

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**РОССОМАХА Олена Ігорівна**

УДК 629.5.083.4

**ДИСЕРТАЦІЯ**

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

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела

**Олена РОССОМАХА**

Науковий керівник: Шахов Анатолій Валентинович – доктор технічних наук,  
професор

*Перший примірник дисертації є ідентичним за  
змістом зі всіма іншими примірниками*

Вчений секретар  **Олексій ДРОЖЖИН**

Одеса – 2021

## АНОТАЦІЯ

**Россомаха 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.

## АННОТАЦИЯ

**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 shiprepair 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.

## **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. Rzhenskyi 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. И., 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. И., 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. Пізінцалі Л. В., Александровська Н. І., Рабоча 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.

ЗМІСТ	С
<b>ВСТУП</b> .....	<b>11</b>
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СТРАТЕГІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ Й РЕМОНТУ СУДНОВИХ ДОПОМІЖНИХ МЕХАНІЗМІВ РОТАЦІЙНОГО ТИПУ</b> .....	<b>17</b>
1.1 Стратегії управління експлуатацією суднових технічних засобів .....	17
1.2 Міжнародні стандарти з управління технічним станом механізмів.....	25
1.3 Методи діагностування суднових допоміжних механізмів ротаційного типу .....	29
1.4 Постановка мети і задач дослідження.....	45
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ Й РЕМОНТУ СУДНОВИХ ДОПОМІЖНИХ МЕХАНІЗМІВ</b> .....	<b>48</b>
2.1 Аналіз принципу дії, сфери застосування та основних пошкоджень механізму .....	48
2.2 Концептуальна модель управління стратегією технічного обслуговування і ремонту .....	57
2.3 Методи прогнозування зародження та розвитку несправностей.....	64
2.4 Марківські процеси переходу системи між рівними технічними станами.....	75
2.5 Висновки до розділу 2.....	86
<b>РОЗДІЛ 3 ВПРОВАДЖЕННЯ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ НА ПРИКЛАДІ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ НЦВ 63 /30</b> .....	<b>88</b>
3.1 Прогнозування строків виконання робіт з технічного обслуговування й ремонту шляхом регресійного аналізу.....	88
3.2 Комп'ютерні системи управління технічним обслуговуванням і ремонтом – Computerized Maintenance Management System .....	93
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	<b>100</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	<b>101</b>
<b>ДОДАТКИ</b> .....	<b>114</b>

## ВСТУП

**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. Эндреніта 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:

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

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

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 багатофакторного аналізу комплексу діагностичних параметрів системи, що дозволяє визначити відповідність для кожної несправності унікальної множини діагностичних параметрів.

*Вдосконалено:*

- систему управління роботами з ТОіР 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.



# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СТРАТЕГІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ Й РЕМОНТУ СУДНОВИХ ДОПОМІЖНИХ МЕХАНІЗМІВ РОТАЦІЙНОГО ТИПУ

### 1.1 Стратегії управління експлуатацією суднових технічних засобів

Судновласники і оператори, так і галузь в цілому з метою безпеки всього судноплавства вимагає високопрофесійних фахівців для роботи на судах. Незважаючи на цю потребу, фінансові реалії і світова економічна криза говорять про те, що в галузі повсюдно скорочуються бюджети і це «грає» на шкоду якості. Згідно з результатами опитування про фактично витратах, пов'язаних з експлуатацією приблизно 3 тисяч 200 суден, витрати на екіпаж складають близько 60% від експлуатаційних витрат. А вони ростуть на тлі високого попиту на робочу силу і обмеженої пропозиції, а також необхідності дотримання роботодавцями вимог, що стають більш жорсткішими. Ті компанії, які в основному займаються експлуатацією танкерів, хімовозів і газовозів – стикаються з перспективою росту витрат при прийомі на роботу професійного екіпажу. Не секрет, що останнім часом вони почали заощаджувати на екіпажах: від скорочень робочих одиниць - до зарплати і забезпечення. [1]. Такий підхід призводить до зниження безпеки і зростання аварійності флоту.

За класифікацією Регістру судноплавства України суднами вважаються самохідні або несамохідні плавучі споруди, що використовується в цілях судноплавства, зокрема судна змішаного (річка-море) плавання, пороми, вонботи, днопоглиблювальні й дноочисні снаряди, плавучі крани, населені підводні апарати і глибоководні водолазні комплекси, плавучі бурові установки тощо. [2]

Отже, судно – це складна система, але серед усієї різноманітності систем на ньому, найбільше застосування знайшли роторні механізми. До них відносять парові турбіни, компресори, гідронасоси, гідромотори і т. і.

Незважаючи на різноманітність призначення, складу і умов використання все складні технічні систем володіють деякими основними загальними властивостями, що дозволяють об'єднати їх в один клас. До таких загальних властивостей відносяться цілісність, емерджентність, ієрархічність і кінцівку.

Цілісність передбачає цілеспрямовану роботу всіх компонентів СТЗ як єдиного цілого для виконання системою її призначення.

Емерджентність визначає появу у СТЗ властивостей, які не притаманні її компонентам і викликані неадитивну характеристику системи, нелінійністю зв'язків між характеристиками системи і характеристиками її компонентів.

Ієрархічність структури СТЗ розуміється як можливість представлення системи частиною суперсистеми більш високого рівня ієрархії, а будь-якій частині системи - як системи більш низького рівня.

Кінцівка СТЗ вказує на кінцівку потрібних для її створення ресурсів, тобто принципову її реалізація.

Крім цих властивостей СТЗ притаманні складність, висока вартість, багатоцільовий характер.

Складність СТЗ визначається великим числом її можливих станів. У вартість включаються витрати на створення, виробництво і експлуатацію. Багатоцільовий характер СТЗ призводить до необхідності характеризувати її властивості рядом показників, вимоги до яких нерідко виявляються суперечливими.

Серед основних напрямків вирішення проблем, що виникають при аналізі стратегії ТОiP технічних систем, можуть бути виділені:

- підвищення надійності роботи обладнання;
- зниження ризиків відмов;
- перехід на систему попереджувального обслуговування вибір необхідної и достатньої кількості параметрів, что адекватно описують стан

об'єкту, встановлення області допустимих значень цих параметрів, що забезпечують нормальне Функціонування об'єкту; [3]

- вибір методу і засобів вимірювання визначальних параметрів; [3]
- побудова аналітичних моделей деградаційних змін параметрів зміни технічного стану при експлуатації об'єктів; [3]
- оцінка кількісних показників експлуатаційної надійності при обраній стратегії ТОіР; [3]
- розробка алгоритму прогнозування стану об'єкту на заданий інтервал часу або до досягнення певного критичного значення параметрів технічного стану; [3]
- розробка алгоритму ухвалення рішення про продовження експлуатації об'єкту або зняття його з експлуатації для ТОіР, можливо автоматизовано або за допомогою експертних систем; [3]
- зниження (або виключення) пошкоджуваності елементів ТЗ в умовах експлуатації;
- можливість оперативного ремонту або відновлення працездатності ТЗ в умовах експлуатації;
- скорочення часу, трудомісткості і матеріальних засобів на ремонт ТЗ.

У світі існує велика кількість стратегій відновлення і ремонту технічних систем.

Методи дослідження складних систем представлені на рисунку 1.1.

Далі, для проведення повноцінного дослідження слід визначитися з термінологією, яка використовується в науці і техніці і має відношення в системі ТОіР.

Складна система. Під складною технічною системою будемо розуміти сукупність функціонально пов'язаних різнорідних пристроїв, призначених для виконання спільних функцій і вирішення поставлених перед системою завдань. Складна система складається з великого числа елементів, проте

складність системи в основному визначається зв'язками, що виникають між елементами в процесі роботи системи [4]



Рисунок 1.1 – Методи дослідження складних систем  
(джерело: [4, 5])

В процесі експлуатації складні технічні системи втрачають частково працездатність в результаті відмов елементів, погіршується якість функціонування і знижується вихідний ефект системи, що оцінюється кількістю виробленої продукції або ймовірністю виконання, поставленого завдання протягом заданого інтервалу часу.

Елемент складної системи – частина системи, що виконує певні функції і не підлягає подальшому розчленуванню на частини при даній ступеня подробиці розгляду системи. [6] Наприклад, це можуть бути деталі, вузли, апарати, машини, агрегати, прилади та їх частини, а також прості системи.

Ремонт складної системи можна визначити як комплекс робіт для підтримання та відновлення справності або працездатності системи. [7]

Плановий ремонт – це ремонт, передбачений в нормативної документації і здійснюваний в плановому порядку.

Неплановий ремонт – ремонт, виконання якого обумовлено в нормативної документації, але здійснюваний в неплановому порядку.

Поточний ремонт – ремонт, який здійснюється в процесі експлуатації для гарантованого забезпечення працездатності системи і полягає в заміні і відновленні її окремих частин і їх регулюванню.

Капітальний ремонт – ремонт, який здійснюється для відновлення справності та повного або близького до повного відновлення ресурсу системи із заміною або відновленням будь-яких його частин, включаючи базові, і їх регулюванням. [6]

*Система ТОіР* – планово-попереджувальна, післяосмотровая система. Це означає, що кожен вид обслуговування і ремонту проводиться в терміни, встановлені в результаті оглядів і дефектації. При цьому кожне наступне обслуговування включає всі попередні плюс додатково ускладнює роботу. [8]

Система ТОіР включає в себе основні ланки:

1. Експлуатаційна обкатка;
2. Технічні обслуговування (ТО);
3. Технічний огляд;
4. Ремонт;
5. Зберігання флоту.

Система ТОіР вирішує 3 завдання:

1. використання суден за призначенням;
2. технічне обслуговування суден - комплекс заходів, спрямованих на підтримку технічного стану судна;
3. ремонт суден - відновлення технічного стану суден, яке було втрачено в процесі експлуатації.

Основні керівні документи за технічної експлуатації судна:

- Правила технічної експлуатації річкового і морського транспорту;
- Правила Класифікаційних товариств;

– Правила ремонту суден.

Удосконалення системи ТОіР обумовлено розвитком конструкцій обладнання, технологічного процесу і управлінською структурою на підприємствах. [9]

Принципово можливі кілька різних стратегій ремонту в залежності від вимог до безпеки експлуатації елементів техніки або всього транспортного засобу. Можна виділити основні 5 стратегій ТОіР технічних систем:

1) Ремонт може виконуватися після того, як відбудеться поломка механізму, пристрою або іншого елемента судна. У цьому випадку застосовують стратегію ремонту за потребою (або реактивна). Дана стратегія забезпечує найменші витрати на ремонт, так як замінюють (або ремонтують) тільки ті елементи, які вийшли з ладу. Однак через непрогнозованість виходів з ладу елементів судна можливі непланові стоянки суден на ремонті і зниження безпеки судноплавства.

2) Ремонт може проводитися в заздалегідь встановлені терміни з тим, щоб попередити поломку. У цьому випадку застосовують планово-попереджувальний стратегію ремонту, яка має три різних напрямки: післяосмотрових стратегія, ремонт станом, стандартна планово-попереджувальна стратегія. Післяосмотрових планово-попереджувальна стратегія полягає в тому, що заздалегідь регламентуються терміни проведення ремонтних робіт і їх обсяги. Ці обсяги можуть бути відкоректовані після виконання предремонтної перевірки. Стратегія «ремонт за станом» є подальшим розвитком основної системи і характеризується переходом до визначення стану елементів, вузлів, і деталей судна без їх розбирання на базі діагностування об'єкта.

При стандартній планово-попереджувального стратегії ремонт проводиться в заздалегідь встановлені терміни і в заздалегідь зазначених обсягах. Передбачені до заміни вузли або деталі, обов'язково замінюють незалежно від того, в поганому або хорошому технічному стані вони знаходяться.

3) За станом – аналіз даних за результатами використання коштів безрозбірної діагностики;

4) Проактивний – сучасний розвиток системи ТОіР. Цей тип стратегії ТОіР характеризується виникненням і розвитком довірчого рівня прогнозу, заснованого на продовження міжремонтного ресурсу.

5) Широке поширення набувають змішані стратегії ремонту, при яких для різних елементів однієї і тієї ж технічної системи застосовують різні стратегії: для найбільш відповідальних – стандартна (за відпрацьованим ресурсу), для більшості інших елементів – станом на базі технічного діагностування, для окремих невідповідальних елементів – за потребою. Змішані стратегії забезпечують найбільшу надійність і мінімальні витрати на ремонт, однак широке поширення цих стратегій вимагає створення і впровадження судових бортових діагностичних комплексів.

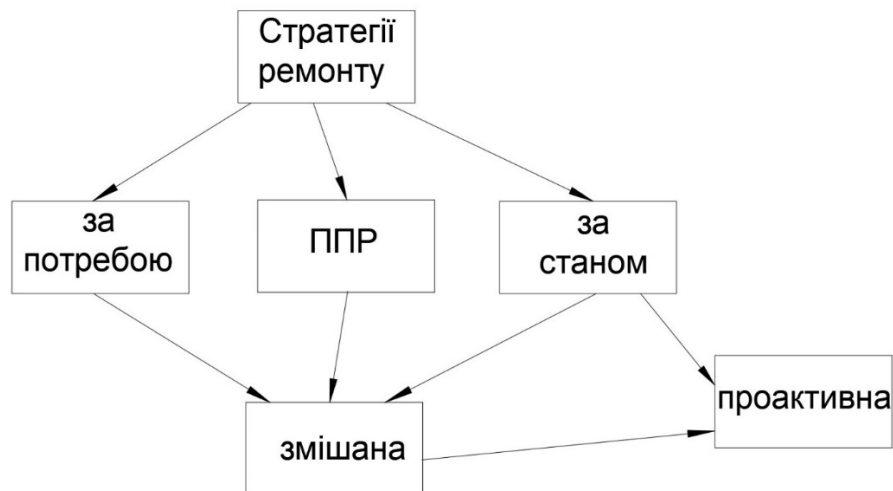


Рисунок 1.2 – Класифікація стратегій ремонту суден  
(розробка автора та [9, 10])

Порівняльний аналіз переваг і недоліків кожної з застосовуваних на практиці стратегій представимо у вигляді таблиці 1.1. [9]

У судноремонті застосовують змішану стратегію ремонту, а також післяосмотрових планово-попереджувальний 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, які дають можливість безперервно або періодично визначати дійсний стан об'єкта.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз стратегій технічного обслуговування і ремонту

Стратегія	Коротка характеристика	Переваги	Недоліки
За потребою	Ремонтні роботи проводяться за фактом дефекту	Відсутність витрат на ТОіР	Велика ймовірність виходу системи з ладу
ППО и ППР	Виконання робіт за регламентом	Низька ймовірність аварій	Недовиробленої ресурс; великі витрати
За станом	Використання коштів безрозбірної діагностики	Менша вартість; Низька ймовірність аварії	Неможливість виконати роботи в будь-який момент часу
Проактивна	Прогнозування процесу «старіння» на основі результатів діагностування	Оптимальні витрати; низька ймовірність аварії	Необхідність розробки науково обгрунтованої методики
Змішана	Для різних елементів однієї і тієї ж технічної системи застосовують різні стратегії	Забезпечуються найбільша надійність і мінімальні витрати на ремонт	Потрібне створення і впровадження судових бортових діагностичних комплексів

(розробка автора та [9])



## **1.2 Міжнародні стандарти з управління технічним станом механізмів**

В останні десятиліття виникла ціла низка міжнародних стандартів, таких як:

- ISO 31000: 2018, Менеджмент ризиків.
- ДСТУ ІЕС/ISO 31010: 2013, IDT. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику.
- ISO 9001: 2015, Системи менеджменту якості.
  - ISO 13381-1 Моніторинг стану і діагностика машин - Прогноз – ISO 13381-2, підходи до зміни характеристик (тенденції), ISO 13381-3, циклічні методи використання ресурсу, ISO 13381-4, моделі корисного терміну служби, що залишився. [11]
  - ISO 13379-2 Моніторинг стану і діагностика машин. Методи інтерпретації та діагностики даних.
  - ISO 20816-1:2016 Механічна вібрація – Вимірювання та оцінка вібрації машини
  - ІЕС 60812: 2018. Метод аналізу видів і наслідків відмов (Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)).

Комплексне використання цих стандартів може послужити базою (теоретичною основою) для розробки і впровадження на суднах оптимальної системи ТОіР.

Розглянемо детальніше кожен із вищевказаних стандартів.

- ISO 31000: 2018, Менеджмент ризиків. Принципи і керівні вказівки, містить принципи, структуру і процес управління ризиками. Він може бути використаний будь-якою організацією незалежно від її розмірів, виду діяльності або галузі. Застосування ISO 31000 може допомагати організаціям при підвищенні ймовірності досягнення цілей, більш ефективному виявленню можливостей і загроз, а також більш ефективному розподілу і застосування ресурсів при моніторингу ризиків. [11]

ISO 31000: 2018, Менеджмент ризиків містить керівництво з управління ризиками, з якими стикаються організації, пропонує загальний підхід до управління будь-яким типом ризику і не є специфічним для будь-якої галузі або сектора ринку.

Даний документ може використовуватися протягом усього життєвого циклу організації і може застосовуватися до будь-якої діяльності, включаючи прийняття рішень на всіх рівнях. [12]

ДСТУ ІЕС/ISO 31010: 2013, IDT. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. Опублікований як стандарт з подвійним логотипом разом з ISO і містить керівництво по вибору і застосуванню методів оцінки ризику в широкому діапазоні ситуацій. Ці методи використовуються для допомоги в прийнятті рішень в умовах невизначеності, для надання інформації про конкретні ризики і як частина процесу управління ризиками. У документі дається короткий виклад ряду методів з посиланнями на інші документи, в яких методи описані більш детально.[13, 14]

Стандарт доповнює ISO 31000: 2018 «Менеджмент ризиків. Принципи і керівні вказівки» і включає в себе наступні суттєві технічні зміни:

- дається докладніша інформація про процес планування, реалізації, перевірки і валидації використання методів оцінки ризику;
- збільшено кількість методів оцінки ризику та їх сфера застосування;
- використовується інший підхід до класифікації методів оцінки ризику.

Стандарт, як і раніше, містить керівництво по вибору і застосуванню методів оцінки ризику в широкому діапазоні ситуацій. Він вводить широкий спектр методів для виявлення і розуміння ризику в діловому або технічному контексті. Наведені методи можуть бути використані організаціями для прийняття рішень в умовах невизначеності, для отримання інформації про конкретні ризики і як

частина процесу управління ризиками. У документі наводяться короткі відомості про ряд методів з посиланнями на інші документи, в яких дані методи описані більш детально. [14 , 13]

– ISO 9001: 2015, Системи менеджменту якості, встановлює критерії системи менеджменту якості і є єдиним стандартом в своїй серії, за яким можна пройти сертифікацію (хоча це не є обов'язковою вимогою). Його може використовувати будь-яка організація, незалежно від її розміру і сфери діяльності. [11]

Цей стандарт заснований на ряді принципів менеджменту якості, таких як сильна клієнтоорієнтованість, мотивація і залучення керівництва, процесний підхід і постійне вдосконалення. Ці елементи більш докладно пояснюються в принципах менеджменту якості ІСО. Застосування ISO 9001: 2015 допомагає гарантувати, що замовники стабільно отримують якісні продукцію і послуги, що, в свою чергу, дуже вигідно для судноремонту та суднобудівництва.

Даний Міжнародний Стандарт націлений на просування застосування процесного підходу для розробки, впровадження та поліпшення результативності системи менеджменту якості, зростання задоволеності споживача за допомогою виконання його вимог.

Подання взаємопов'язаних процесів та управління ними як системою сприяє результативному та ефективному досягненню організацією запланованих результатів. Цей підхід дозволяє організації управляти взаємодіями і взаємозв'язками процесів в системі, завдяки чому може бути поліпшена діяльність організації в цілому.

Процесний підхід має на увазі систематичне визначення і управління процесами і їх взаємодіями з тим, щоб досягти запланованих результатів відповідно до політики в області якості та стратегічними напрямками розвитку організації. [15]

– ISO 13381 – 1 Моніторинг стану і діагностика машин – Прогноз – Частина 1: Загальні рекомендації, надає керівництво щодо розробки та

застосування процесів прогнозування. ISO 13381 – 2, підходи до зміни характеристик (тенденції); ISO 13381 – 3, циклічні методи використання ресурсу; ISO 13381 – 4 моделі корисного терміну служби, що залишився; ISO 13379 – 2, Моніторинг стану і діагностика машин.

Цей стандарт встановлює керівництво по розробці і застосуванню процедур прогнозування технічного стану машин з метою: сформувані серед користувачів і розробників систем моніторингу технічного стану машин єдині уявлення про прогнозування розвитку несправностей; забезпечити можливість збору користувачами необхідних даних про характеристиках, процесах і поведінці машин з метою точного прогнозування технічного стану; встановити загальні підходи і процедури до складання прогнозів технічного стану; сприяти застосуванню прогнозування в розроблюваних системах моніторингу технічного стану машин і включенню питань прогнозування в програми навчання персоналу. [16]

Визначення стану по загальному рівню вібрації базується на нормах ІСО. ISO 20816-1: 2016 Механічна вібрація - Вимірювання та оцінка вібрації машини, встановлює загальні умови та процедури вимірювання та оцінки вібрації з використанням вимірювань, що проводяться на обертових, не обертаються та поршневих деталях комплектних машин. Це застосовується для вимірювання як абсолютної, так і відносної радіальної вібрації валу щодо контролю радіальних зазорів, але виключає осьову вібрацію вала. Загальні критерії оцінки, які представлені як за величиною вібрації, так і за зміною вібрації, стосуються як експлуатаційного контролю, так і прийнятно-здавальних випробувань. Вони були забезпечені головним чином для забезпечення надійної, безпечної та довготривалої роботи машини, одночасно мінімізуючи несприятливий вплив на супутнє обладнання. Також представлені вказівки щодо встановлення експлуатаційних меж. [16]

– ІЕС 60812: 2018 Failure modes and effects analysis (FMEA and FMESA) – пояснює, як планується, виконується, документується і підтримується аналіз видів відмов і наслідків (FMEA), включаючи варіант

аналізу видів відмов, наслідків та критичності (FMECA). Мета аналізу видів і наслідків відмов (FMEA) полягає в тому, щоб встановити, яким чином елементи або процеси можуть не виконувати свої функції, щоб можна було ідентифікувати будь-які необхідні обробки. FMEA забезпечує систематичний метод визначення видів відмов разом з їх впливом на елемент або процес як на місцевому, так і на глобальному рівні. Це може також включати визначення причин режимів відмови. Режими відмови можуть бути пріоритетними для підтримки рішень про лікування. Якщо ранжування критичності включає, хоча б, серйозність наслідків, а часто і інші важливі заходи, аналіз відомий як режими відмови, аналіз наслідків і критичності (FMECA). [13]

Для застосування FMEA або FMECA можуть бути застосовані підстави, такі як ідентифікація відмов, які мають небажані наслідки для функціонування системи, виконання вимог замовника, встановлених в контракті, підвищення надійності або безпеки системи, підвищення ремонтпридатності системи шляхом виявлення областей ризику або невідповідностей стосовно ремонтпридатності.

### **1.3 Методи діагностування суднових допоміжних механізмів ротаційного типу**

В даний час діагностування технічних об'єктів приділяється велика увага як засобу істотного підвищення їх надійності. Це пояснюється тим, що розробка і впровадження в практику експлуатації різних технічних засобів, методів і засобів їх діагностування дозволяє підвищити безвідмовність, ремонтпридатність і довговічність обладнання, попереджати аварії, прогнозувати залишковий ресурс і значно збільшити надійність і економічність енергетичних установок. Особливо ефективно використання коштів діагностування на транспортних установках в зв'язку з їх численністю і багатотипністю. Так, тільки за рахунок впровадження засобів діагностування скорочення трудомісткості і час ремонтів транспортних установок може

досягти до 30-40%, зменшення витрат палива до 3 - 4%, а збільшення коефіцієнта технічного використання обладнання до 10 - 12%. [17]

Технічне діагностування - процес контролю і прогнозування технічного стану об'єкта діагностування. [18]

Як об'єкт діагностування (ОД) розуміють судові технічні засоби (СТЗ) і конструкції, стан яких підлягає визначенню. У поняття СТЗ включаються головні і допоміжні двигуни, допоміжні механізми і пристрої.

Діагностична модель – формалізований опис ОД, що враховує можливість зміни його стану в часі. Моделі ОД необхідні для побудови алгоритмів діагностування формалізованими методами, для аналізу результатів на повноту виявлення та на глибину пошуку несправностей. Діагностичні моделі можуть бути представлені в аналітичній, табличній, векторній і графічній формах.

Сутність технічного діагностування полягає в розробці та практичній реалізації алгоритмів оцінки параметрів технічних станів об'єктів діагностування без їх розбирання в робочих умовах.

Якщо під технічним станом (ТС) об'єкта діагностування розуміти сукупність його властивостей, що змінюються під час роботи, то для пошуку дефектів, прогнозування ТС необхідно виділити ті суттєві властивості об'єкта, які забезпечують його стійке функціонування і є, в зв'язку з цим характеристикою ТЗ. Крім цього, необхідно знайти закономірності зміни цих властивостей і тим самим визначити види ТС, в яких може знаходитися об'єкт діагностування.

При діагностуванні використовують вектор структурних параметрів об'єкта [18]

$$R = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_m\} \quad (1.1)$$

де  $r_i, i=1,2,3, \dots, m$  - відхилення  $i$ -го параметра технічного стану від його номінального значення.

Стан складного об'єкта діагностування зазвичай оцінюється безліччю структурних параметрів  $r_i$ , зміна яких згодом напрацювання призводить до

відмови. На основі вивчення статистичних відмов механізму складається перелік слабких вузлів, що лімітують ресурс механізму, складається також перелік підлягають діагностуванню дефектів, обумовлених виходом того чи іншого структурного параметра за допустимі межі (наприклад, зазори в підшипнику, ступеня зносу поршневих кілець, значення дисбалансу ротора і ін. ).

Порушення працездатності об'єкта діагностування з часом напрацювання, зване в теорії надійності відмовою, хоча і є випадковою подією, обумовлено, тим не менш, цілком певними фізичними і хімічними процесами, що протікають в матеріалах деталей механізму при його експлуатації і викликають старіння матеріалів і знос елементів. Ці деградаційні процеси в свою чергу залежать від ряду зовнішніх і внутрішніх факторів: принципу дії механізму, його конструкції, використовуваних матеріалів, технології виготовлення, режимів і умов роботи. [17]

Комплекс зовнішніх і внутрішніх факторів, що впливають на механізм, призводить до змін структурних параметрів. Процес наближення технічного стану об'єкта діагностування до відмов характеризується рухом випадково змінюється з плином часу експлуатації вектору структурних параметрів  $R$  до кордону робочої області, при досягненні якої об'єкт втрачає працездатність. Отже, будь-який роторний механізм складається з електродвигуна, з'єднувальної муфти, ротору, корпусу.

Методика визначення технічного стану ротаційних механізмів без розбирання передбачає контроль стану підшипників, ротора, ущільнень і з'єднувальних муфт різними методами діагностування: [20 , 21 , 22]

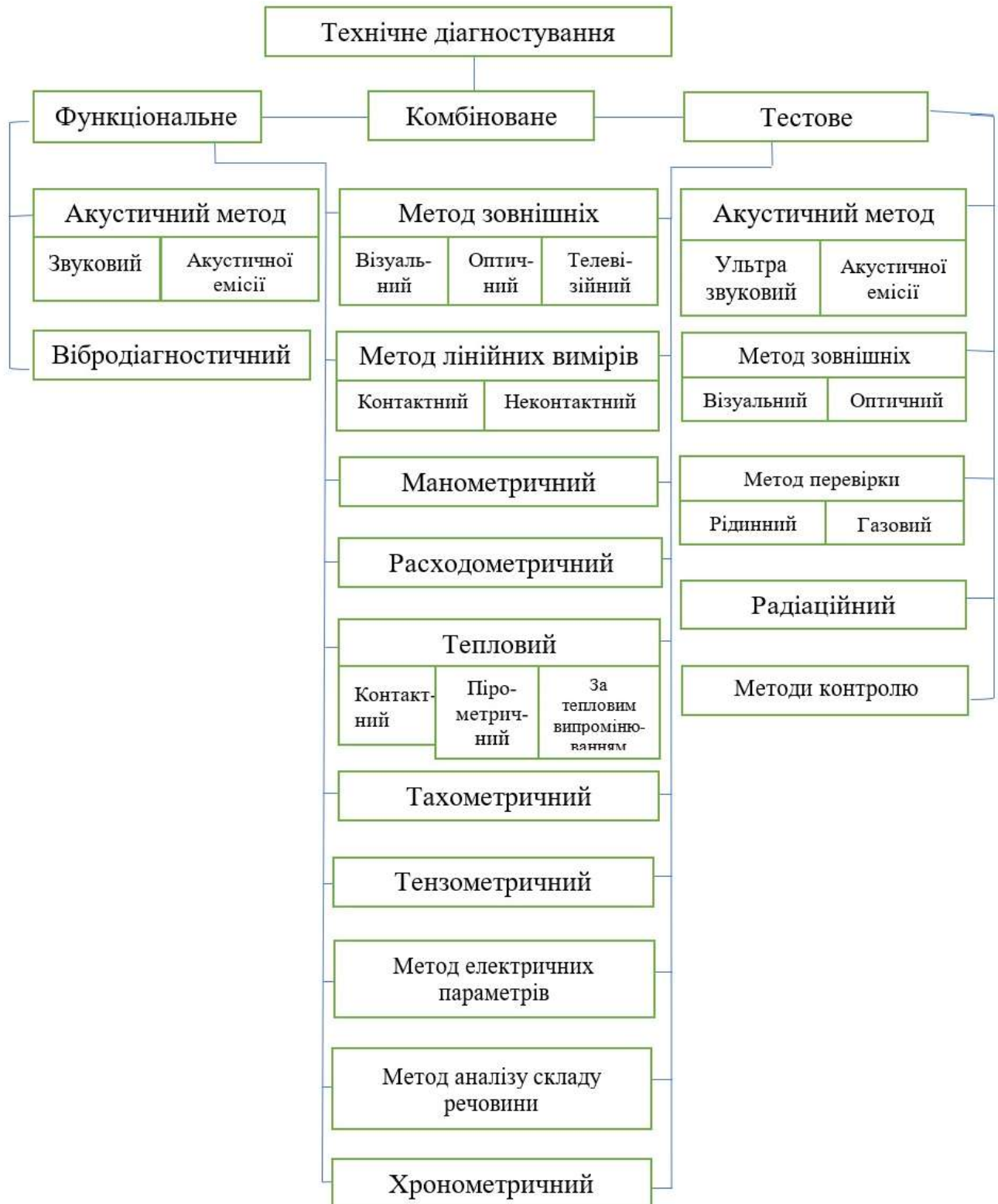


Рисунок 1.3 – Методи технічного діагностування енергетичного обладнання

(джерело: [19])

– Теплові методи використовують для визначення стану підшипників електродвигунів, генераторів, насосів, ДВС, турбін, валопроводів і інших



механізмів. Параметр «температура» використовується для контролю протікання робочих процесів в машинах і апаратах СЕУ.

– Параметром теплового (термометричного) діагностування є температура, яка відображає протікання робочого процесу, поява і розвиток цілого ряду несправностей в суднових технічних засобах.

– Інтроскопія (бачення з середини) – огляд (при необхідності з фіксуванням зображення) внутрішніх поверхонь суднових технічних засобів - дизелів, редукторів і приводів розподільних валів, проточних частин турбін і турбокомпресорів, трубних поверхонь котлів і теплообмінників, трубопроводів і т. і. - без розбирання через отвори за допомогою оглядових трубок з вбудованою системою освітлення об'єкта спостереження у видимій області спектра (0,38 – 0,78 мкм). Включення в масло відображають характер і інтенсивність зносу (руйнування) елементів СТЗ, що змащуються маслом, і характеризуються розміром, числом, концентрацією часток і їх хімічним складом. Число частинок вимірюється в одиницях, що припадають на обсяг (од. мл.). При нормальному зносі СТЗ (процеси тертя і зрізу) виявляються частинки розміром 0,15 – 15 мкм і товщиною 0,15 – 1 мкм. При терті – це гладкі круглі лусочки. Початок інтенсивного зношування супроводжується збільшенням числа (концентрації) частинок і їх розміру до 50 мкм і більше і проявом певної форми. При подальшому розвитку несправності з'являються частинки більше 100 – 300 мкм, а при виході з ладу (аварії) - більше 1000 мкм. Накопичення продуктів зносу в маслі залежить від мастильної системи СТС (циркуляційна або картерна), якості очищення масла, розміру і частоти доливання, інтенсивності чаду. [18]

– Принцип вимірювання товщини стінок ультразвуковим методом. В процесі експлуатації суднових енергетичних установок в результаті впливу як зовнішніх чинників, так і внутрішніх чинників, пов'язаних із здійсненням процесів перетворення енергії, відбувається зміна (зменшення) товщини стінок елементів енергетичних установок (трубки і колектори котлів, трубки теплообмінних апаратів, стінки корпусів різних насосів, трубопроводів з

агресивними середовищами і ін.). Принцип дії товщиномірів заснований на вимірюванні швидкості проходження ультразвукових сигналів, що посиляються випромінювачем, які проходять через стінку і відбиваючись від дефекту в стінці або зовнішньої поверхні стінки знову повертаються до датчика. Товщиноміри автоматично перераховують час поширення ультразвукових коливань від місця установки випромінювача до протилежної стінки виробу і назад, а на дисплеї приладу висвічується значення товщини стінки. При цьому попередньо прилад налаштовується на відповідний матеріал, з якого виконано даний виріб. [23]

– Метод ударних імпульсів. Цей метод дозволяє визначити категорію стану підшипникового вузла в цілому, без виявлення дефектів окремих елементів підшипника. [24]

– Метод вібродіагностики. Вібрацію класифікують за її джерелами (механічна, аерогідродинамічна, електромагнітна, електродинамічна) або за конструктивним вузлу її викликає (роторна, лопаткова, підшипникова, зубчаста і т. д.).

Механічна вібрація викликається дією сил через невірноваженості механізму (як правило, періодична вібрація), зіткнення частин (ударні імпульси), виникнення деформацій через порушення кінематики. [23]

Аерогідродинамічна вібрація виникає через зрив потоку при обтіканні елементів СТЗ (лопаток турбін, робочих коліс насосів і т. і.), Кавітаційних явищ, порушення гідродинаміки мастила. Цей вид вібрації носить характер випадкових коливань.

Електромагнітна і електродинамічну вібрація виникає в електричних машинах і пристроях при порушенні взаємодії провідників зі струмом, порушення магнітного поля.

Слід враховувати, що при визначенні технічного стану СТЗ по загальному рівню віброшвидкості неможливо визначити конкретну несправність, але можна встановити, що СТЗ справний, якщо рівень вібрації укладається в норми для «доброго» і «прийнятного» стану. Якщо ж загальний

рівень вібрації відповідає «допустимому (обмежено)» і «неприпустимого» рівню, то це не означає, що СТЗ несправний, так як при вимірюванні в широкому діапазоні частот захоплюється наведена вібрація від інших джерел. У той же час робота СТЗ при наведеній вібрації від інших джерел, рівень якої потрапляє в діапазон «Неприпустимо», призведе до різкого скорочення ресурсу, тому причина повинна бути усунута. [25]

Як показує практика, технічна діагностика необхідна на всіх етапах життєвого циклу механізму: від проектування і виготовлення до зняття з експлуатації і в ремонтний період, хоча методи і засоби діагностування, що застосовуються на цих етапах, істотно різняться між собою. Це пов'язано з різницею виду дефектів і генеруюємих ними сигналів, а також умов і кінцевих цілей діагностування. [26]



Рисунок 1.4 – Области застосування віброакустичного діагностування на етапах життєвого циклу механізму

(розробка автора та [27])

На основі вищевикладеного матеріалу та [19] , проаналізуємо методику визначення технічного стану роторних механізмів спочатку на прикладі відцентрового насоса.

Об'ємні насоси з обертовим або обертальним і зворотно-поступальним переміщенням робочих органів незалежно від характеру руху ведучого ланки насоса називаються роторними. До них відносяться шестеренні, коловоротні, гвинтові, шибєрні, аксіально і радіально-поршневі і інші. Гідність їх - малі габаритні розміри і маса, рівномірність подачі рідини (газу) і функція пристрою запису двигунами з великою частотою обертання валу (без редуктора). Недоліки - низька всмоктуюча здатність і необхідність ретельної пригону частин, так як збільшення зазорів між корпусом і ротором насоса різко знижує подачу і тиск. На судах роторні насоси застосовують для перекачування в'язких рідин, а також в якості продувних у двотактних дизелів. Часто роторні насоси (паливний, масляний, продувний) є складовою частиною конструкції механізму (наприклад, дизеля). [28 , 29 , 30]

Контроль фактичного стану насосів і електроприводів може виконуватися технічне обслуговування наступних вузлів: [31 , 32 , 33]

- насоси – заміна підшипників, заміна (відновлення) корпусу, ротора, ущільнень, очищення робочих коліс від відкладень, заміна (відновлення) з'єднувальних муфт;

- електродвигуни – поповнення або заміна мастила, заміна підшипників, ремонт ротора.

Технічний стан насосів контролюється за рівнем ударних імпульсів, при цьому виявляються пошкодження підшипників та стан мастила, 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 насосів.

За рівнем вібрації насосів з електроприводом встановлюється зміна балансування робочого колеса (через ерозію, наявності відкладень, поломки лопаток, зміщення робочого колеса і т. і.), Центрування (стану сполучної муфти), а також потрапляння насоса в кавітаційний режим. Виміру вібрації повинно передувати вимірювання ударних імпульсів, щоб встановити стан підшипників і їх вплив на вібрацію насоса.

Зниження подачі (напору) насоса може бути пов'язано зі значною ерозією робочого колеса, шестерень і гвинтів, поломкою лопаток і зубів, значними відкладеннями на робочих вузлах насосів, а також з зносом внутрішніх ущільнень і визначається по зниженню тиску за насосом при нормально відкритих клапанах на всмоктуючому і нагнітаючому трубопроводах, чистих фільтрах і відсутності нещільності в з'єднаннях. Істотним слід вважати зниження подачі (напору) на 20-30%. [19 , 34]

Температуру підшипників рекомендується контролювати у насосів з підшипниками ковзання, де її підвищення пов'язане з порушенням мастила, центрування і навантаження на них, а також з сильним зносом. [19]

Контроль за струмом електродвигуна за допомогою штатних приладів дозволяє виявити руйнування підшипників насоса, потрапляння сторонніх предметів, і заклинювання робочих органів насоса, знос внутрішніх ущільнень і зміщення робочого колеса. Про несправності насоса свідчить підвищення струму від початкового рівня на 10-20%. [19, 35, 36, 37, 38]

Контроль місцевого зменшення товщини корпусу через кавітаційного руйнування проводиться товщиноміром. Для контролю вибираються характерні точки з зовнішньої сторони корпусу, що відповідають місцевим кавітаційним пошкодженням всередині корпусу. Характерні точки вибираються при черговій розбиранні насоса над місцями появи кавітаційних каверн. [19]

Для великих насосів доцільно передбачати огляд робочого колеса ендоскопом через спеціальні отвори з пробкою в корпусі насоса або через отвори для кріплення протекторів. [19]

Таблиця 1.2 – Періодичність контролю технічного стану відцентрових насосів

Вид контролю	Періодичність контролю, міс	
	Добрий технічний стан	Задовільний технічний стан
Рівень ударних імпульсів та вібрацій, температури підшипників для насосів з напрацюванням за рік більше 3000 годин	6	3
Рівень ударних імпульсів та вібрацій, температури підшипників для насосів з напрацюванням за рік менше 3000 годин	12	6
Контроль зменшення товщини корпусу	12	6
Огляд робочого колеса ендоскопом	12	6

(розробка автора та [19])

Проаналізуємо методику визначення технічного стану роторних механізмів спочатку на прикладі двигуна. [19]

При розробці документації по технічному обслуговуванню суднових дизелів станом слід розрізняти такі види контрольних операцій, як огляд дизеля, його складальних одиниць і деталей без демонтажних робіт або з мінімальними розбірками для забезпечення доступу і виконання вимірювань зазорів або інших параметрів технічного стану за допомогою штатних контрольно-вимірювальних приладів і пристосувань.

Реєстрація та обробка теплотехнічних робочих параметрів, отриманих за допомогою штатних і додаткових контрольно-вимірювальних приладів.

Контрольна розбирання вузла для виконання очищення, огляду, замірів, заміни або ремонту окремих деталей.

Періодичність виконання контрольних операцій з напрацювання або календарному терміну повинна бути встановлена в плані-графіку технічного обслуговування дизеля. Вказані контрольні операції, в підпункті спрямовані на виявлення головним чином раптових відмов і повинні плануватися і виконуватися в терміни і з періодичністю, передбаченими інструкцією по експлуатації дизеля. Приклади таких операцій: огляд картера з перевіркою

кріплення деталей і надходження мастила до вузлів; завмер раскепов колінчастого вала; огляд робочих поверхонь розподільного механізму з виміром зазорів в підшипниках; перевірка затяжки анкерних болтів та ін.

Факт виконання контрольних операцій повинен реєструватися в плані-графіку технічного обслуговування. Результати контролю з описом виявлених несправностей і вжитих заходів, а також результати вимірювань відображаються в Журналі обліку технічного стану СТЗ по завідуванню механіка.

Контроль робочих параметрів дизеля за допомогою штатних приладів здійснюється вахтовим персоналом з періодичної реєстрацією в машинному журналі значень параметрів головного двигуна і відхилень від норми параметрів допоміжних двигунів.

У загальному випадку контролюються та реєструються наступні параметри: тиск робочих середовищ (масла, охолоджуючої води, палива, продувного повітря, випускних газів); температура робочих середовищ; частота обертання дизеля і турбокомпресорів; навантаження двигуна; перепади тиску і температури в системах двигуна; зовнішні умови: тиск і температура повітря, температура забортної води. [39]

Перелік контрольованих параметрів визначається для кожного конкретного дизеля в залежності від його оснащення штатними вимірювальними приладами і конструктивними особливостями.

Контроль робочих параметрів за допомогою додаткових приладів здійснюється механіком по завідуванню (II або III механіком) періодично в призначені терміни або в разі появи ознак несправності незалежно від призначених термінів. Результати контролю відображаються в Журналі індиціювання або в Журналі обліку технічного стану СТЗ по завідуванню. Додатково можуть контролюватися: тиск газів (максимальне або в залежності від кута повороту колінчастого вала) в циліндрі дизеля і в системах продувки-випуску; температура окремих частин двигуна або його систем;

віброшвидкість і віброприскорення окремих частин двигуна; витрата палива, масла і охолоджуючої води в замкнутих контурах.

Аналіз і обробку вимірних значень робочих параметрів здійснює механік, в завідуванні якого знаходиться двигун, під загальним контролем старшого механіка. Відповідальність за правильність дій при раптовій зміні контрольованих штатними приладами параметрів несе вахтовий механік.

Організація робіт по контрольній розбиранні вузлів двигуна повинна базуватися на одному з наступних методів: розбирання (виконання робіт) за результатами контролю фактичного технічного стану шляхом оглядів або на підставі непрямих параметрів, виконувана з призначеної періодичністю; розбирання частини однотипних вузлів з призначеної періодичністю і перенесенням результатів контролю на інші вузли (вибірковий контроль); розбирання з призначеної періодичністю (по напрацюванню або календарному часу); розбирання (виконання робіт) при зовнішньому прояві несправності або відмови.

Принцип виконання відновлювальних робіт по фактичному стану в рамках планової системи технічного обслуговування може бути застосований до складальним одиницям і вузлів двигуна в тих випадках, коли наявними засобами забезпечений достатній безрозбірний контроль технічного стану.

Контроль виконується з призначеної періодичністю. Застосовувані засоби і методи контролю дозволяють виявити критичні значення параметрів технічного стану вузла, при перевищенні яких з'являється ризик відмови двигуна в цілому. Вихід за допустимі значення неконтрольованих параметрів технічного стану окремих деталей не призводить до відмов інших деталей вузла.

На основі контролю фактичного технічного стану може виконуватися технічне обслуговування наступних вузлів суднового дизеля [40 , 41]: робочі втулки і поршні - очищення робочих циліндрів і поршнів з заміною кілець (моточистка циліндрів). Впускні і всмоктувальні клапани робочих циліндрів - заміна (відновлення). Турбокомпресори - очищення проточної частини,



заміна підшипників. Кочення. Форсунки і паливні насоси високого тиску - регулювання і заміна. Ресивер продувного повітря, продувні та випускні вікна, підпоршневу порожнину, випускні трубопроводи і колектор, порожнини водяного охолодження - очищення. Теплообмінні апарати і фільтри - очищення система циркуляційного змащування - заміна масла з очищенням картера.

У перший призначений термін повинна проводитися контрольне перебирання не менше 30% загальної кількості однотипних вузлів двигуна. Максимальний термін (напрацювання) між контрольними переборками будь-якого з вузлів не повинен перевищувати подвоєного спочатку призначеного терміну (наробітку).

Вибіркового контролю підлягають вузли двигуна, технічний стан яких визначається процесами нормального зносу. До них, наприклад, відносяться: рамового, головного і мотильового підшипників (зокрема, з багатошаровими вкладишами); механізми приводу паливних насосів високого тиску і газорозподільних органів; сальники ущільнення штоків поршнів; внутрішні зношуємі або забруднюємі деталі робочих поршнів та ін.

Контрольному розбиранню з призначеної періодичністю підлягають вузли двигуна, що забезпечують безпеку його роботи і маневрені якості судна. До них відносяться: запобіжні клапани; головний пусковий і пускові клапани; реверсивний пристрій; регулятор частоти обертання з сервомотором і приводом; розподільник повітря, клапани управління і блокування. Повний перелік вузлів, що підлягають перебиранню з призначеної періодичністю, визначається для кожного конкретного типу двигуна з його конструктивних особливостей.

Позапланові роботи, не передбачені планом-графіком технічного обслуговування, можуть виконуватися за результатами контролю, до них же відносяться роботи по усуненню несправностей, виявлених в процесі вахтового обслуговування.

Технічний стан циліндропоршневої групи характеризується наступними ознаками: щільністю циліндра, пов'язану зі зношеністю кілець і втулки або з поломкою і «залипання» кілець; наявністю ушкоджень або надмірним забрудненням втулки, поршня і поршневих кілець.

Щільність циліндра повинна контролюватися в призначені для кожного типу двигуна терміни наступними способами.

Вимірювання тиску кінця стиснення в циліндрі за допомогою максиметра, механічного індикатора або індикатора іншого типу і зіставлення отриманого значення з еталонним. Оскільки тиск кінця стиснення  $P_c$  великою мірою визначається тиском на початку стиснення (тиском наддуву)  $P_{int}$ , як діагностичний параметр приймається відношення  $P_c / P_{int}$ , де тиску стиснення і наддуву є абсолютними і розраховуються шляхом підсумовування заміряного і барометричного тиску.

З огляду на, що тиск кінця стиснення залежить від частоти обертання, рекомендується з метою підвищення точності діагнозу вимірювати тиск стиснення на режимі малого ходу для головних суднових дизелів і на режимі холостого ходу зі зниженою частотою обертання для допоміжних двигунів. Частота обертання повинна бути однаковою у всіх випадках вимірювань з метою контролю щільності циліндра. Еталонне значення відносини  $P_c / P_{int}$  визначається за результатами стендових випробувань, а при їх відсутності - шляхом вимірювання на свідомо справному приробленому циліндрі. Критерієм незадовільною щільності циліндра є зниження відношення  $P_c / P_{int}$  на 6 % в порівнянні з еталонним значенням.

Головні та допоміжні двигуни повинні бути обладнані приладами для вимірювання: тиску мастила перед двигуном та на розподільний вал (при автономній системі змащування); тиску (або потоку) прісної води в системі охолодження двигуна; тиску пускового повітря перед головним пусковим клапаном або пусковим пристроєм; тиску палива перед насосами високого тиску (за наявності паливо-підкачувального насоса); температури вихлопних газів кожного циліндра (для двигунів із діаметром циліндрів 180мм і менше –

температури в газовипускному трубопроводі); температури мастила на вході у двигун; тиску (або потоку) в системі охолодження форсунок (у випадку автономної системи); температури палива перед насосами високого тиску (для палива, що потребує підігріву); тиску (або потоку) в автономній системі охолодження поршнів; тиску мастила на рамові підшипники при автономному відводі мастила та на упорному підшипнику (для упорних підшипників, що вбудовані у двигун); тиску мастила на головні підшипники (у випадку автономного підводу); температури масла на розподільному валу (у випадку автономного підводу); тиску мастила на вході у турбонагнітач при використанні циркуляційного мастила двигуна; температури та потоку мастила на виході з кожного підшипника турбонагнітача (для гравітаційних систем змащування); температури та потоку охолоджуючої рідини на виході з кожного поршня (для двигунів з контрольованим охолодженням поршнів); температури охолоджуючого середовища форсунок на виході (у випадку автономної системи); температури прісної води на виході з кожного циліндра або температури прісної води на виході з двигуна (у випадку спільної порожнини охолодження на весь двигун); температури прісної води на вході в двигун; температури прісної води на виході з турбонагнітача; тиску в ресиверах наддувного повітря; температури наддувного повітря після повітроохолоджувачів; температури вихлопних газів перед і за турбонагнітачами. [42]

Залежно від конструктивних особливостей двигунів перелік контрольно-вимірювальних приладів може бути змінений з наданням на розгляд Регістру технічного обґрунтування. Додаткові вимоги стосовно турбонагнітачів двигунів наведені у статтях Регістру Кожний приводний двигун потужністю більше 37кВт повинний бути обладнаний засобами попереджувальної звукової і світлової сигналізації, що подає сигнали у разі зниження тиску мастила в системі циркуляційного змащування нижче допустимої границі, та сигналізацією про витіки у паливних трубопроводах високого тиску дизелів.

Рекомендується також установлювати прилади аварійно-попереджувальної сигналізації за такими параметрами: зниження тиску в системі охолодження прісної води або підвищення температури на виході з двигуна; зниження рівня мастила в напірній цистерні турбонагнітачів; підвищення температури упорного підшипника, вбудованого в двигун. [43]

Місцеві пости керування головними двигунами повинні бути обладнані приладом для вимірювання частоти обертання колінчастого вала, а за наявності роз'єднувальних муфт також приладом для вимірювання частоти обертання гребного вала. Місцеві пости керування головними реверсивними двигунами та рушіями з реверс-редукторними передачами повинні обладнуватися показчиками напряму обертання гребного вала. [44]

Ротори, вали і диски парових турбін і газотурбінних двигунів, а також болти з'єднувальні корпусів турбін високого тиску підлягають при виготовленні ультразвуковому контролю. Вали головних зубчастих передач при масі більше 100кг, шестерні, зубчасті колеса (ободи) при масі більше 250 кг підлягають при виготовленні ультразвуковому контролю. Деталі двигунів внутрішнього згорання зі сталі також підлягають при виготовленні ультразвуковому контролю [44]

Кожний механізм після закінчення складання, регулювання та обкатування до встановлення на судно повинний бути випробуваний на стенді під навантаженням за програмою, схваленою Регістром. В окремих випадках за погодженням із Регістром випробування на стенді можуть бути замінені випробуваннями на судні. Головні зразки механізмів повинні випробовуватися за програмою, що забезпечує перевірку надійності та тривалої працездатності окремих деталей, вузлів і механізмів у цілому.

Конструкція головних механізмів, призначених для використання на судах з одновальними установками, як правило, повинна передбачати можливість їхньої роботи в аварійних режимах на зниженій потужності при виході з ладу деталей, заміна яких у судових умовах неможлива або пов'язана з тривалою витратою часу.

Сталеві ковані, литі і зварені, а також чавунні деталі механізмів при виготовленні повинні піддаватися термічній обробці відповідно до вимог Регістру (частини XIII «Матеріали» і частини XIV «Зварювання»).

Кріпильні деталі рухомих частин механізмів і пристроїв, а також кріпильні деталі, що знаходяться у важкодоступних місцях, повинні мати пристосування або відповідну конструкцію, що не допускають мимовільного їхнього ослаблення і віддачі.

Нагріті поверхні механізмів і обладнання повинні бути ізольовані.

Деталі механізмів, які стикаються з середовищем, що викликає корозію, повинні бути виготовлені з антикорозійного матеріалу або мати стійкі проти корозії покриття. В охолоджуючих порожнинах механізмів і охолоджувачів, у яких циркулює морська вода, повинні бути встановлені протектори.

#### **1.4 Постановка мети і задач дослідження**

Роль стану ротаційних механізмів у забезпеченні безпеки і ефективності торгового судноплавства.

1. Постійне посилення конкурентної боротьби на ринку морських перевезень змушує судновласників приймати рішення, негативно впливають на безпеку:

- зменшення чисельності екіпажу;
- зниження заробітних плат і зниження рівня кваліфікації моряків;
- ослаблення вимог до технічного стану судових технічних засобів і судових конструкцій.

Результатом такої діяльності можна вважати факт, що незважаючи на постійне зростання вимог до безпеки з боку ІМО, кількість аварій на флоті практично не зменшується, а сумарні збитки від аварій ростуть. Статистика за 2018 рік – світовий флот втратив 46 суден. Це майже в два рази менше, ніж показник 2017 року - 98 суден, і на 55% менше за середній показник за останні десять років - 104 судна. Такі дані наводить у своєму звіті Allianz Global Corporate & Specialty (AGCS).

Основною причиною морських аварій є поломки, пошкодження або відмова двигунів і обладнання. На них припадає більше третини, або 8,8 тис., з 26 тис. Інцидентів, зафіксованих за останні 10 років. З цієї ж причини виникають найдорожчі страхові позови - 10 млрд доларів за останні п'ять років (дані на основі аналізу 230 тис. Страхових позовів в морській галузі за участю AGCS і інших страхових компаній в період з липня 2013 по липень 2018 роки). У 2018 році відбулося близько 2,7 тис. Пригод, пов'язаних з пошкодженням / поломкою двигунів / обладнання.

Третина всіх загиблих в 2018 році суден - вантажні. Найбільш поширена причина загибелі - затоплення. З цієї причини за 10 років загинуло 551 судно з 1036. У 2018 році було зафіксовано 30 випадків затоплення суден.

Загальна кількість подій із суднами в 2018 році склало 2,7 тис. [45] [46]

2. Шлях вирішення проблеми - розробка і впровадження в практику роботи судноплавної компанії науково-обґрунтовану стратегію ТОiP суднових технічних засобів і суднових конструкцій. Вирішення цього завдання почалося вже близько 50-ти років тому затвердженням РД 31.20.50 - 87 «Комплексна система технічного обслуговування і ремонту суден». За ці роки проведено безліч досліджень, розроблені і впроваджені сотні типів діагностичних приладів, прийняті десятки стандартів ISO. Найбільшу увагу 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, загальні втрати від неефективної експлуатації ротаційних допоміжних механізмів дуже значні.

3. Численні дослідження і практичний досвід довели, що найбільш ефективною стратегією ТОiP є проактивна стратегія на основі використання сучасних засобів технічного діагностування та наукового прогнозування зміни фактичного стану машин і механізмів в процесі експлуатації.

Метою дослідження є підвищення безпеки та ефективності торгового судноплавства шляхом проектування і впровадження комплексної стратегії ТОіР суднових допоміжних механізмів ротаційного типу.

Досягнення мети вимагає вирішення ряду завдань:

- аналіз діючих систем технічного діагностування СДМ ротаційного типу, технології діагностування та сучасного обладнання;
- розробка концептуальної моделі стратегії ТОіР суднових технічних засобів;
- розробка методів оцінки фактичного стану СДМ ротаційного типу і прогнозування процесів зародження і розвитку дефектів таких машин;
- проектування системи менеджменту процесами ТОіР судна.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ Й РЕМОНТУ СУДНОВИХ ДОПОМІЖНИХ МЕХАНІЗМІВ

#### 2.1 Аналіз принципу дії, сфери застосування та основних пошкоджень механізму

З урахуванням великої кількості процесів за повний період життєвого циклу судна такий метод досить складно впровадити на практиці. Крім того, вплив окремих факторів на величину ризику окремих процесів може бути направленим в різні сторони. В деяких процесах це може призвести до зростання витрат, але одночасно зменшити витрати на інші процеси, що нівелює сумарну величину ризику.

Основною метою оцінки ризику є уявлення на основі об'єктивних свідчень інформації, необхідної для прийняття обґрунтованого рішення щодо способів обробки ризику.

Оцінка ризику забезпечує:

- розуміння потенційних небезпек і впливу їх наслідків на досягнення встановлених цілей судно власної компанії;
- отримання інформації, необхідної для прийняття рішень;
- розуміння небезпеки і її джерел;
- ідентифікацію ключових чинників, що формують ризик, уразливих місць судна і її систем;
- можливість порівняння ризику з ризиком альтернативних технологій, методів і процесів;
- обмін інформацією про ризик і невизначеності;
- інформацію, необхідну для ранжирування ризиків;
- запобігання нових інцидентів на основі дослідження наслідків інцидентів;
- вибір способів обробки ризику;
- відповідність правовим і обов'язковим вимогам;



– отримання інформації, необхідної для обґрунтованого рішення про прийняття ризику відповідно

– до встановлених критеріїв;

– оцінку ризику на всіх стадіях життєвого циклу судна.

В роботах [47 , 48 , 49] наведені більше 30 методів кількісної оцінки ризиків, які можна умовно розділити на чотири типи:

– статистичні;

– ймовірно-статистичні;

– теоретико-ймовірнісні;

– експертні

Теоретичною основою ймовірнісних моделей визначення ризиків є теорія ймовірностей та ймовірнісне моделювання. На підставі розроблених математичних моделей елементів системи  $M_E$ ; технологічних процесів  $M_{ТП}$ ; процесів зношування  $M_З$ ; сценаріїв виникнення і розвитку аварійних ситуацій з урахуванням ролі людського фактору  $M_{ЛФ}$ .

$$M = f(M_E; M_{ТП}; M_З; M_{ЛФ}) \quad (2.1)$$

В даній моделі вносяться ймовірнісні характеристики зовнішніх та внутрішніх факторів:

$$P = f(P_E; P_{ТП}; P_З; P_{ЛФ}) \quad (2.2)$$

За результатами ймовірнісного моделювання визначаються розподіл ймовірностей виникнення небезпечних подій та математичне очікування збитків у випадку настання цих подій  $U$ .

Недоліком таких методів є складність реалізації ймовірнісного аналізу, що робить його впровадження досить обмеженим.

Статистичні методи будуються на аналізі великих масивів статистичних досліджень, що також робить їх не завжди прийнятними.

Найбільше розповсюдження в останні роки отримала модель оцінки ризиків на підставі аналізу небезпек, вразливостей і втрат.

Загальний порядок використання такої моделі аналізу ризиків передбачає послідовний аналіз небезпек, які можуть виникнути в системі, вразливостей системи по відношенню до виявлених небезпек та аналіз втрат від настання небезпек, що реалізувались [11, 12]

$$A_R = A_H \cup A_{BP} \cup A_{BT} \quad (2.3)$$

На рисунку 2.1 приведена структурна схема моделі аналізу ризиків, де використовуються такі позначення:

ПС – початковий стан системи;

$S_0$  – сценарій успішного досягнення системою своїх цілей;

$KC_0$  – бажаний кінцевий стан системи;

$S_0$  – сценарій успішного досягнення системою своїх цілей;

$KC_0$  – бажаний кінцевий стан системи;

$E_0$  – діапазон відхилення точки  $KC_0$ , в межах якого кінцеві стани можна вважати допустимими;

$IC_1, IC_2$  – ініціюючі небезпеки події;

$ГC_1, ГC_2$  – граничні стани системи;

$S_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) –  $i$ -й сценарій, що реалізується після граничного стану;

$KC_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) – недопустимий кінцевий стан системи, який відповідає сценарію  $S_i$ ;

$U$  ( $KC_i$ ) ( $i=1, 2, \dots, N$ ) – втрати, що відповідають кінцевому стану  $KC_i$ .

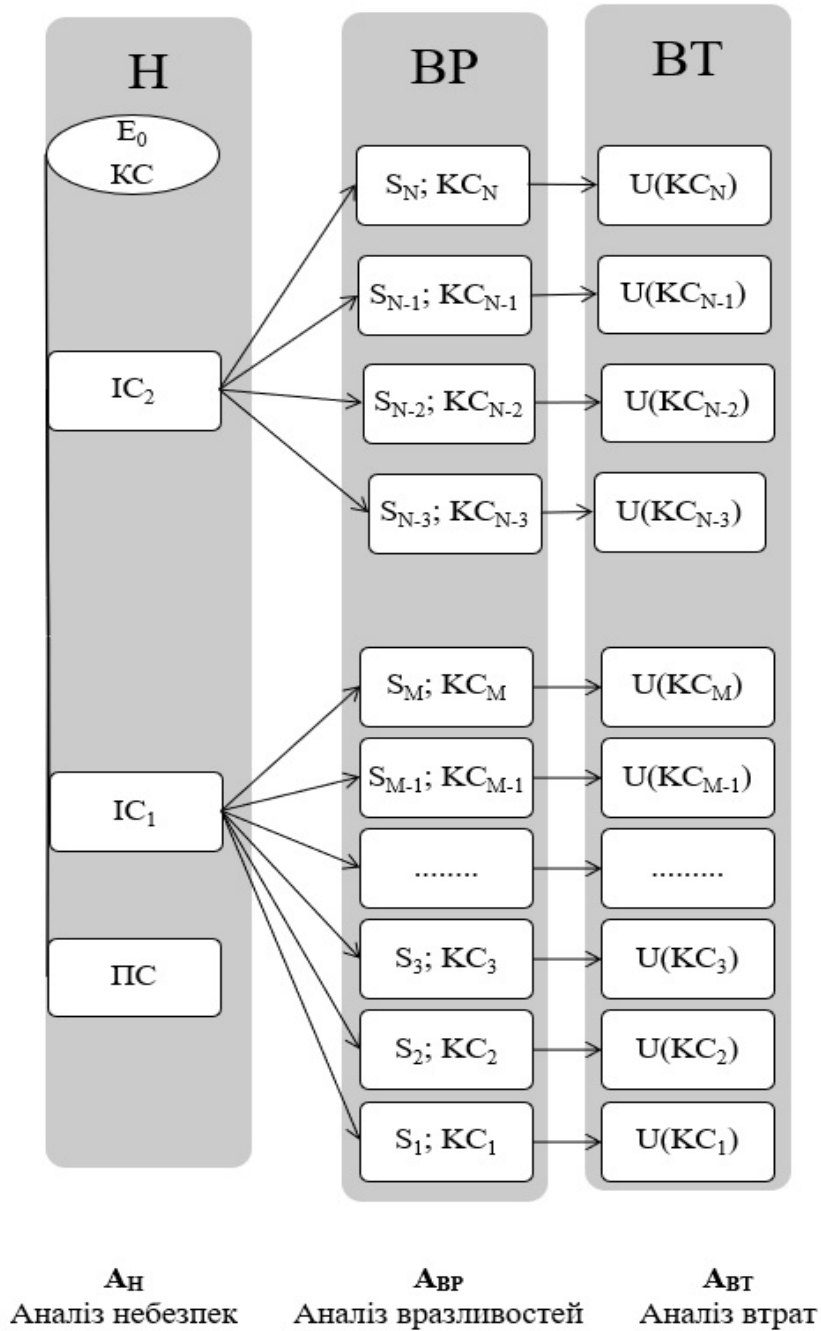


Рисунок 2.1 – Модель аналізу ризиків  
(джерело: власні розробки автора)

Головні завдання при організації управління морським транспортом полягають у створенні таких умов його стану і функціонування, щоб максимально повно і економічно задовольнялися всі суспільно необхідні потреби в переміщеннях вантажів і людей, обумовлені первинними завданнями економічного і соціального розвитку.

Для оцінки показників ефективності різних моделей технічних систем використовують різні показники, такі як: середні витрати на відмову, середній час до першої відмови, витрати на регулювання і / або відновлення системи, складові показники «витрати - надійність», коефіцієнт готовності системи.

Мета технічної експлуатації (ТЕ) [50 , 51] морського флоту як самостійної системи полягає в забезпеченні можливості виконання судами транспортної роботи і підтримці їх в справному технічному стані протягом всього терміну служби.

Технічне використання – це складова частина ТЕ (функціональна підсистема), що включає комплекс робіт по забезпеченню технічної готовності судів до виконання своїх функцій, надійну і економну їх роботу з показниками, передбаченими проектом або заданими судовласником.

Цільовою функцією підсистеми «технічне використання» є забезпечення можливості стійкого виконання транспортної роботи, збереженій перевезення вантажів, безпечного мореплавання і нормальних умов праці, побуту і відпочинку судових екіпажів. Технічне використання включає наступні завдання: управління судами і судовими технічними засобами; вибір і підтримку навантажувальних режимів; раціональне паливовикористання.

Як правило, кожен, з «четвірки» Судно - Класифікаційне товариство - СРЗ - Судновласник / Судноплавна компанія (рисунок 2.2), по-різному оцінюють показники ефективності технічних систем. [52]

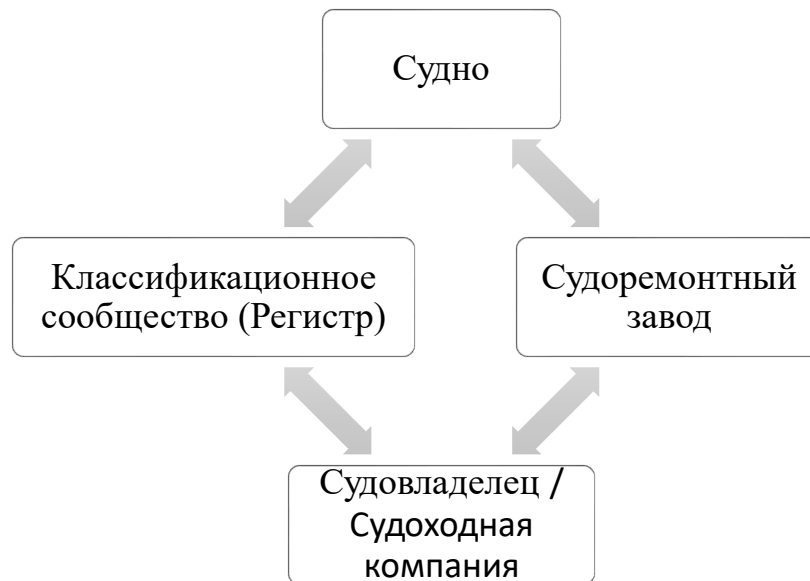


Рисунок 2.2 – взаємозв'язок «четвірки» Судно – Класифікаційне товариство – СРЗ – Судновласник / Судноплавна компанія  
(розробка автора)

Торговельне судно в Кодексі [53] означає самохідну чи несамохідну плавучу споруду, що використовується:

1) для перевезення вантажів, пасажирів, багажу і пошти, для рибного чи іншого морського промислу, розвідки і добування корисних копалин, рятування людей і суден, що зазнають лиха на морі, буксирування інших суден та плавучих об'єктів, здійснення гідротехнічних робіт чи піднімання майна, що затонуло в морі; [54]

2) для несення спеціальної державної служби (охорона промислів, санітарна і карантинна служби, захист моря від забруднення тощо);

3) для наукових, навчальних і культурних цілей;

4) для спорту;

5) для інших цілей.

Для Судна, як технічної системи, основним завданням є його безвідмовність, довговічність і готовність до експлуатації в будь-яких умовах. Для суднового екіпажу, який складається з капітана, інших осіб командного

складу (суднових офіцерів) і команди важливо, щоб середній час до першої відмови технічної системи було якомога більше.

Управління суднами, як виробничими осередками, [55 , 56] передбачає взаємодію суден (об'єктів управління) з керуючим органом - управлінням судноплавної компанії (судновласником або власником судна). Ця взаємодія здійснюється на основі отримання, обробки і передачі інформації, вироблення, прийняття і реалізації рішень.

Судновласник – юридична або фізична особа, яка експлуатує судно від свого імені, незалежно від того, чи є вона власником судна, чи використовує на інших законних підставах. А власником судна є суб'єкт права власності або особа, яка здійснює відносно закріпленого за нею судна права, до яких застосовуються правила про право власності. [53]

Правила технічної експлуатації суден [57] визначають наступні функції судноплавних компаній з управління технічною експлуатацією.

- 1) організація ТЕ на суднах;
- 2) призначення зі складу адміністрації судновласника особи, введення якого закріплює відповідальність за забезпечення ТЕ конкретних суден (призначення менеджера-механіка або механіка-наставника на вантажних судах);
- 3) розподіл в завідування особам командного складу СТЗ і конструкцій, за якими дана особа веде документацію і несе відповідальність;
- 4) встановлення структури чисельності екіпажів і складу вахт на суднах;
- 5) контроль за виконанням на суднах вимог національних і міжнародних нормативних актів і за термінами дії суднових документів;
- 6) організація огляду суден;
- 7) організація служби режимів праці і відпочинку екіпажів суден;
- 8) організація постачання судів необхідного для безпечної експлуатації суден;
- 9) організація зв'язку між судновласником і суднами, в тому числі при аварійних ситуаціях;

- 10) забезпечення суден НТД і конструкторсько-технічною документацією, контроль за її дотриманням;
- 11) доведення до судів національних і міжнародних нормативних актів, а також регіональних вимог, необхідних для майбутнього рейсу;
- 12) встановлення і доведення до відома екіпажу режимів роботи судна, контроль за їх виконанням;
- 13) облік та контроль складу і технічного стану суден, виконання на судах правил ТЕ, національних і міжнародних нормативних актів;
- 14) розслідування, аналіз і облік аварійних випадків, вироблення заходів щодо їх запобігання;
- 15) планування витрат коштів на ТОiP і постачання суден, часу на висновок судів з експлуатації для ремонту;
- 16) встановлення строків та порядку проведення інвентаризації на судах.

В результаті для Судновласника / Судноплавної компанії в ремонті будь-яких технічних систем важливо, щоб судно, якомога довше, залишалось в роботі, приносило дохід, відповідало вимогам Регістру і, як можна менше витрат йшло на ремонт, відновлення і простий судна на судноремонтному заводі. [58]

У посиленій конкурентній боротьбі на ринку морських перевезень судновласники йдуть по шляху скорочення екіпажу і максимального зниження витрат з технічного обслуговування і ремонту (ТОiP) складних технічних систем. [59 , 60 , 61 , 62 , 63] Такий підхід призводить до зниження безпеки і зростання аварійності флоту.

Відповідно до цього зменшуються середні витрати на відмову і поліпшуються складові показники, такі як «витрати - надійність».

Регістр згідно з укладеними угодами виконує такі функції: погодження проектно-технічної документації і технічний нагляд за будівництвом, переобладнанням, модернізацією та ремонтом суден, судових механізмів, обладнання, пристроїв, холодильних установок, контейнерів, випробуванням

та виготовленням виробів і матеріалів суднового постачання тощо з оформленням відповідних документів; технічний нагляд за суднами, що експлуатуються, шляхом проведення періодичних і позачергових оглядів, та видача документів про придатність суден до плавання; технічний нагляд за екологічною безпекою суден; ведення обліку піднаглядних суден з веденням Регістрової книги; погодження проектів стандартів, керівних документів, технічних умов та інших нормативних документів із суднобудування, судноремонту та технічної експлуатації флоту; експертиза технічного стану суден та інших об'єктів нагляду згідно з нормативними документами; інші послуги із класифікації та сертифікації систем якості і виробів промисловості України, а також закордонних виробів, за погодженням з Держстандартом та відповідно до вимог Української державної системи сертифікації продукції (УкрСЕПРО); видання інструкцій, інформаційних та роз'яснювальних матеріалів з питань технічного нагляду, обмірювання і обліку суден, суднобудування і судноплавства; у межах своєї компетенції видає на судна, які здійснюють закордонні рейси, свідоцтва, передбачені міжнародними договорами з питань торговельного мореплавства. [64]

Отже, Класифікаційному товариству в особі представника (-ів) Регістру, важливо забезпечити технічні умови безпечного плавання суден, класифікованих Регістром, згідно їх класу і призначенню, охорони людського життя на морі, безпечного перевезення вантажів і пасажирів, для виконання інших завдань, в тому числі ремонт судів і їх окремих елементів, спостереження за якими доручено Регістру [65]

*Судноремонтному заводу* важливо якісно виконати ремонт будь-якої складної технічної системи відповідно до вимог Класифікаційного спільноти, побажаннями судна і судновласника. А також отримати гідну оплату за виконану роботу, зменшити витрати на регулювання і / або відновлення системи.

Як видно з опису вище, ТОіР складних технічних систем дуже важливий для всіх ланок, пов'язаних з експлуатацією морського флоту. Мета у всіх



одна – економія особистих і бюджетних коштів, але засоби її досягнення різні. Через це при ремонті і обслуговуванні СТЗ виникають розбіжності. Для їх врегулювання існують методи контролю стану і діагностики, різні способи прогнозування технічного стану, аналізи видів і наслідків відмов.

## **2.2 Концептуальна модель управління стратегією технічного обслуговування і ремонту**

Тільки при постійному моніторингу стану і прогнозування розвитку несправностей в складних технічних системах можливе підвищення ефективності при їх експлуатації. Контроль стану складної технічної системи складається з декількох етапів: виявлення відхилення; виявлення несправностей та їх причин; прогнозування розвитку несправностей; прийняття рекомендацій по коригувальним діям; аналіз стану після зупинки технічної системи. [66 , 16]

На рисунку 2.3 представлено загальну схеми суднових допоміжних механізмів ротаційного типу. 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.

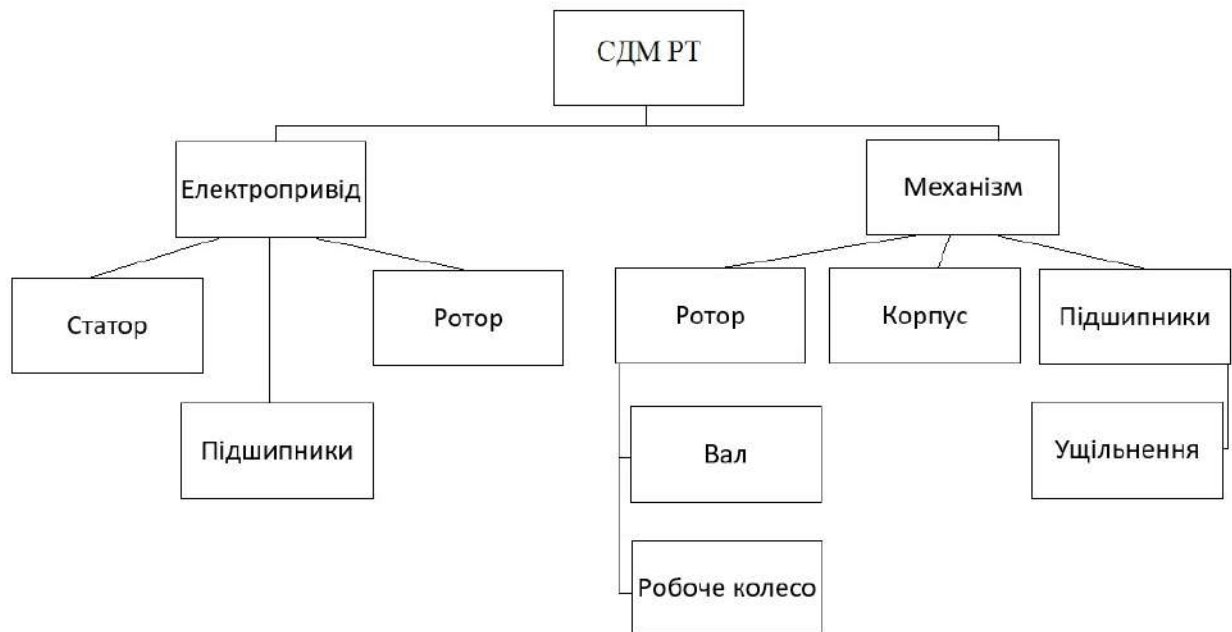


Рисунок 2.3 – Схема роторного механізму на прикладі насосу  
(джерело: власні розробки автора)

На рисунку 2.4 представлена концептуальна модель комплексної системи управління технічного обслуговування і ремонту механізмів.

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

Етап аналізу [67] 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 ТО і Р механізму.

Етап визначення діагностичних параметрів. Діагностичний параметр – параметр (ознака) об'єкта діагностування, встановлений для визначення його технічного стану. До діагностичних параметрах можуть бути віднесені потужність, тиск, шум, вібрація, подача (напір) та ін.

Несправність легше (дешевше та простіше) виявити на моменті її зародження, а не шукати причину повної відмови технічної системи, тому

зупинимося більш докладніше на етапах діагностування і прогнозування стану технічних систем.

Для кожної відмови необхідно визначити спосіб її виявлення і засоби, які можуть бути застосовані для діагностики. [68 , 69 , 70 , 71] 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. Види відмов повинні бути проаналізовані і перераховані.

Тяжкість відмови є оцінкою значущості впливу наслідків виду відмови на функціонування об'єкту. [66]

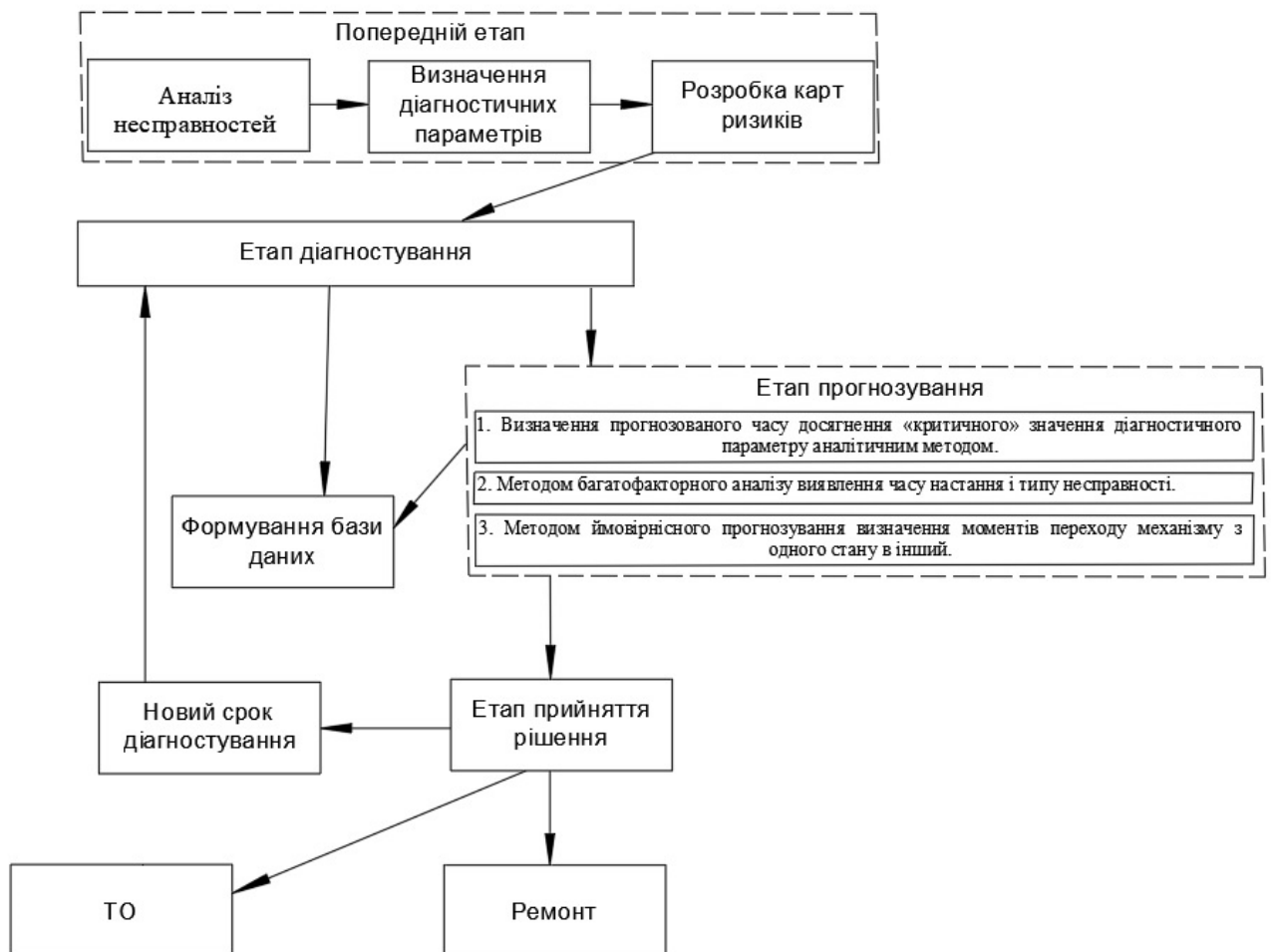


Рисунок 2.4 – Концептуальна модель системи ТОіР СТЗ  
(власні розробки автора [59])

В процесі експлуатації об'єктів діагностування, як правило, не представляється можливим пряме вимірювання структурних параметрів. Тому доводиться використовувати діагностичні параметри, за допомогою яких побічно визначаються структурні параметри, а по ним і категорія технічного стану об'єкта.

Діагностичні параметри приймаються з числа параметрів, що описують об'єкт діагностування. Це вхідні, вихідні та внутрішні параметри. [72 , 73]

Вхідні параметри – це зовнішні умови і дії, що управляють (положення органів управління, характер подачі палива, робочих і допоміжних середовищ).

Вихідні параметри (реакції): а) параметри, що показують поведінку об'єкта (що характеризують основні задані функції - потужність, частота обертання, подача та ін.; б) параметри різних середовищ (випускні гази, що охолоджує вода, масло, конденсат і т. і.) на виході з об'єкта; в) параметри фізичних полів, що виникають навколо (на поверхні) об'єкта діагностування – віброакустичні, теплові, магнітні, акустична емісія, люмінесценція і ін.

Внутрішні параметри: а) параметри, що характеризують робочі процеси, що відбуваються всередині об'єкта діагностування; б) структурні параметри, тобто, параметри, що визначають структуру об'єкта (розміри деталей об'єкту, зазори, суцільність та ін.).

Вплив вхідних параметрів при визначенні технічного стану об'єктів повинно бути виключено за допомогою приведення вихідних і внутрішніх параметрів до стандартних умов.

При виборі діагностичних параметрів слід враховувати той факт, що не всі вихідні параметри (реакції) можуть бути використані для визначення структурних параметрів.

Прогнозування стану технічних систем є одним з важливих дій, результати якого в подальшому допоможуть діагностувати працездатність технічної системи і виявити ризики її відмови.

Відмови технічної системи можуть бути виявлені шляхом дослідження певних функцій, взятих з вимірів і порівняння їх з відомими порогами прийнятної поведінки. Здатність до виявлення та зносостійкість різних відмов складних технічних систем залежать від природи експерименту і доступності вимірювань. У таблиці 2.1 наведено класифікацію тяжкості наслідків відмови.

Таблиця 2.1 - Класифікація тяжкості наслідків відмови

№ класу тяжкості відмови	Найменування класу тяжкості відмови	Опис наслідку відмови для людей або навколишнього середовища
5	Катастрофічний	Вид відмови може привести до припинення виконання первинних функцій системи і викликає важкі ушкодження системи та навколишнього середовища і / або загибель і важкі травми людей
4	Критичний	Вид відмови може привести до припинення виконання первинних функцій системи і викликає значне пошкодження системи і навколишнього середовища, але не є серйозною загрозою життю або здоров'ю людей
3	Істотний	Вид відмови може значно погіршити виконання первинних функцій системи і викликає незначне пошкодження системи, але не представляє загрози для навколишнього середовища або життя людей
2	Мінімальний	Вид відмови, що може погіршити виконання функцій системи без помітного ушкодження системи або загрози життю або здоров'ю людей
1	Незначний	Вид відмови, який може погіршити виконання функцій системи, але не викликає пошкоджень системи і не створює загрози життю і здоров'ю людей

(розробка автора і [66])

Розуміння фізичних процесів, що лежать в основі несправностей різних видів, а також збір даних, пов'язаних з попереднім застосуванням машини, її технічним обслуговуванням, результатами контролю, періодом безвідмовної роботи, характером роботи машини в різних умовах при різних показниках продуктивності необхідні для прогнозування розвитку несправності.

Прогноз чи прогнозування має цінність тільки в заданих межах рівня довіри. Чим більші межі, тим менше значимість прогнозу, так як прийняте оператором рішення ґрунтується на прийнятному рівні ризику. Типова схема процедури контролю стану і побудови прогнозу включає в себе підетапи, які передбачають визначення рівнів довіри і процедуру підтвердження прогнозу.

Довірчий рівень (confidence level): Кількісний показник ступеня правильності діагнозу або прогнозу. [16]

Дана величина відображає сумарний вплив джерел невизначеності на ступінь впевненості в точності діагнозу або прогнозу. Вона може бути розрахована за певним алгоритмом або являти собою вихідне значення автоматизованої системи діагностування (наприклад, нейронної мережі).

Рівень довіри є відображає у відсотках числову характеристику того, з яким ступенем визначеності можна стверджувати про правильність діагнозу або прогнозу.

Ця числова характеристика показує сумарний ефект впливу всіх джерел невизначеності на точність остаточного висновку. Вона може бути отримана як сума зважених невизначеностей від різних джерел або за певним (заданим) алгоритмом.

Процедура визначення рівня довіри включає в себе облік інформації, яка відноситься до різних параметрах механізму. До таких параметрів можна віднести: історію ТО механізму, конструкцію і характерні види відмов механізму, характеристика методів аналізу, граничні значення контрольованих параметрів, інтервали між вимірами, процедура і оцінка даних, процедура при постановці діагнозу і складання прогнозу, майбутніх навантажень і умов роботи механізму, і т. ін.

Можливість передбачати розвиток накопичень пошкоджень в машині при наявності заданих критеріїв контролю досягається методами одночасного аналізу великої кількості параметрів і застосовуваними в них моделями. [74]

Багатофакторний аналіз включає в себе одночасне використання відповідних даних однією системою моніторингу. Такий спосіб аналізу кращий при прогнозуванні стану технічної системи, 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 технічної системи. [66 , 49]

Для прогнозування майбутніх відмов технічної системи, перш за все, слід визначити критерії їх настання через що впливають фактори, приймаючи до уваги, що один і той же параметр може служити в якості впливаючого фактору для наступаючої відмови і використовуватися в якості ознаки зародження несправності, що приводить до майбутньої відмови . При цьому основна причина відмови даного виду може бути визначена через набір параметрів, значення яких прямо або побічно вказують на ступінь розвитку несправності. [66 , 49]

Таким чином, прогноз зародження несправності (пошкодження) технічної системи, що веде до відмови певного виду, ґрунтується на встановленні критеріїв зародження несправності.

Результатом прогнозування є ймовірність настання тієї чи іншої несправності елемента технічної системи протягом заданого періоду часу. [66]

Для більш наочного застосування методу багатофакторного аналізу приймемо за складну технічну систему відцентровий насос НЦВ 63 / 30.

Суднові відцентрові вертикальні насоси НЦВ застосовуються для перекачування морської і прісної води з температурою до + 85 °С, розсолу. Призначені для кораблів, суден, плавзасобів усіх класів, типів і призначень. Також насоси можуть застосовуватися в наземних установках без пред'явлення до них специфічних судових вимог. Також насоси НЦВ можуть застосовуватися в наземних установках без пред'явлення до них специфічних

суднових вимог. Матеріал проточної частини: бронза; подача 63 м<sup>3</sup> / год; натиск 30 м; потужність комплекуючого електродвигуна - 11 кВт.

### **2.3 Методи прогнозування зародження та розвитку несправностей**

Прогнозування - це передбачення майбутнього на підставі накопиченого досвіду і поточних припущень щодо нього. [75 , 76]

Методами прогнозування називають сукупність прийомів і оцінок, що дають змогу на підставі аналізу колишніх (ретроспективних) внутрішніх і зовнішніх зв'язків, притаманних об'єкту, а також їхніх змін зробити достатньо вірогідне судження щодо майбутнього розвитку об'єкта. Нині кількість відомих методів і прийомів прогнозування перевищує 150. Вибір методів прогнозування здійснюється згідно з характером об'єкта та вимогами, які пред'являються до інформаційного забезпечення прогнозів. [77]

Прогнозування дозволяє визначати:

- Час настання майбутнього відмови;
- Блоки, в яких можлива відмова;
- Число і характер відмов у майбутньому (планувати роботи в майбутньому);
- Прогнозування технічного стану є кінцевим результатом процесу технічної діагностики.

У дослідженні запропоновано два методи прогнозування – аналітичний і ймовірнісний.

Аналітичні методи - це переважно методи нормативного прогнозування, що передбачають побудову і аналіз моделі розвитку об'єкта прогнозування виходячи з встановленої (заданої) цілі розвитку.

Аналітичний метод дозволяє здійснити логічний аналіз будь-якої прогнозованої ситуації і представити його у вигляді аналітичної записки [78]. Він передбачає самостійну роботу експерта над аналізом тенденцій, оцінкою стану і шляхів розвитку прогнозованого об'єкта.

У загальному випадку аналітичні методи прогнозування передбачають



вирішення наступних основних завдань [79 , 80 , 81]:

1) побудова логічної моделі розвитку об'єкта прогнозування на період попередження і її аналіз;

2) кількісна прогнозна оцінка закономірностей (напрямок) розвитку об'єкта, зв'язків між його елементами, тобто кількісна оцінка моделі;

3) вибір і обґрунтування найкращих шляхів, напрямків або умов розвитку об'єкта прогнозування в майбутньому на основі отриманих прогнозних оцінок.

Рішення першої та другої задач може здійснюватися із залученням інтуїтивних методів прогнозування. Так, побудувати модель розвитку об'єкта прогнозування можна за допомогою методу "комісій", колективно, в умовах спілкування експертів один з одним. Процес побудови повинен тривати до тих пір, поки вид, форма, склад і структура моделі не будуть задовольняти всіх експертів [82 , 83]. Причому група може починати роботу як з "чистого аркуша", не маючи ніяких вихідних даних для майбутньої моделі, так і з запропонованими прогнозистами можливими варіантами моделі, які в процесі роботи можуть виключатися, коригуватися, доповнюватися і уточнюватися.

В основу аналітичних методів прогнозування (кривих зростання) покладено принцип одержання за допомогою методу найменших квадратів оцінки детермінованої компоненти, що характеризує основну тенденцію. [84]

Найбільш простим випадком вирішення задачі прогнозування аналітичним методом є випадок, коли характер зміни функції в часі в області  $T_1$  вдається адекватно описати аналітичним рівнянням, наприклад,  $f(t) = a/t + b$ . Для отримання аналітичного рівняння застосовуються методи, використовувані в теорії інтерполяції. Завдання інтерполяції полягає в знаходженні значень функції  $jf(t_0)$  для проміжних значень аргументу  $t_i < t < t_{i+p}$   $i = 0, 1, \dots, k$ .

На рисунку 2.5 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  $t_{n-j}$ .

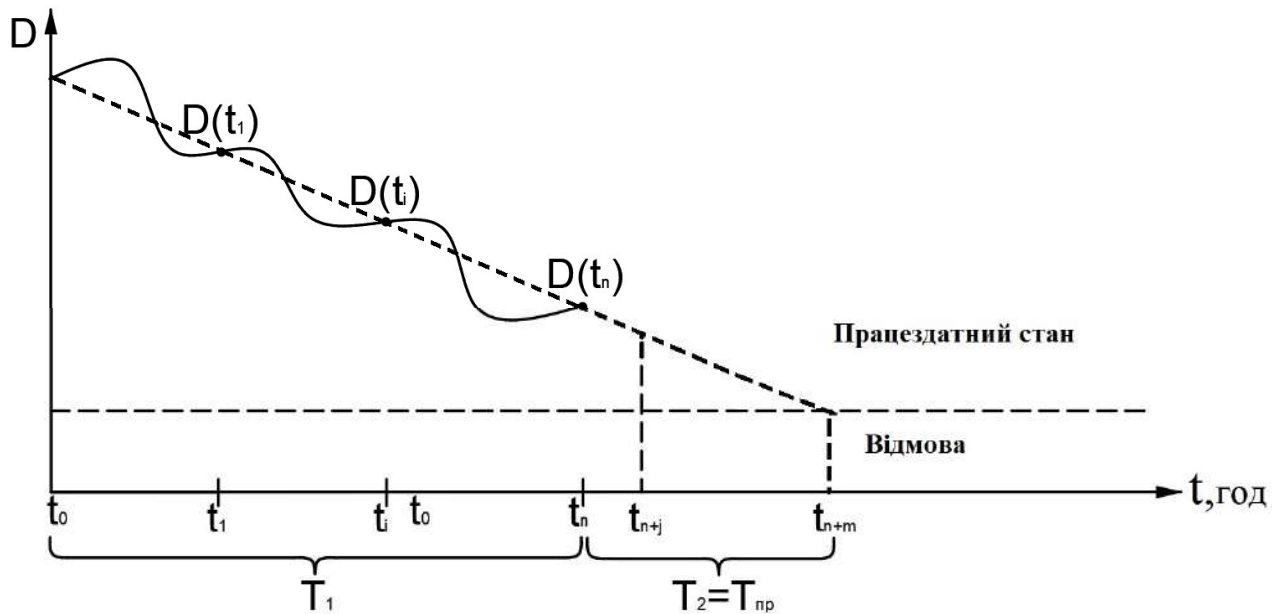


Рисунок 2.5 – Аналітичний прогноз визначення моменту переходу системи у стан відмови  
(власні розробки автора)

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:

$$D_i(t) - A(t) \leq \varepsilon_m \quad \forall t_1 \leq t \leq t_n \quad (2.3)$$

де:  $\varepsilon_m$  – наперед задані позитивні числа;

$A(t)$  – алгебраїчний багаточлен.

Коефіцієнти багаточлена визначаються методом найменших квадратів:

$$\sum_{j=1}^J [D_i(t_j) - A(t_j)]^2 \rightarrow \min \quad (2.4)$$

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.

Методи імовірнісного прогнозування спираються на теорію ймовірностей, математичну статистику і теорію випадкових процесів.

До цих методів прогнозування відносять [85 , 86 , 87]:

- методи багатofакторного аналізу (регресивні моделі, адаптивне згладжування, метод групового обліку аргументів, імітаційні моделі, багатовимірна фільтрація та ін.);

- методи однофакторного прогнозування (експоненціальне згладжування, метод змінного середнього, метод різницевих рівнянь, спектральні методи, метод Марковських ланцюгів, оптимальні фільтри, сплайн функції, метод авторегресії та ін.).

Прогноз може бути складений за одним або кількома діагностичними параметрами. [47 , 48] Багатofакторний 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 2.6).

Принциповою відмінністю між стандартною процедурою аналізу набору параметрів у процесі моніторингу і багатofакторним 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).

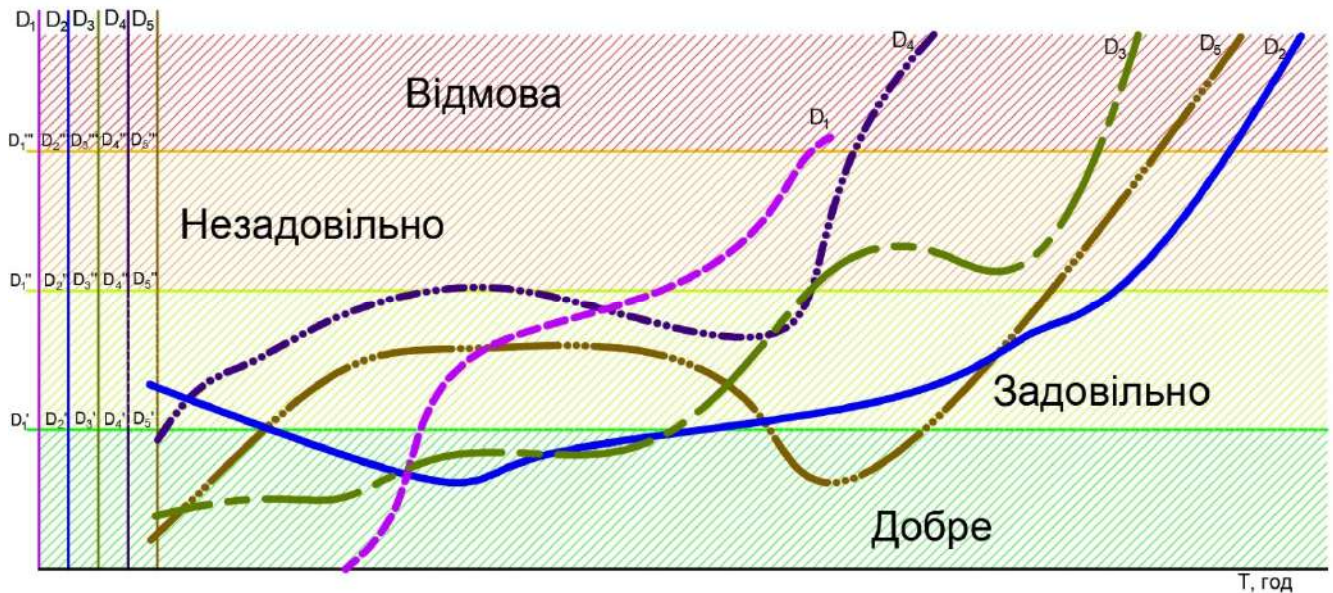


Рисунок 2.6 – Приклад одночасного відображення декількох параметрів відцентрового насоса НЦВ:

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

З графіка видно, що кожен параметр так чи інакше впливає на роботу насоса. По осі X відлічується час роботи (або кількість відпрацьованих годин) механізму, по осях Y - контрольовані параметри насоса з позначенням контрольних точок зміни стану механізму, кольором показано норми стану насоса (зелений - добрий, жовтий - задовільна, оранжевий - незадовільний, червоний - відмова).

Кожен параметр може розглядатися як одна з рушійних сил розвитку існуючої несправності, але він також може впливати (та впливає) на розвиток інших несправностей і на зародження майбутніх відмов.

Наприклад: посилилася вібрація у наслідок зносу підшипників (первинна відмова), що викликала просідання або викривлення валу (вторинна відмова). Вторинна відмова розвивається швидше, ніж первинна, і в міру викривлення валу відбувається зачіпання робочого колеса за корпус, що розвивається з цим пошкодження крильчатки і корпусу - причини третинної відмови).

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

$$D_i(t + T_{\text{пр}}) = D_{i_{\text{дет}}}(t + T_{\text{пр}}) + D_{i_{\text{сл}}}(t + T_{\text{пр}}) \quad (2.5)$$

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.

Алгоритм технічного прогнозування – послідовність операцій з прогнозування технічного стану:

- 1) Визначення минулого стану СДМ РТ  $S(t - T_{из})$ .
- 2) Технічне діагностування та визначення технічного стану СДМ РТ в даний момент часу.
- 3) Обробка результатів за даними і визначення закономірності зміни технічного стану.
- 4) Прогнозує розрахунок і визначення технічного стану СДМ РТ на прогнозованому інтервалі  $T_{пр}$ .

Результати прогнозування.

Залежно від того, як представляються результати прогнозування, прогнозування технічного стану можна розділити на два види:

Аналітичне прогнозування - при аналітичному прогнозуванні результати прогнозування представляються в тій же розмірності, що і діагностичні параметри, тобто мета прогнозування - обчислення контрольованого параметра в майбутньому.

Розподіл усіх прогнозування - обчислення ймовірності того, що діагностичний параметр в майбутньому вийде (або не вийде) за межі допуску.

Аналітичне прогнозування реалізується в такий спосіб - діагностичний параметр, який характеризує технічний стан СДМ РТ змінюється в часі по монотонної функції. Значення діагностичного параметра відомо в інтервалі  $t_1$ , в результаті прогнозу за відомими значеннями діагностичних параметрів  $V(t_1) \dots V(t_n)$  потрібно знайти значення параметра  $V(t_{n+m})$  і за цими результатами визначити часовий інтервал працездатного стану виробу в майбутньому.

Вирішення цього завдання базується на методах чисельного аналізу: функцію  $V(t)$  замінюють функцією  $A(t)$  таким чином, що на інтервалі часу  $T_1$  виконується умова рівності цих функцій.

$$T_1: V(t_1) \dots V(t_{n-1}) = A(t_{n-1}) \quad (2.6)$$

$$T_2: V(t_n) - A(t_n) \leq \varepsilon_0 \quad (2.7)$$

$$V(t_{n+m}) - A(t_{n+m}) \leq \varepsilon_m \quad (2.8)$$

$\varepsilon_i$  – наперед задані позитивні числа

$A(t)$  – алгебраїчний многочлен.

Далі проводяться операції інтерполяції – знаходження значень  $V(t)$  для проміжних значень аргументу, при цьому оперують функцією  $A(t)$ . Екстраполювання - визначення кінцевого значення функції  $V(t)$  в області  $T_2$  за допомогою функції  $A(t)$ .

Приклад:  $A_{\text{пр}}(t) = \sum_{k=1}^M \alpha_k \varphi_k(t)$  а коефіцієнти  $\alpha_k = f(V(t_c))$ ,  $\varphi_k(t)$  - найпростіша функція від поточного значення аргументу. У підсумку завдання зводиться до визначення  $\alpha_k$  Коефіцієнти визначаються виходячи з наступної умови:

$$\sum_{i=1}^n [V(t_i) - A(t_i)]^2 \rightarrow \min \quad (2.9)$$

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  $D_i$ .

$$P[D(t) < D_{\text{доп}}] = \int_{-\infty}^U \omega_t(D) dU \quad (2.10)$$

$$\omega(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_t(V)} \cdot e^{-\frac{((D(t))-\bar{D}(t))^2}{2\sigma_t^2(V)}} \quad (2.11)$$

$$\bar{D}(t) = \sum_{i=1}^n D_i P_i \quad (2.12)$$

$$\sigma_t(D) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2 P_i} \quad (2.14)$$

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

Діагностичні моделі – моделі об'єктів технічного діагностування їх формалізоване опис, яке є вихідними для визначення і реалізації алгоритмів діагностування.

Діагностичні моделі являють собою математичні моделі, які дозволяють формувати алгоритми визначення технічного стану СДМ РТ.

Безперервні моделі – уявлення об'єктів технічного діагностування та процесів технічного діагностування як функцію, безперервно змінюється в часі, є диференціальні лінійні і не лінійні рівняння і передавальні функції.

Дискретні моделі – визначають технічний стан об'єкта діагностування для послідовності значень часу, як правило, без урахування характеру протікають в проміжках процесів. Ці моделі видаються різницевиими рівняннями і використовуються для опису імпульсних і цифрових пристроїв.

Гібридні моделі – є результатом з'єднання безперервних і дискретних моделей і підходять для опису всіх типів пристроїв.

Спеціальні моделі – їх побудова визначається специфікою об'єкта технічного діагностування та особливостями діагностичного забезпечення. До цієї групи відносять:

- Функціональні моделі
- Моделі характеристик
- Інформаційні потоки

Методи представлення взаємозв'язків між станами об'єктів, його елементами і параметрами вихідних сигналів, дозволяє розділити моделі на:

- Аналітичні моделі;
- Графоаналітичні моделі;



- Функціонально-діагностичні моделі;
- Інформаційні моделі.

Будуються орієнтовані графи безпосередньо за функціональною схемою СДМ РТ. Будь-яка функціональна схема може бути представлена логічною структурною схемою формування і проходження сигналів в якій закладена інформація про стан СДМ РТ.

$$G(x, v) \quad (2.15)$$

де:  $x$  – безліч вершин,  $v$  – безліч дуг, що з'єднують ці вершини.

Функціонально діагностичні моделі лежать в основі складання багатьох діагностичних моделей. Вона спрощує уявлення про складні залежності та процеси. Дозволяє з мінімальними витратами вирішувати проблеми діагностичного забезпечення технічної діагностики. Функціонально діагностична модель будується на основі функціональної схеми пристрою.

Поряд з пошуком дефектів і визначенням технічного стану СТЗ в конкретний момент часу однією з найважливіших проблем є прогнозування технічного стану, що полягає в прогнозі стану об'єкта в прогнозований момент часу, або тимчасового інтервалу, протягом якого об'єкт не змінить свого технічного стану.

Процеси прогнозування і аналізу ризиків відбуваються на основі всіх зібраних даних і аналізу можливих (характерних) відмов і причин їх виникнення.

Процес прогнозування ґрунтується на методології, яка може включати в себе відомі моделі розвитку несправностей, такі як, метод FMECA, аналіз дерева причинно-наслідкових зв'язків розвитку несправностей, методи оцінки ризику відмови, фізичні моделі зародження та розвитку пошкоджень, методи побудови трендів і визначення залишкового ресурсу при заданому рівні довіри і ризик. За допомогою цих моделей можливо отримати дані про види відмов і взаємозв'язках між ними, ступені і швидкості відмови механізму, ризик відмови.

Прогнозування зміни значення того чи іншого діагностичного параметра в часі можна виконувати на основі регресійного аналізу. При цьому в якості опції використовуємо поліноміальну залежність.

Розрахунок поліноміальних залежностей можливо розрахувати за допомогою комп'ютеризованих систем Excel, онлайн калькуляторів, та найкраще та найзручніше використовувати повнофункціональний пакет для побудови наукових графіків Grapher.

Grapher - програма від Apple для побудови графіків рівнянь з наочним представленням результатів. Це повнофункціональний пакет для побудови наукових графіків, що дозволяє користувачеві імпортувати дані в багатьох форматах, створювати і комбінувати велику кількість типів дво- і тривимірних графіків і налаштовувати графіки з нескінченної деталізацією. [88]

Grapher – це ефективна і потужна графічна програма для всіх найскладніших графічні потреб. З його допомогою можливо створювати графіки та сюжети для презентацій, статті, маркетинг, аналіз, продажі тощо.

Grapher дозволяє швидко будувати графіки різних рівнянь, включаючи параметрично задані криві і поверхні, диференціальні рівняння, дискретні ряди і кускові функції [89].

Графіки можуть змінювати зовнішній вигляд графіків. Можна міняти колір ліній, накладати на поверхні текстури, вводити коментарі і т. і.

У програмі можливо аналізувати рівняння, для яких будуються графіки. Можна знайти дотичну або перпендикуляр в будь-якій точці на графіку. Проінтегрувати рівняння, щоб знайти площу фігури, обмеженої кривою, або площа поверхні. Також можна знайти точки перетину двох кривих. Після створення графіка можливо поділитися ним з іншими користувачами, створивши анімацію або зображення. Можна показати, як змінюється графік в залежності від параметра. Можна також показати, як обертається 3D-графік в просторі.

## 2.4 Марківські процеси переходу системи між рівними технічними станами

Перехід з одного технічного стану в інше є випадковим процесом і притаманний СДМ РТ як об'єкту технічного діагностування.

До цього розглядалися тільки такі системи, які могли перебувати щонайбільше в двох або трьох різних станах. У цьому розділі будуть розглянуті більш складні системи, які в будь-який момент часу можуть знаходитися в одному з безлічі можливих станів. Кожне таке стан системи може бути описано зазначенням безлічі працездатних елементів. У загальному випадку кількість станів системи залежить від кількості елементів системи і від можливого числа станів кожного з них. У всіх моделях, які будуть розглянуті, кількість станів системи передбачається кінцевим.

Характер переходу системи зі стану в стан буде зазвичай передбачатися Марківським, тобто таким, що все майбутню поведінку системи залежить лише від її справжнього стану і не залежить від її минулого поведінки. Є принаймні дві суттєві причини для прийняття Марківської моделі при описі процесу переходів системи зі стану в стан. По-перше, якщо кожен з елементів системи має приблизно експоненціальне розподіл часу роботи до відмови, то і поведінка всієї системи може бути добре описано Марківським процесом. По-друге, в нервом наближенні опис більшості фізичних систем таке, що знання будь-якої передісторії цієї системи не представляє великої цінності для передбачення її поведінки в майбутньому. Марківський процес якраз і є хорошою ймовірнісною моделлю для подібного типу процесів. [90 , 91]

Марківський процес представляється реалістичною і зручною моделлю такого процесу [90], що дозволяє зв'язати імовірнісні характеристики переходів з параметрами СДМ РТ як об'єкта технічного діагностування.

$P(S_i)$ - ймовірність знаходження стану

Перехід з одного стану в інший є дискретним.

Система рівнянь Колмогорова - Чепмена складається за таким правилом, похідна ймовірності кожного стану дорівнює сумі всіх потоків ймовірностей

йдуть з іншого стану в даний мінус сума всіх потоків ймовірностей, що йдуть з даного стану в інші. Іноді Марківська модель може бути представлена в матричному вигляді:

$$|P| = \begin{vmatrix} p_{11}, p_{12} & \dots \\ p_{21}, p_{22} & \dots \end{vmatrix} \quad (2.16)$$

де  $P_{ij}$  – ймовірність переходу виробу зі стану  $S_i$  в  $S_j$ . Передбачається що ймовірність перебування виробу в будь-якому стані ймовірність переходу підпорядковується експоненціальним законом.

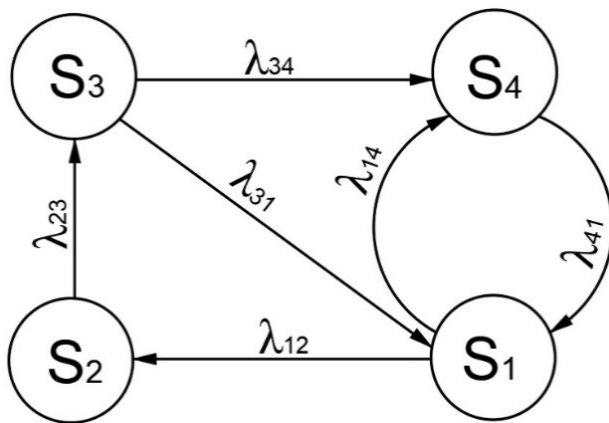


Рисунок 2.7 – Графік стану процесу  
(власні розробки автора та [90])

дискретних станів ( $S_1 \dots S_2$ ), яку зручно ілюструвати за допомогою графа станів, де дугами вказані можливі переходи, а вершинами - технічні стани. Безперервний ланцюг Маркова – модель опису РЕО як об'єкта технічного діагностування. Як випадковий процес з дискретними станами і безперервним часом, характеристиками переходів є інтенсивності переходів ( $\lambda_{ij}$ ).

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

Сутність Марківського процесу. Для будь-якого моменту часу  $t$  ймовірність будь-якого технічного стану РЕО  $P(S_i)$  залежить тільки від її технічного стану в даний момент і не залежить від того коли і яким чином виявилося в цьому стані (тільки  $P(S_i)$  або  $P(S_j)$ ). Для моделювання вибирається набір

$$\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1 \quad (2.17)$$

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

$$\frac{\delta P_i(t)}{\delta t} = \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} \cdot P_j(t) - P_i(t) \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} \quad (2.18)$$

де:  $\omega$  – щільність розподілу;

$\lambda_{12}$  – інтенсивність переходу з  $S_1$  в  $S_2$ .

Похідна ймовірності кожного стану дорівнює сумі всіх потоків ймовірностей, що йдуть з інших станів в даний мінус сума всіх потоків ймовірностей, що йдуть з даного стану в інші. Така система диференціальних рівнянь називається системою рівнянь Колмогорова-Чепмена.

$$\frac{\delta P_2}{\delta t}, \frac{\delta P_3}{\delta t}, \frac{\delta P_4}{\delta t}, \quad (2.19)$$

$$\frac{\delta P_1}{\delta t} = \lambda_{31}P_3 + \lambda_{41}P_4 - P_1(\lambda_{12} + \lambda_{14}) \quad (2.20)$$

$$\frac{\delta P_2}{\delta t} = \lambda_{12}P_2 - \lambda_{23}P_2 \quad (2.21)$$

$$\frac{\delta P_3}{\delta t} = \lambda_{23}P_2 - P_1 \quad (2.22)$$

Рішення здійснюється різними методами, в тому числі і перетворенням Лапласа. Імовірність знаходження СДМ РТ в різних станах підпорядковується експоненціальним законом.

Якщо при описі Марківського процесу припустити, що з моменту переходу виробу в стан  $S_i$  до переходу в  $S_j$  випадкове час перебування виробу в 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 в реальних системах з періодичним контролем. Формальний опис напівмарківського процесу зводиться до наступного: є кінцева безліч станів  $S$  переходи зі стану  $S_i$  в стан  $S_j$  відбуваються у випадкові моменти часу. Всі стани пов'язані в Марківський ланцюг і характеризуються вірогідністю переходу  $P_{ij}$  утворюючих матрицю  $P$ . Перехід у  $S_i$  здійснюється в момент часу  $t_k$ , а наступне в  $t_{k-1}$ , 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  $F_{ij}(t)$ , яке  $P(\tau(i, j) \leq t)$ . Тобто на відміну від Марківського процесу напівмарковський задається двома матрицями  $\|P_{ij}\|, \|F_{ij}\|$  – ймовірність переходу з  $(S_i)P(S_j)$ . [92]

Є можливість задати напівматриці однієї матрицею:

$$Q = \|q_{ij}\|(t) \quad (2.23)$$

$\|q_{ij}\|(t)$  – являють собою ймовірність того, що з початкового стану  $S_i$  виріб переходить в стан  $S_j$  і час перебування виробу в стані  $S_i$  не перевищить величини  $t$ .

Вибір сукупності діагностичних параметрів і первинний контроль технічного стану СДМ РТ залежить від [93]:

- Цільовий функції об'єкта;
- Стратегією технічного обслуговування;
- Набір засобів технічного діагностування;
- Час (трудомісткість), вартість діагностування.

Інформативність – кінцева безліч обраних параметрів достатніх для однозначного визначення виду технічного стану. Перевірка функціонування РЕО передуює процесу проведення контролю працездатності:

Органолептичний - заснований на почуттях оператора.

Використання керівництво з технічної експлуатації РЕО - нормативна документація може містити таблиці з переліком параметрів дозволяють виявити основні ознаки, які характеризують функціонування або припинення такого шляхом візуального спостереження.

На практиці не всі параметри піддаються прямим електричним вимірам, в цьому випадку. У цьому випадку безліч прямих параметрів доповнюється підмножиною непрямих параметрів.

Виробничі допуски – встановлюються технічними умовами для параметра СДМ РТ або елемента, обладнання.

Експлуатаційні допуски – встановлюються інструкцією по експлуатації та експлуатаційними документами (технічними умовами на поставку), а також технологічними вказівками з виконання регламентних робіт по виробу. Вони більше або дорівнюють виробничим.

Ремонтні допуски -встановлюється в ремонтній документації СДМ РТ, за своїми значеннями ближче до виробничих, про менше експлуатаційних.

Параметр СДМ РТ характеризує технічний стан слід розглядати як випадкову величину. Імовірність перебування об'єкта діагностування в стані працездатності або відмови будуть визначатися в такий спосіб:

$$P(O) = \int_{-\infty}^{U_H} \omega(D)dU + \int_{U_B}^{\infty} \omega(D)dU \quad (2.24)$$

Як наслідок впливу шумів, перешкод та інших факторів замість величини  $U$  ми маємо  $D(t) = D + D_{\Pi}(t)$ .

Нехай СДМ РТ характеризується рядом взаємопов'язаних параметрів:

$P(D_i)$  – ймовірність знаходження параметра  $U_i$  в межах допуску;

$C(D_i)$  – вартість контролю всіх параметрів для визначення значення  $V_i$ .

$t_d(D_i)$  – час для діагностування.

Кожному з станів  $S_i$  відповідає ймовірність  $P_j$ :

$$P(S/D_i) = \frac{P(S)P(D_i/S)}{P(S)P(D_i/S)+P(0)P(D_i/0)} \quad (2.25)$$

$P(S/D_i)$  – ймовірність перебування РЕО в стані S (в даному випадку працездатний стан) за умови, що перевірка  $V_i = 1$  має позитивний результат.

$P(S)$  – ймовірність перебування апріорно в працездатному стані.

$P(D_i/S)$  – ймовірність того, що перевірка  $V_i$  дає позитивний результат при знаходженні СДМ РТ в працездатному стані.

$P(0) = 1 - P(S) = P(\bar{S})$  – апріорна ймовірність знаходження системи в стані відмови.

$P(D_i/0) = 1 - P(\bar{D}_i/0)$  – ймовірність того, що перевірка  $V_i = 1$  дає позитивний результат при знаходженні СДМ РТ в непрацездатному стані.

$$P(S/D_i) = \frac{P(S)P(D_i/S)}{P(S)P(D_i/S)+P(0)[1-P(\bar{D}_i/0)]} \quad (2.26)$$

Припустимо, що помилки у визначенні технічного стану не буде, тоді  $P(D_i/S) = 1$ .

$$P(S/D_i) = \frac{P(S)}{P(S)+P(0)-P(0)P(\bar{D}_i/0)} \quad (2.27)$$

Оскільки реалізується алгоритм перевірки працездатного стану, то  $P(S) = 1$ , тоді:

$$P(S/D_i) = \frac{1}{1-P(0)P(\bar{D}_i/0)} \quad (2.28)$$

кожна перевірка  $V_i$  несе певну міру інформації про працездатному стані СДМ РТ в обсязі:



$$I_{V_i \rightarrow S_i} = \log_2 \frac{P(S/D_i)}{P(S)} = \log_2 \frac{1}{1 - P(0)P(\bar{D}_i/0)} \quad (2.29)$$

Отже, максимум  $I_{V_i \rightarrow S_i}$  відповідає  $\max\{P(0)P(\bar{D}_i/0)\}$

На основі функціональної схеми СДМ РТ будуватися функціонально-діагностична модель за якою визначаються на основі інформаційної моделі значимість кожної перевірки (та міра інформації, яку несе елементарна перевірка про загальний технічний стан СДМ РТ).

Критерій «надійність – витрати». Доцільно використовувати цей критерій, якщо відмова системи призводить до невиконання відповідальних функцій і наслідки відмов цього класу систем не вдається оцінити економічно.

Домінуючий фактор в даному випадку при оцінці відмов - факт невиконання завдань.

З урахуванням того факту, що система визнавалася працездатною.

Критерій максимуму технічного використання або коефіцієнта готовності. Доцільно використовувати цей критерій, якщо матеріальна шкода від відмови системи не вдається оцінити кількісно і її функціонування не пов'язано з використанням відповідальних функцій. При безперервному режимі роботи системи слід застосовувати коефіцієнт технічного використання. Критерій оптимізації періодичності виробу ґрунтується на максимальних значеннях коефіцієнтів при обмеженнях на питомі витрати або при мінімізації експлуатаційних витрат.

Вибір критерію оптимізації ґрунтується на системі класифікації систем за ознаками, встановленими для вибору оптимальної періодичності діагностування.

Мета аналізу критичності полягає в якісному визначенні відносної величини кожного наслідку відмови. Значення цієї величини використовують для встановлення пріоритетності дій по усуненню відмов або зниження їх наслідків на основі комбінації критичності відмов і тяжкості їх наслідків. [66]

Одним з методів оцінки критичності є визначення значення ризику  $R$ . В якості загальної міри потенційного ризику  $R$  в FMECA використовуємо величину

$$R = V \cdot P \cdot U \quad (2.30)$$

де  $V$  - ймовірність появи відмови;

$P$  - значення тяжкості наслідків, тобто ступеня впливу відмови на СТС;

$U$  - вразливість (незахищеність) СТС.

Точне чисельне визначення стану ризику найчастіше розрахувати неможливо, тому авторами пропонується використовувати в даній задачі метод нечітких множин. Для цього визначимо шкали значень для  $V$ ,  $P$  і  $U$ .

$V$  - ймовірність появи відмови

$V = 1$  - незначна (всі параметри задовільні);

$V = 2$  - мінімальна (зародження несправності по одному або декількох показниках);

$V = 3$  - істотна (стан хоча б 1 параметра незадовільний);

$V = 4$  - критична (незадовільний стан СТС);

$V = 5$  - катастрофічна (відмова СТС).

$P$  - значення тяжкості наслідків, тобто ступеня впливу відмови на СТС;

$P = 1$  - незначна (без неприємностей);

$P = 2$  - мінімальна (буде потрібно ремонт з незначними витратами);

$P = 3$  - істотна (буде потрібно ремонт зі значними витратами);

$P = 4$  - критична (критичні наслідки для СТС і екології);

$P = 5$  - катастрофічна (катастрофа зі шкодою для екології і людськими жертвами).

$U$  - вразливість (незахищеність) СТС.

$U = 1$  - незначна (мається дублюючий агрегат);

$U = 2$  - мінімальна (маються СЗЧ і команда, яка має досвід робіт по ремонту СТС);

$U = 3$  - істотна (маються СЗЗ, але немає кваліфікованої команди);

$U = 4$  - катастрофічна (немає СЧЗ і команди).

При такому підході максимальний і мінімальний ризику складуть:

$$R_{min} = V \cdot P \cdot U = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1 \quad (2.31)$$

$$R_{max} = V \cdot P \cdot U = 5 \cdot 5 \cdot 4 = 100 \quad (2.32)$$

Зручність даного методу полягає в тому, що експлуатаційник може сам призначити величину прийнятного ризику в залежності від фактичного стану і фінансових можливостей судновласника.

Такий метод прийнятного ризику дозволяє розробити оптимальний план робіт з технічного обслуговування і ремонту складних технічних систем.

Інтервальна оцінка: Інтервал, обмежений верхньою і нижньою межами статистики.

Однією з граничних точок інтервалу можуть бути  $+\infty$ ,  $-\infty$ , або природна межа значень параметра. Наприклад, нуль - природна нижня межа інтервального оцінки дисперсії генеральної сукупності. У подібних випадках інтервал часто називають одностороннім інтервалом.

Інтервальна оцінка може бути представлена при визначенні оцінки параметра. Передбачається, що інтервальна оцінка накриває значення параметра у встановленій частці випадків в умовах багаторазового повторення відбору вибірки або в іншому імовірнісний сенсі.

Три часто використовуваних виду інтервальних оцінок включають довірчі інтервали для параметра, предіндекційні інтервали для майбутніх спостережень і статистичні толерантні інтервали на частку розподілу.

Толерантний інтервал: Інтервал, який визначається за випадковою вибіркою таким чином, що з заданим рівнем довіри він накриває, щонайменше, встановлену частку генеральної сукупності.

Довірча межа – кожна з меж, нижня  $T_1$ , верхня  $T_2$  для двостороннього довірчого інтервалу або межа  $T$  для одностороннього інтервалу. [94]

Довірчий інтервал: Інтервальна оцінка  $(T_0, T_1)$  параметра  $\Theta$  зі статистиками і  $T_1$  як кордонів інтервалу, для яких

$$P[T_0 < \theta < T_1] \geq 1 - \alpha \quad (2.33)$$

Рівень довіри відображає частку випадків, коли довірчий інтервал накриває реальне значення параметра для довгої серії повторюваних випадкових вибірок при однакових умовах. Довірчий інтервал не відображає ймовірність того, що отриманий за спостереженнями довірчий інтервал містить істинне значення параметра інтервал може як накривати, так і не накривати справжнє значення).

По відношенню до довірчого інтервалу використовують показник  $100(1 - \alpha)\%$ , де  $\alpha$  мале позитивне число. Цей показник називають коефіцієнтом або рівнем довіри, часто його задають рівним  $95\%$  або  $99\%$ . Нерівність  $P[T_0 < \theta < T_1] \geq 1 - \alpha$  вірна для всіх невідомих значень параметра генеральної сукупності  $\Theta$ .

Односторонній довірчий інтервал: Довірчий інтервал, одна з кінцевих точок якого дорівнює або є природним кордоном значень випадкової величини.

Визначення може бути застосовано і в тому випадку, коли значення, і в тому випадку, коли значення. Односторонні довірчі інтервали використовують в тих ситуаціях, коли об'єктом дослідження є тільки нижні або лише верхні значення параметра. Наприклад, при перевірці гучності звуку з метою забезпечення безпеки стільникових телефонів верхню довірчу кордон розглядають для призначень верхньої межі гучності звуку в передбачуваних умовах безпеки. У разі механічних випробувань може представляти інтерес нижня довірча межа зусилля, при якому пристрій відмовляє. [95]

Односторонні довірчі інтервали зустрічаються в ситуаціях, коли досліджуваний параметр має натуральну природну кордон значень, наприклад рівну нулю. Для розподілу Пуассона, використовуваного при моделюванні надходження скарг споживачів, нуль є нижньою межею. Інший приклад - довірчий інтервал для ймовірності безвідмовної роботи електронного компонента у вигляді  $(0,98; 1)$ , де одиниця - природна верхня межа значень ймовірності. [96]

Якщо  $T$  – функція від спостережуваних значень така, що для оцінки параметра розподілу сукупності  $\Theta$  ймовірність  $\Pr(T \geq \Theta)$  або ймовірність  $\Pr(T \leq \Theta)$  дорівнює  $(1-\alpha)$ , де  $(1-\alpha)$  - константа, позитивна і менше 1, то інтервал від найменшого можливого значення  $\Theta$  до  $T$  або інтервал від  $T$  до найбільшого можливого значення  $\Theta$  - це односторонній довірчий інтервал для  $\Theta$  при довірчій ймовірності  $(1-\alpha)$ .

Кордон  $T$  довірчого інтервалу - це статистика, яка в загальних припущеннях приймає різні значення від вибірки до вибірки. [24]

Двосторонній довірчий інтервал: Якщо  $T_1$  і  $T_2$  – дві функції від спостережуваних значень таких, що для оцінки параметра розподілу сукупності  $\Theta$  ймовірність  $\Pr[T_1 \leq \Theta \leq T_2]$ , дорівнює  $(1-\alpha)$ , де  $(1-\alpha)$  - константа, позитивна і менше 1, то інтервал між  $T_1$  і  $T_2$  - це двосторонній довірчий інтервал для  $\Theta$  при довірчій ймовірності  $(1-\alpha)$ .

Межі  $T_1$  і  $T_2$  довірчого інтервалу - це статистики, які в загальних припущеннях приймають різні значення від вибірки до вибірки.

У довгому ряду вибірок відносна частота випадків, коли довірчий інтервал накриває істинне значення параметра сукупності  $\Theta$ , більше або дорівнює  $(1-\alpha)$ . [94]

## 2.5 Висновки до розділу 2

1. Питання забезпечення надійності роботи суднових технічних засобів (СТЗ) є одними з найважливіших у торговельному судноплавстві. Прогнозування стану СТЗ, як невід'ємна частина системи забезпечення надійності роботи, створює передумови для визначення раціональних термінів проведення профілактичних заходів і ремонтів. Таке прогнозування доцільно проводити на основі використання математичних моделей зміни стану окремих елементів і всієї системи. У переважній більшості випадків відмови машин і механізмів через комплексний вплив безлічі факторів навколишнього середовища і режимів роботи. Тому прогнозування технічного стану СТЗ. Таким чином, рішення проблеми підвищення рівня експлуатації і забезпечення надійної роботи передбачає здійснення комплексу заходів, одними з яких є прогнозування технічного стану складних технічних систем на базі математичного моделювання.

2. В дослідженні наведено розроблену автором концептуальну модель стратегії ТОiP СДМ РТ. Головна відмінність моделі полягає у виділенні окремого етапу – прогнозування, на якому вирішуються наступні задачі:

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

Теоретичні підвалини моделі склали системний підхід, теорія ймовірностей та теорія ризиків.

3. У дослідженні запропоновано аналітичний метод прогнозування, при якому результати представляються в тій самій розмірності, що і діагностичні параметри. Таким чином, мета прогнозування – обчислення передбачуваних значень діагностичних параметрів у заплановані моменти часу. Аналітичне прогнозування реалізується в такий спосіб - діагностичний параметр, що характеризує технічний стан СВМ РТ, змінюється у часі за монотонною функцією, коефіцієнти якої визначаються методом найменших квадратів.

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

4. З метою визначення моменту зародження та процесу розвитку несправностей в дисертації запропонований багатофакторний метод прогнозування. 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.

5. Процес переходу СДМ РТ з одного стану до іншого оцінюється в роботі за допомогою ймовірнісного методу прогнозування, розробленого на підставі розрахунку напівмарківських ланцюгів. Напівмарківські моделі дозволяють значно повніше описати процеси зміни станів у реальних системах з періодичним контролем. Запропонований метод дозволяє визначити момент переходу системи у непрацездатний стан і більш точно визначити номенклатуру і об'єми робіт з технічного обслуговування і ремонту.

### РОЗДІЛ 3

## ВПРОВАДЖЕННЯ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ НА ПРИКЛАДІ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ НЦВ 63 / 30

### 3.1 Прогнозування строків виконання робіт з технічного обслуговування й ремонту шляхом регресійного аналізу

Роторні насоси набули широкого поширення в суднових енергетичних установках. Як правило, вони використовуються для перекачування в'язких рідин - палива, масел, рідин для гідросистем. [97]

Насоси застосовуються в системах змащення суднових дизелів як транспортні насоси в системах перекачування палива і масел і як насоси гідравлічних приводів. Роторні насоси застосовуються в відповідальних суднових системах і потребують своєчасного ремонту і обслуговуванні. [98 , 99 , 100 , 101 , 102 , 103 , 104 , 105 , 106] Найбільш раціональним методом експлуатації роторних насосів є обслуговування та ремонт "за станом", коли технічне обслуговування і ремонт проводяться за результатами визначення технічного стану методами безрозбірної діагностики. При проведенні безрозбірної діагностики часто використовуються і методи прогнозування залишкового ресурсу агрегату [107 , 108]. Тому велике значення має методика проведення діагностики, а також достовірність і точність отриманих результатів. Найбільш поширеним методом діагностики роторних насосів є вібродіагностика [109 , 110]. Стосовно до роторних насосів в суднових умовах вона має ряд особливостей, які необхідно враховувати при визначенні їх технічного стану.

Як приклад розглянемо результати вібродіагностування відцентрового насоса НЦВ 63 / 30 проведеного з періодичністю 100 годин (таблиця 3.2).

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 м<sup>3</sup> / год; напір 30 м; потужність комплектуючого електродвигуна – 11 кВт.

Найчастіше насоси НЦВ 63 / 30 використовують як пожежні. [111]

У таблиці 3.1 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.

Таблиця 3.1 - 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	-	-	-	-	+	+	-	-

(власна розробка автора і [19])

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.

Таблиця 3.2 – Результати вібродіагностування НЦВ 63\30

T, годин	V, мм\с	T, годин	V, мм\с
100	4.0	1600	4.4
200	4.0	1700	4.5
300	3.9	1800	4.4
400	4.0	1900	4.5
500	4.0	2000	4.7
600	4.1	2100	4.8
700	4.0	2200	4.8
800	4.2	2300	4.9
900	4.1	2400	5.0
1000	4.2	2500	5.3
1100	4.2	2600	5.4
1200	4.3	2700	5.6
1300	4.3	2800	5.8
1400	4.4	2900	6.0
1500	4.3	3000	6.4

*(результати діагностування із джерел загального користування)*

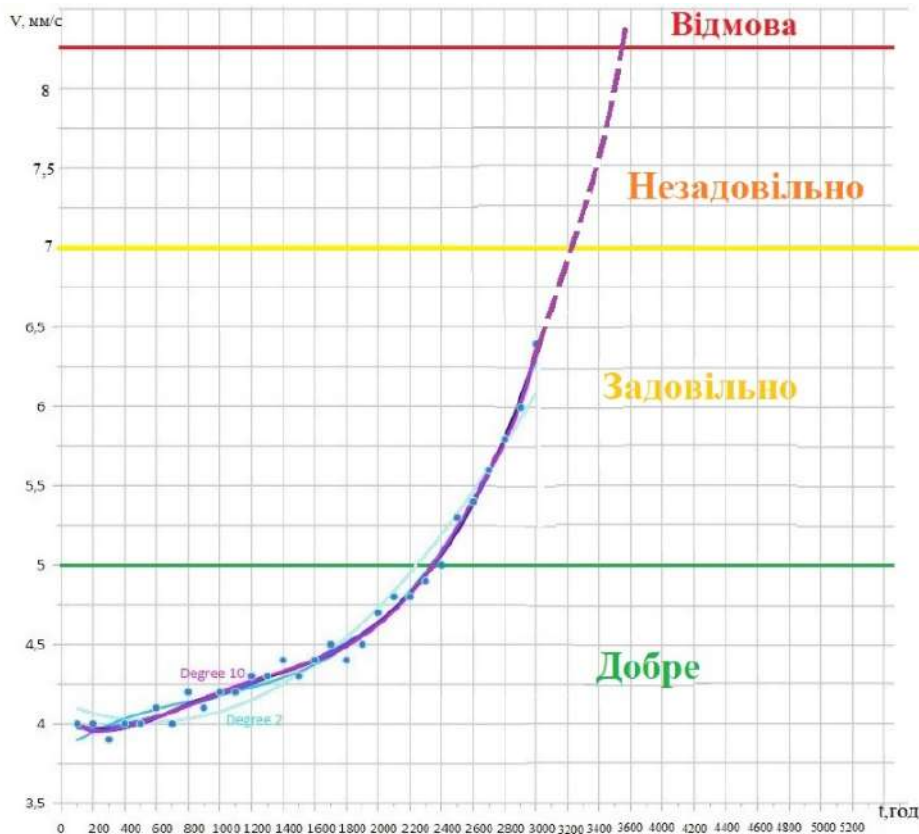
Обробка результатів поліноміальною моделлю ступенем від 2 до 10 проведена за допомогою програми Grapher.

Результати представлені на рисунку 3.1 та в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3– Поліноміальна модель ступенем від 2 до 10

Ступінь	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a <sub>0</sub>	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328
a <sub>1</sub>		- 0.55	- 0.55	- 0.55	- 0.55	- 0.55	- 0.55	- 0.55	- 0.55	- 0.55	- 0.55
a <sub>2</sub>			0.312	0.312	0.312	0.312	0.312	0.312	0.312	0.312	0.312
a <sub>3</sub>				- 0.091	- 0.091	- 0.091	- 0.091	- 0.091	- 0.091	- 0.091	- 0.091
a <sub>4</sub>					0.016	0.016	0.016	0.016	0.01591	0.016	0.016
a <sub>5</sub>						-0.0017	-0.0017	-0.0017	-0.0017	-0.0017	-0.0017
a <sub>6</sub>							0.00012	0.00012	0.00012	0.00012	0.00012
a <sub>7</sub>								-5.269E-06	-5.269E-06	-5.269E-06	-5.269E-06
a <sub>8</sub>									1.433E-07	1.433E-07	1.433E-07
a <sub>9</sub>										-2.191E-09	-2.191E-09
a <sub>10</sub>											1.439E-11
Коефіцієнт визначення	0	0.8369	0.9701	0.990	0.9929	0.99329	0.9936	0.99366	0.9938	0.993823	0.99397
Коефіцієнт кореляції	0	0.9148	0.9849	0.9952	0.9965	0.9967	0.99676	0.9968	0.9969	0.9969	0.99698
Залишкова сума квадратів	12,782	2,0851	0,3827	0.12367	0,09022	0,0858	0,0827	0,08109	0,0792	0,07896	0,0770

*(власні розробки автора та [88])*



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

Рисунок 3.1 – Поліноміальна модель  
(власні розробки автора та [88])

Вид поліноміальних залежностей:

$$V = \left( \left( \left( \left( \left( a_{10} + \frac{t}{100} + a_9 \right) \frac{t}{100} + a_8 \right) \frac{t}{100} + a_7 \right) \frac{t}{100} + i \text{ т. д. } + a_1 \right) \frac{t}{100} + a_0 \right) \quad (2.34)$$

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

Визначивши 1-ю та 2-ю похідні  $\frac{d't}{dt}$  и  $\frac{d''t}{dt}$  та прирівнявши їх до «0» можна виявити критичні точки функції, які є точками зародження і розвитку відповідної несправності.

Рівні аналізу технічного стану суднових технічних засобів

Розглянемо суднову енергетичну установку (СЕУ) як складну систему, що представляє собою об'єкт діагностування. СЕУ можна поділити на три

рівні взаємопов'язаних систем, що розрізняються між собою елементною властивістю і міжелементними зв'язками.

Перший рівень – це СЕУ в цілому, яка складається з агрегатів, апаратів, пристроїв і механізмів, в яких послідовно відбувається закінчений цикл перетворення або передачі енергії. Такі елементи системи являють собою функціонально самостійні елементи (ФСЕ). Наприклад, в паротурбінної установки: паровий котел, турбозубчатий агрегат, валопровод і гребний вал, конденсатор, конденсаційний і поживний насоси, підігрівачі конденсату. Фізичною основою зв'язків між цими ФСЕ СЕУ є процеси перенесення робочого тіла. Ці зв'язки можуть бути названі енергетичними. [112] Їх кількісною оцінкою є традиційно контрольовані параметри стану робочого тіла або середовища (тиск, температура, витрата, склад). Порушення цих зв'язків може привести до зниження потужності СЕУ, зниження теплової ефективності та експлуатаційної надійності.

Таблиця 3.4 – Енергетичні зв'язки СЕУ

Рівні аналізу технічного стану СЕУ	Характер міжелементних зв'язків	Параметри кількісної оцінки зв'язків
I. СЕУ в цілому, що складається з ФСЕ	енергетичні	Параметри стану робочого тіла
II. ФСЕ, що складаються з деталей, вузлів	механічні	структурні параметри
III. деталі вузли	молекулярні	структурні параметри

На другому рівні аналізу СЕУ як об'єкти діагностування розглядаються ФСЕ, тобто машини, механізми, апарати і пристрої, з яких складається СЕУ. Елементами підсистеми цього рівня є деталі або вузли, [113 , 114] а фізичною основою зв'язків слід вважати процеси взаємодії деталей, які визначаються наявністю ступенів свободи. За своєю природою зв'язку між деталями є механічними. Вони типові для агрегатів, кінематичні пари яких мають число ступенів свободи 1 і більше. Це повністю характеризує стан і рух деталей агрегатів і кількісно визначається узагальненою координатою механічної

системи. Під нею розуміють кожен з незалежних один від одного параметрів, однозначно визначають відповідне їм положення деталей відносно нерухомої системи координат. Ці параметри називають структурними (зазор, міжцентрову відстань, прогин і т. і.) І вони є кількісною характеристикою механічних зв'язків.

На третьому рівні аналізу будуть елементи ФСЕ - деталі, вузли. Їх структура характеризується молекулярними зв'язками. Порушення цих зв'язків призводить до появи в конструкційному матеріалі деталей обладнання тріщин, ерозійних та корозійних пошкоджень і т.п., розміри яких можна також вважати структурними параметрами. [115 , 116]

Таким чином, за параметрами робочого тіла і структурними параметрами можна визначити працездатність і технічний стан об'єктів діагностування.

### **3.2 Комп'ютерні системи управління технічним обслуговуванням і ремонтом – Computerized Maintenance Management System**

Для фондомістких підприємств завжди було важливо забезпечити керованість процесів експлуатації, технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) обладнання, СТС, пристроїв, судів в цілому. [117] Судновласникам і керуючому персоналу потрібно повне уявлення про продуктивність використання виробничих потужностей флоту, грамотності його експлуатації і в кінцевому підсумку - про ефективність інвестицій в основні фонди. Для цього необхідно володіти інформацією не тільки за обсягом виробленої продукції, але також і за обсягом витрат, пов'язаних з володінням основними фондами, - в яку суму обходяться роботи з ТОіР, скільки за планом і за фактом витрачено на запчастини, скільки зайвого часу суду простояли в ремонті і з якої причини, на якому обладнанні виникають відмови, хто його обслуговує і т. і.

Сучасне рішення перерахованих завдань пов'язано з впровадженням на підприємствах інформаційних систем управління ТОіР (ІСУ ТОіР). Програмні

платформи, на основі яких будуються такі системи, відносяться до класу EAM (Enterprise Asset Management) або CMMS (Computerized Maintenance Management System). В Україні продукти цих класів представлені постачальниками з США, Західної Європи, Австралії, а також вітчизняними розробниками.

Перший комерційно доступний і тиражований продукт для управління ТОіР був введений на всесвітній ринок компанією НВП «СпецТек» в 1992 році - тоді це була норвезька система AMOS (з 1994 року НПП «СпецТек» розробляє і постачає власний продукт - програмний комплекс TRIM)

Впровадження ІСУ ТОіР почалося з підприємств, для яких процеси ТОіР є найважливішими як по вазі в загальному обсязі витрат (до 40%), так і за кількістю зайнятого в ТОіР персоналу (до 30%). Це судноплавні компанії, електростанції, в тому числі атомні, електричні мережі, гірничодобувна промисловість, металургія, хімія. За останні кілька років ця тенденція поширилася на обробні галузі, такі, як харчова промисловість, виробництво будівельних матеріалів і т. і.

В цілому проекти ІСУ ТОіР мають схожість з впровадженням інших корпоративних інформаційних систем управління і стандартно припускають такі етапи, як:

- залучення замовника в проект, створення спільних з замовником робочих груп, призначення керівників проекту з боку замовника і виконавця, формування адміністративного ресурсу на підприємстві (видання наказів, затвердження відповідальних і т. і.);

- визначення цілей проекту на рівні підприємства;

- діагностичне обстеження підприємства - аналіз організаційної структури, системи управління, опис бізнес-процесів;

- розробка проекту - оптимізація процесів, розробка політик і стратегій, розробка вимірних цільових показників ефективності процесів, формування груп користувачів, розподіл повноважень і функцій в створюваній системі управління, визначення вимог до інформаційної інфраструктури;

– реалізація проекту – виконання програми корпоративного навчання, впровадження передових методик і практик управління, розгортання засобів автоматизованої інформаційної підтримки впроваджуваних методик (база даних, прикладне програмне забезпечення і т.д.), дослідна експлуатація, введення в промислову експлуатацію.

У той же час такі проекти мають і особливості, що залежать від визначальних їх чинників.

Масштаб підприємства – кількість учасників процесів і обсяг обладнання, що експлуатується – взаємопов'язаний зі складністю самих процесів ТОiP. [118 , 119 , 120]

На великих підприємствах ці процеси дуже складні, різноманітні і фрагментовані по учасниках і відповідальним особам. У подібних випадках для автоматизації управління ТОiP потрібна гнучка, функціонально потужна ЕАМ-система. У той же час безліч підприємств має відносно невеликий обсяг обладнання і компактні ремонтні служби. Областю їх відповідальності є процеси ТОiP, які можна назвати типовими, так як вони дуже схожі на підприємствах даної групи. У зв'язку з цією особливістю проект ІСУ ТОiP може бути реалізований іншим чином - на основі «коробкового» продукту з заздалегідь налагодженими настройками програмного забезпечення і типовими функціями (ролями) користувачів, із застосуванням типових регламентів впровадження і використання, готових політик організації ТОiP. Перевагою «коробкового» продукту є скорочення вартості і тривалості проекту. У граничному випадку підприємство може обійтися без зовнішніх підрядників робіт з впровадження, керуючись стандартною документацією системи.

Джерела первинної інформації про процеси ТОiP знаходяться поблизу обладнання, яке, в свою чергу, розподілено в просторі. [121] А основні споживачі інформації, які засновують на ній свої управлінські рішення, знаходяться в адміністративній будівлі (головному офісі). Тому при впровадженні ІСУ ТОiP виникають такі завдання, як створення протяжної

мережі передачі даних, оснащення для користувача робочих місць системи у виробничих зонах. Звідси істотне звучання отримують недоліки наявних мереж зв'язку та електроживлення.

Виробничі зони підприємства можуть перебувати на відстанях до тисяч кілометрів від дирекції - наприклад, бази технічного обслуговування або можуть переміщатися в просторі (Судно в рейсі). Такі віддалені площадки можуть не мати якісних, стабільних і ширококутових, каналів зв'язку. В цьому випадку ІСУ ТОіР будується на основі розподіленої бази даних (БД). [122] Для віддалених підрозділів або підприємств, які не мають якісного каналу зв'язку, створюються локальні бази даних.

Сукупність користувачів зі своєю локальною БД і своєї внутрішньої інформаційно-обчислювальної інфраструктурою утворюють «вузол». На «вузлах» використовуються локальні БД, при цьому періодично відбувається синхронізація локальної і центральної БД за допомогою реплікаційних пакетів з інформацією, що змінилася за час між сеансами синхронізації. Проблемний канал зв'язку, таким чином, задіюється тільки для передачі цих невеликих за обсягом пакетів, виключається операція читання, яка дає основне навантаження на канал зв'язку.

Якщо в одному підприємстві об'єднуються виробництва різної галузевої приналежності (комбінат), виникає ситуація, коли вимоги до ІСУ ТОіР відрізняються на рівні цих виробничих одиниць. З'являється необхідність одночасної реалізації цих вимог в одній системі.

Наприклад, система охоплює такі різнопланові виробництва, як судноремонт, машинобудування, ливарне виробництво, власна енергетика (управління головного енергетика, цех енергозабезпечення), транспорт (автотранспортний і залізничний цеху), апарат головного інженера, управління МТС, центр інформаційних технологій.

Функції корпоративних інформаційних систем управління спрямовані на вироблення управлінських рішень, які повинні базуватися на деякому поданні про об'єкт управління, тобто на його моделі. [123 , 124 , 125] Як



правило, в інформаційних системах використовуються моделі, що дозволяють описувати бізнес-процеси: модель інформаційних потоків, модель транспортних і матеріальних потоків, модель складального процесу і т. і.

В ІСУ ТОіР, крім аналогічних моделей бізнес-процесів, затребувані також моделі фізичних об'єктів - обладнання, систем, пристроїв і т. і. Це пов'язано з тим, що керуючий вплив тут направлено в тому числі і на процеси всередині об'єктів (ремонт, обслуговування, діагностика).

Ремонтні служби підприємств останнім часом стали тими підрозділами, які виділяються в самостійні юридичні особи, а сам процес ТОіР перекладається з господарського способу реалізації на сервісну модель (аутсорсинг).

Тому проект впровадження ІСУ ТОіР нерідко стикається з такою проблемою, як реорганізація, коли новоутворені юридичні особи часом не в змозі домовитися про те, кому потрібніше система ІСУ ТОіР, хто і скільки повинен платити за її впровадження і т. д. Якщо реорганізація почалася в ході впровадження системи, то виникає задача адаптації ІСУ ТОіР до змін структури підприємства. Важливо, щоб настройки, конфігурація, структура бази даних системи мали здатність до такої адаптації.

Замовнику і виконавцю ремонтів потрібно визначеність в наступних питаннях: як замовнику точно визначити, скільки він повинен заплатити виконавцеві і скільки він має право з виконавця утримати? Як виконавцю визначити, де він несе найбільші фінансові втрати і що потрібно зробити, щоб підвищити свою рентабельність? Як підтвердити все це фактами?

У зв'язку з цим в рамках проекту ІСУ ТОіР розроблені показники ефективності сервісного обслуговування, а інформаційна система використовується для вимірювання цих показників. Зокрема, експлуатаційний персонал замовника реєструє в системі стан обладнання - робота, резерв, відмова, ремонт. Час перебування в тому чи іншому стані підраховується і накопичується в системі автоматично, його можна отримати з системи в будь-який момент, в тому числі на момент оплати сервісних послуг.

Замовник також веде в системі реєстру обладнання, виконує планування сервісних робіт, веде журнали робіт. Зі свого боку виконавець в ІСУ ТОіР виконує такі функції, як узгодження планів робіт, ведення типових відомостей дефектів (калькуляцій по трудовитратах), формування відомостей дефектів, визначення потреби в МТР і запасних частинах, формування запитів на отримання МТР зі складів компанії, введення звітів по виконаним роботам, списання МТР на виконані роботи, формування накладних приходу і витрати, формування актів здачі-приймання робіт і обладнання тощо.

В даному випадку має місце ситуація, коли два самостійних юридичних особи фактично рівноправно використовують одну і ту ж інформаційну систему. При цьому в якихось моментах їх інтереси протиставлені. У зв'язку з цим при впровадженні ІСУ ТОіР виникає необхідність розробки чітких регламентів використання системи різними особами, прозорого розмежування повноважень і надійного поділу прав доступу до даних.

Можна зробити висновок, що загальною стратегічною метою створення корпоративної інформаційної системи є підвищення керованості, що дозволяє збільшити економічну ефективність і якісно поліпшити виробничі показники підприємства. Досягнення цієї мети в рамках створення корпоративної інформаційної системи має бути реалізовано за рахунок застосування на підприємстві всього комплексу інформаційних технологій, а саме:

- збору достовірної інформації;
- оперативної обробки даних про факти виробничо – господарської діяльності;
- аналітичної підтримки прийняття управлінських рішень.

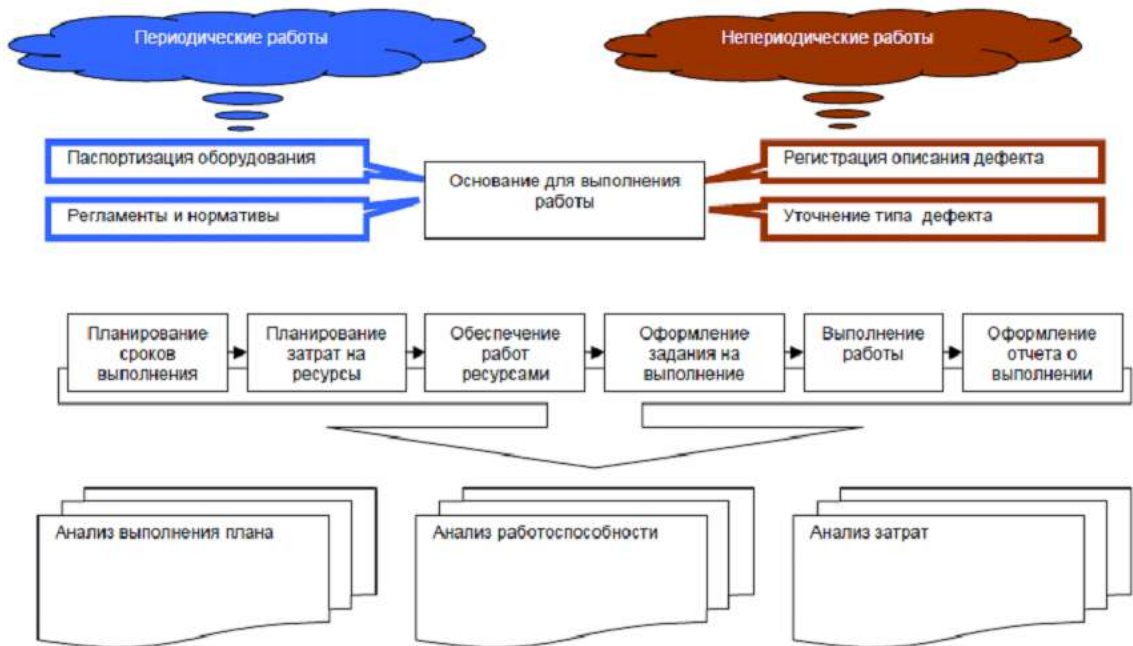


Рисунок 3.2 – Модель системы ТОiP, яка використовується у TRIM-PMS

Мета комп'ютерних систем підтримки прийняття стратегічних рішень полягає в тому, щоб забезпечити вище керівництво безпосереднім і вільним доступом до інформації щодо ключових факторів, [126] які є критичними при реалізації стратегічних цілей компанії. Отже, ІСУ повинні бути прості в експлуатації і розумінні. Вони забезпечують доступ до безлічі внутрішніх і зовнішніх баз даних, активно використовуючи графічне представлення даних, своєчасно інформують персонал про результати виробничого планування і ресурсному забезпеченні. Впровадження інформаційної системи управління неможливо закінчити, можна лише припинити.

Система повинна весь час удосконалюватися в процесі своєї промислової експлуатації разом з прогресом інформаційних технологій і методологій управління діяльністю підприємства.

## 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. Спроектвана 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.