. – Одеса: 2019 р. – С. 399 – 401.

7. Россомаха О. І., Россомаха О. А. Анализ стратегий ТОиР сложных технических систем // II міжнародна науково-практична морська Конференція Кафедри СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету (mrr&o-2020) – С. 52 – 56.

8. Россомаха О. І., Россомаха О. А. Стратегии технического обслуживания и ремонта сложных технических систем // IX Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та молодих вчених «Проблеми і перспективи розвитку транспорту» 23 квітня 2020 р. – С. 104 – 107.

9. Россомаха О. І. Аналіз методів управління життєвим циклом судна // Міжнародна науково-технічна конференція ОНМУ «100 років вищої морської освіти в Україні» – Одеса: 2018 – С. 79.

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

10. Пизинцали Л. В., Россомаха О. І., Александровская Н. И., Шахов В. И. Анализ влияния современных экологических требований на топливный рынок мирового судоходства // Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва: міжгалузеві диспути. IV Міжнародна науково-практична інтернет-конференція – Київ: 15 травня, 2020р. – С. 353 – 360.

11. Пізінцали Л. В., Александровська Н. И., Рабочая Т.В., Россомаха О. І., Россомаха О. А., Федченко О. В. Передумови, щодо створення утилізаційного підприємства в Україні для утилізації засобів водного транспорту // Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та

виробництва: міжгалузеві диспути. Міжнародна науково-практична інтернет-конференція – Київ: 13 листопада, 2020р. – С. 608 – 618.

12. Калиниченко Е.В., Хоробрых В.Г., Россомаха Е.И. Особенности буксировки судов в ледовых условиях // VI International Scientific and Practical Conference «About the problems of science and practice, tasks and ways to solve them» Milan, Italy: October 26-30, 2020 – С. 588 – 591.

13. Пізінцалі Л. В., Александровська Н. І., Россомаха О. І., Рабоча Т. В., Малишкін О. В., Булгаков Р. В. Допуски і посадки (частина 1). Навчальний посібник з прикладами задач професійної спрямованості // Херсон «ОЛДІ-ПЛЮС», 2020. – 224 с. ISBN 978-966-289-347-2

14. Пизинцали Л. В., Александровская Н. И., Рабочая Т. В., Россомаха Е. И. Эталоны. Конспект лекции // Херсон «ОЛДІ-ПЛЮС», 2019. – 68 с. ISBN 987-966-289-316-8

15. Пізінцалі Л. В., Александровська Н. І., Рабоча Т. В., Россомаха О. І. Фізичні величини та одиниці квантової системи SI. Конспект лекції // Херсон «ОЛДІ-ПЛЮС», 2019. – 68 с. ISBN 978-966-289-264-2

16. L. Pizintsali, N. Alexandrovskaya, O. Rossomakha, O. Moskaiuk, S. Nikul, T. Rabochaya, I. Tashnychenko The international system of measuring units (SI). Reference materials. Херсон «ОЛДІ-ПЛЮС», 2020. – 60 p. ISBN 978-966-289-189-8

17. Авторське право на твір №98864. Навчальний посібник з прикладами задач професійної спрямованості «Допуски і посадки». 2020.

18. Авторське право на твір №98866. Науковий твір «Конспект лекції англійською мовою «The international system of measuring units (SI)». 2020.

АНОТАЦІЯ

Росомаха О.І. Удосконалення стратегії технічного обслуговування і ремонту суднових допоміжних механізмів ротаційного типу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». – Одеський національний морський університет Міністерства освіти і науки України. – Одеса, 2021.

У судноремонті застосовують змішану стратегію ремонту, а також післяоглядову планово-попереджувальну стратегію ремонту та технічного обслуговування суден. Їх використання регламентується «Правилами ремонту», «Правилами Класифікаційного суспільства» і керівними технічними матеріалами з технічного обслуговування і ремонту суден.

Для реалізації обслуговування технічних об'єктів необхідні методи і засоби технічного діагностування, що дають можливість безперервно або періодично визначати дійсний стан об'єкта.

У дисертаційній роботі проведено аналіз стратегій технічного обслуговування і ремонту суднових технічних засобів з метою

відпрацювання видів ремонту в залежності від вимог до безпеки експлуатації. Проаналізовано усі види документів, щодо організації робіт з ТОіР.

Здійснено аналіз існуючих моделей і методів оцінки фактичного стану, прогнозування його зміни у процесі функціонування.

Запропонована загальна схема суднових допоміжних механізмів ротаційного типу.

У дослідженні на основі двох методів прогнозування – аналітичного і ймовірнісного, розроблено концептуальну модель стратегії технічного обслуговування і ремонту суднових допоміжних механізмів ротаційного типу.

Представлені результати перевірки запропонованої моделі та методів на прикладі відцентрового суднового насоса.

Прогнозування зміни значення того чи іншого діагностичного параметра у часі виконується на основі регресійного аналізу.

Прогноз може бути складений за одним або кількома параметрами. Багатофакторний аналіз включає в себе одночасне використання відповідних даних однією системою моніторингу.

З метою підвищення ефективності практичного впровадження стратегії технічного обслуговування і ремонту на судах в роботі запропоновано використання Computerized Maintenance Management System (CMMS) – комп'ютеризована система управління технічним обслуговуванням.

Результати дослідження становлять удосконалену концептуальну модель технічного обслуговування і ремонту суднових допоміжних механізмів роторного типу для уточнення методів прогнозування.

Ключові слова: стратегія ремонту, прогнозування технічного стану, моделі та методи, суднові допоміжні механізми роторного типу.

АННОТАЦІЯ

Россомаха Е.И. Совершенствование стратегии технического обслуживания и ремонта судовых вспомогательных механизмов ротационного типа – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 «Эксплуатация и ремонт средств транспорта». - Одесский национальный морской университет Министерства образования и науки Украины. - Одесса, 2021.

В судоремонте применяют смешанную стратегию ремонта, а также послеосмотровую планово-предупредительную стратегию ремонта и технического обслуживания судов. Их использование регламентируется «Правилами ремонта», «Правилами Классификационного общества» и

руководящими техническими материалами по техническому обслуживанию и ремонту судов.

Для реализации обслуживания технических объектов необходимые методы и средства технического диагностирования, позволяющие непрерывно или периодически определять истинное положение объекта.

В диссертационной работе проведен анализ стратегий технического обслуживания и ремонта судовых технических средств с целью отработки видов ремонта в зависимости от требований к безопасности эксплуатации. Проанализированы все виды документов, по организации работ по ТОиР.

Осуществлен анализ существующих моделей и методов оценки фактического состояния, прогнозирования его изменения в процессе функционирования.

Предложенная общая схема судовых вспомогательных механизмов ротационного типа.

В исследовании на основе двух методов прогнозирования – аналитического и вероятностного, разработана концептуальная модель стратегии технического обслуживания и ремонта судовых вспомогательных механизмов ротационного типа.

Представлены результаты проверки предложенной модели и методов на примере центробежного судового насоса.

Прогнозирование изменения значения того или иного диагностического параметра во времени выполняется на основе регрессионного анализа.

Прогноз может быть составлен по одному или нескольким параметрам. Многофакторный анализ включает в себя одновременное использование соответствующих данных одной системой мониторинга.

С целью повышения эффективности практического внедрения стратегии технического обслуживания и ремонта на судах в работе предложено использование Computerized Maintenance Management System (CMMS) - компьютеризированная система управления техническим обслуживанием.

Результаты исследования составляют усовершенствованную концептуальную модель технического обслуживания и ремонта судовых вспомогательных механизмов роторного типа для уточнения методов прогнозирования.

Ключевые слова: стратегия ремонта, прогнозирование технического состояния, модели и методы, судовые вспомогательные механизмы роторного типа.

ABSTRACT

Rossomakha O.I. Improvement of Maintenance and Repair Strategy of Ship's Rotary Auxiliary Machinery. – As a Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree (PhD) in Technical Sciences. Specialty 05.22.20 – Operation and Repair of Means of Transport. – Odesa National Maritime University, Ministry of Education and Science of Ukraine. – Odesa, 2021.

It is notable that mixed repairs, post-inspection action planning and risk warning strategies for repair and maintenance are applied in the ship repair industry. Their use is regulated by the “Repairs and Maintenance Policy Guidance”, “Regulations of Classification Societies” and other relevant ship’s guidance documents.

To implement the maintenance of machineries, methods and means of technical diagnostics are needed. This offers the possibility of continuous or periodical determining the current state of the machinery.

The thesis deals with the analysis of maintenance and repair strategies of ship’s machineries to highlight the forms of repairs depending on the safety requirements. All the documents related to the organization of maintenance have been analyzed.

The study of existing models and methods of assessment of an actual state and prediction of its change while in operation has been specified.

In addition, the general scheme of ship’s rotary auxiliary machinery has been elaborated.

The research is based on two prediction methods. They are analytical and probabilistic. The conceptual model of the maintenance and repair strategy of ship auxiliary machinery of rotary type has been developed.

The verification of the proposed model and methods on the example of a centrifugal pump has been submitted.

Furthermore, the prediction of value changes of this or that diagnostic parameter in time is carried out on the basis of the regression analysis.

This prediction is provided by one or several parameters. It should be mentioned that multivariate analysis involves the simultaneous use of relevant data by a single monitoring system.

In order to increase the efficiency of the practical implementation of the maintenance and repair strategy of ships we have used the Computerized Maintenance Management System (CMMS).

The obtained results represent the improved conceptual model of maintenance and repair of ship’s rotary auxiliary machinery to refine prediction methods.

Keywords: repair strategy, predictive maintenance, models and methods, ship’s rotary auxiliary machinery.