

**КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ  
ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ  
СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

**О.І. Россомаха**

аспірант,

старший викладач кафедри «Технічне обслуговування і ремонт суден»,

Навчально-науковий інститут морського флоту

Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

**Анотація**

**Вступ.** Підвищення надійності та довговічності суднових технічних засобів багато в чому пов'язане зі своєчасним прогнозуванням несправностей, технічним обслуговуванням і ремонтом самих засобів. Все це можливо під час розроблення системи ТОiP складних технічних систем.

**Мета.** Метою статті є розробка системи управління ТОiP роторних суднових технічних засобів.

**Результати.** У статті виділено і розкрито 5 концептуальних підходів технічного обслуговування і ремонту роторних технічних систем. А саме: за потребою, планово-попереджувальна, за станом, проактивна та змішана. Зроблено висновок, що найдоцільніше використовувати концептуальні підходи «за станом» або «змішану».

Проаналізована низка міжнародних стандартів, комплексне використання яких може послужити базою (теоретичною основою) для розробки і впровадження на судах оптимальної системи ТОiP.

Запропоновано концептуальну модель системи технічного обслуговування і ремонту суднових технічних засобів, яка дозволяє підвищити ефективність організації і керування технічним обслуговуванням та ремонтом роторних механізмів на прикладі відцентрового насосу НЦВ 63\30. Розкрито та дано пояснення до кожного етапу моделі.

Проаналізовано характери відмов та способи їх діагностики. Розуміння фізичних процесів, що лежать в основі несправностей різних видів, а також збір даних, пов'язаних із 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. На основі цього приведена таблиця з ілюстративним прикладом класифікації тяжкості наслідків відмови.

Розроблено карти ризиків на основі аналізу видів, наслідків та критичності відмов або FMECA. Проаналізовано вплив несправностей роторних механізмів на зародження майбутніх відмов. Розроблено метод прогнозування виникнення і зародження дефектів на основі регресійної моделі. Проведена обробка результатів поліноміальною моделлю ступенем від 2 до 10.

**Висновки.** Отже, реалізація моделі дозволить істотно скоротити витрати на технічне обслуговування і ремонти обладнання, знизити тривалість його про-

стоїв і, в підсумку, підвищити надійність та ефективність роботи роторних технічних систем.

**Ключові слова:** технічне обслуговування та ремонт, концептуальна модель, прогнозування, FMECA.

## CONCEPTUAL MODEL OF SYSTEM OF MAINTENANCE AND REPAIR OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

**O.I. Rossomakha**

Postgraduate Student,

Senior Lecturer at the Department "Maintenance and Repair of Ships",  
Merchant Marine Institute of the Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

### **Annotation**

**Introduction.** Improving the reliability and durability of marine equipment is largely due to timely fault forecasting, maintenance and repair of the equipment itself. All this is possible in the development of maintenance systems for complex technical systems.

**Purpose.** The purpose of the article is to develop a control system for maintenance of rotary ship equipment.

**Results.** The article highlights and reveals 5 conceptual approaches to maintenance and repair of rotor technical systems. Namely: as needed, planned and preventive, by state, proactive and mixed. It is concluded that it is most appropriate to use conceptual approaches "by state" or "mixed". A number of international standards are analyzed, the integrated use of which can serve as a basis (theoretical basis) for the development and implementation of the optimal maintenance system on ships.

The conceptual model of the system of maintenance and repair of ship technical means which allows to increase efficiency of the organization and management of maintenance and repair of rotor mechanisms on an example of the centrifugal pump NCV 63 \ 30 is offered. Explained and given an explanation of each stage of the model.

The characters of failures and methods of their diagnosis are analyzed. Understanding the physical processes underlying the faults of different types, as well as collecting data related to the previous use of the machine, its maintenance, control results, period of failure, the nature of the machine in different conditions with different performance indicators are needed to predict development malfunctions. Based on this, a table with an illustrative example of the classification of the severity of the consequences of failure is given.

Risk maps have been developed based on the analysis of types, consequences and criticality of failures or FMECA. The influence of malfunctions of rotary mechanisms on the generation of future failures is analyzed. A method for predicting the occurrence and origin of defects based on a regression model has been developed. The results were processed by a polynomial model with a degree from 2 to 10.

**Conclusions.** Thus, the implementation of the model will significantly reduce the cost of maintenance and repairs of equipment, reduce the duration of its downtime and, ultimately, increase the reliability and efficiency of rotary technical systems.

**Key words:** maintenance and repair, conceptual model, forecasting, FMECA.

## Вступ

У посиленій конкурентній боротьбі на ринку морських перевезень судновласники йдуть по шляху скорочення екіпажу і максимального зниження витрат на технічне обслуговування і ремонту (ТОіР) складних технічних систем. Такий підхід призводить до зниження безпеки і зростання аварійності флоту.

Комплексно вирішити цю задачу можна тільки за умови розробки системи ТОіР складних технічних систем.

## Аналіз наукових досліджень і публікацій

Спираючись на досвідчені дані експлуатації суднових машин і механізмів, можна виділити 5 концептуальних підходів до проведення робіт з ТОіР.

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-попереджувальну стратегію ремонту*, яка має три різних напрямки: післяосмотрова стратегія, ремонт за станом, стандартна планово-попереджувальна стратегія. Післяосмотрова планово-попереджувальна стратегія полягає в тому, що заздалегідь регламентуються терміни проведення ремонтних робіт і їх обсяги. Ці обсяги можуть бути відкориговані після виконання перевірки, що проводиться до ремонту. 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-попереджувальній 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 засобів безрозбірного діагностування.

4. *Проактивний метод* – сучасний розвиток системи ТОР. Цей тип стратегії ТОР характеризується виникненням і розвитком довірчого рівня прогнозу, заснованого на продовженні міжремонтного ресурсу.

5. Широке поширення набувають *змішані* стратегії ремонту, за яких для різних елементів однієї і тієї ж технічної системи застосовують різні стратегії: для найбільш відповідальних – стандартна (за відпрацьованим ресурсом), для більшості інших елементів – за 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 суднових бортових діагностичних комплексів.

Схема класифікації стратегій ремонту показана на рисунку 1.

Не викликає сумнівів, що найдоцільніше використовувати концептуальні підходи «за станом» або «змішану». Однак уже майже півстоліття розробляються різні методи технічного діагностування окремих вузлів і механізмів. За цей час реальної концепції так і не впроваджено.



Рис. 1. Класифікація стратегій ремонту суден  
(власні розробки автора та [3; 12])

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

1. 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 [4].

2. 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 [4].

3. 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 [4].

4. ISO 13379-2 Моніторинг стану і діагностика машин. Методи інтерпретації та діагностики даних.

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

Дослідженнями з діагностування двигунів внутрішнього згоряння останні роки успішно займається професор Варбанець Р.А. Він веде дослідження в області теорії робочого процесу та параметричної діагностики двигунів внутрішнього згоряння з 1996 р. За цей час розробив методологію і теоретичні основи діагностичного контролю робочого процесу судових дизелів в умовах експлуатації. Розробив ряд діагностичних комплексів DEPAS 2.34, 3.0, 4.0, які знайшли широке застосування в експлуатації судових, залізничних і стаціонарних дизельних установках в Україні і за кордоном. Розроблені методи були застосовані для діагностики енергетичних установок кораблів ВМС Збройних Сил України [5–8].

Систем ТОіР для діагностування роторних механізмів багато, але для кожного механізму окремо, а комплексної системи немає.

**Метою статті** є розробка системи управління ТОіР роторних судових технічних засобів.

**Виклад основного матеріалу.** Тільки у процесі постійного моніторингу стану і прогнозування розвитку несправностей у складних технічних системах можливе підвищення ефективності під час їх експлуатації. Контроль стану складної технічної системи складається з декількох етапів: виявлення відхилення; виявлення несправностей та їх причин; прогнозування розвитку несправностей; прийняття рекомендацій щодо коригувальних дій; аналіз стану після зупинки технічної системи [1; 2].

На рисунку 1 представлена концептуальна модель комплексної системи управління технічного обслуговування і ремонту механізмів.

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

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

Етап визначення діагностичних параметрів. Діагностичний параметр – параметр (ознака) об'єкта діагностування, встановлений для визначення його технічного стану. До діагностичних параметрів 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 зупинимось 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. 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 під час технічного обслуговування. Види відмов повинні бути проаналізовані і перераховані.

Тяжкість відмови є оцінкою значущості впливу наслідків виду відмови на функціонування об'єкта [2].

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

Відмови технічної системи можуть бути виявлені шляхом дослідження певних функцій, взятих із вимірів, і порівняння їх із відомими порогами прийнятної поведінки. Здатність до виявлення та зносостійкість різних відмов складних технічних систем залежать від природи експерименту і доступності вимірювань. У таблиці 1 наведено приклад класифікації тяжкості наслідків відмови.

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

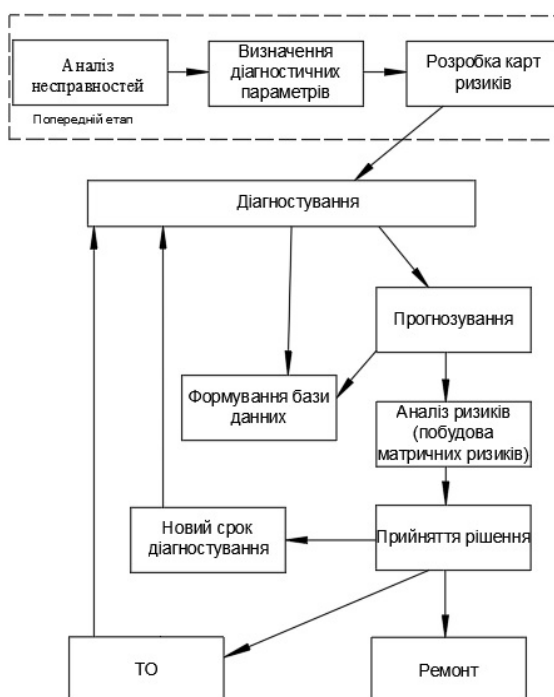


Рис. 2. Концептуальна модель системи ТОiP СТС  
(власні розробки автора)

Таблиця 1

**Ілюстративний приклад класифікації 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 [2])

Прогноз чи прогнозування має цінність тільки в заданих межах рівня довіри. Чим більші межі, тим менше значимість прогнозу, оскільки 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.

Рівень довіри відображає у відсотках числову характеристику того, з яким ступенем визначеності можна стверджувати про правильність діагнозу або прогнозу [1].

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 параметрів механізму. До таких параметрів можна віднести: історію ТО механізму, конструкцію і характерні види відмов механізму, характеристику методів аналізу, граничні значення контрольованих параметрів, інтервали між вимірами, процедуру і оцінку даних, процедуру під час постановки діагнозу і складання прогнозу, майбутніх навантажень і умов роботи механізму, т.д.

Можливість передбачати розвиток накопичень пошкоджень у машині за наявності заданих критеріїв контролю досягається методами одночасного аналізу великої кількості параметрів і застосовуваними в них моделями.

Багатофакторний аналіз включає в себе одночасне використання відповідних даних однією системою моніторингу. Такий спосіб аналізу кращий під час прогнозування 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 [2; 3].

Для прогнозування майбутніх відмов технічної системи, перш за все, слід визначити критерії їх настання, приймаючи до уваги, що один і той самий параметр може служити як впливаючий фактор для наступаючої відмови і використовуватися як ознака 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 [2; 3].

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 [2; 3].

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°C, 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 судових вимог. Матеріал проточної час-

тини: бронза; подача 63 м<sup>3</sup>/год; натиск 30 м; потужність комплектуючого електродвигуна – 11 кВт.

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

У таблиці 2 подано перелік характерних відмов і діагностичних параметрів для роторних машин на прикладі відцентрового насоса НЦВ 63 \ 30, які дозволяють діагностувати несправність: «+» позначено, що зі зміною діагностичного параметра можлива конкретна несправність, «-» означає те, що зміни параметра не вказують на несправність.

Розробку карт ризиків можливо проводити різними способами. На думку автора аналіз видів, наслідків та критичності відмов або FMECA – один із найоптимальніших способів аналізу відмов.

Аналіз видів, наслідків та критичності відмов (FMECA) має на увазі використання якісного заходу наслідків видів відмови. Критичність має безліч визначень і способів вимірювання, більшості з яких притаманний близький сенс: вплив або значимість виду відмови, який необхідно усунути або пом'якшити його наслідки.

Мета аналізу критичності полягає в якісному визначенні відносної величини кожного наслідку відмови. Значення цієї величини використовують для встановлення пріоритетності дій з усунення відмов або зниження їх наслідків на основі комбінації критичності відмов і тяжкості їх наслідків [2].

Одним із методів оцінки критичності є визначення значення ризику R. Як загальну міру потенційного ризику R в FMECA використовуємо величину

$$R = V \cdot P \cdot U,$$

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);



Таблиця 2

Характерні відмови відцентрових насосів і причини їх появи

№ пп	Несправність	Діагностичний параметр									
		Ударні імпульси, дБ	Вібрація, мм/с	Подача, напору	Температура підшипника, °С	Сила току, А	Протікання через сальник	Зменшення товщин 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 ступульної муфти	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
9.	Внутрішні пошкодження корпусу (кавітаційне руйнування)	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
10.	Кріплення насоса	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
11.	Відсутність необхідного вакууму	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
12.	Знос сальника	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-

(власна розробка автора і [9])

$P = 5$  – 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 СЗЧ, але немає кваліфікованої команди);  
 $U = 4$  – катастрофічна (немає СЗЧ і команди).

При такому підході максимальний і мінімальний ризику складуть:

$$R_{min} = V \cdot P \cdot U = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,$$

$$R_{max} = V \cdot P \cdot U = 5 \cdot 5 \cdot 4 = 100.$$

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.

Етап формування баз даних. База даних – сукупність пов'язаних даних, організованих за певними правилами, що передбачають загальні принципи опису, зберігання і маніпулювання, незалежна від прикладних програм [11].

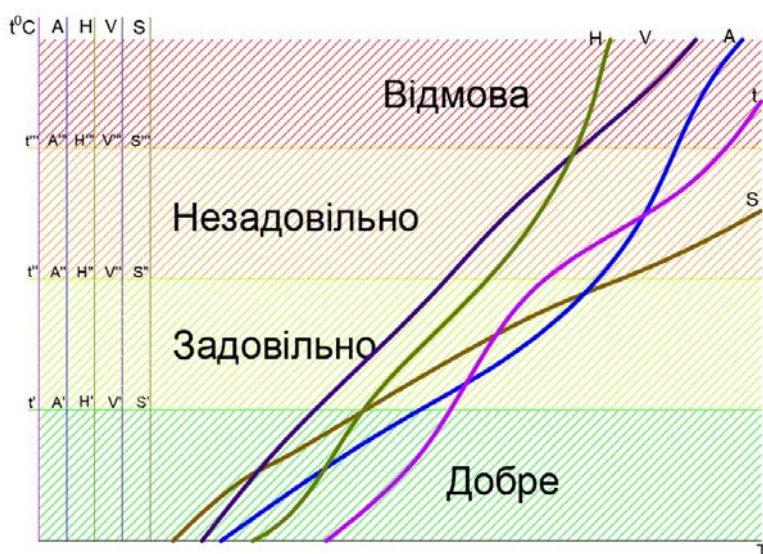


Рис. 3. Норми стану насоса  
(власна розробка автора та [9])

Із 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 наявної несправності, але він також може впливати (та впливає) на розвиток інших несправностей і на зародження майбутніх відмов.

Наприклад: посилилася вібрація внаслідок 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).

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

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 як опцію використовуємо поліноміальну залежність.

Як приклад розглянемо результати вібродіагностування відцентрового насоса НЦВ 63 \ 30 проведеного з періодичністю 100 годин (таблиця 3).

Таблиця 3

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.

Grapher – 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 [10].

Результати представлені на рисунку 4 та в таблиці 4.

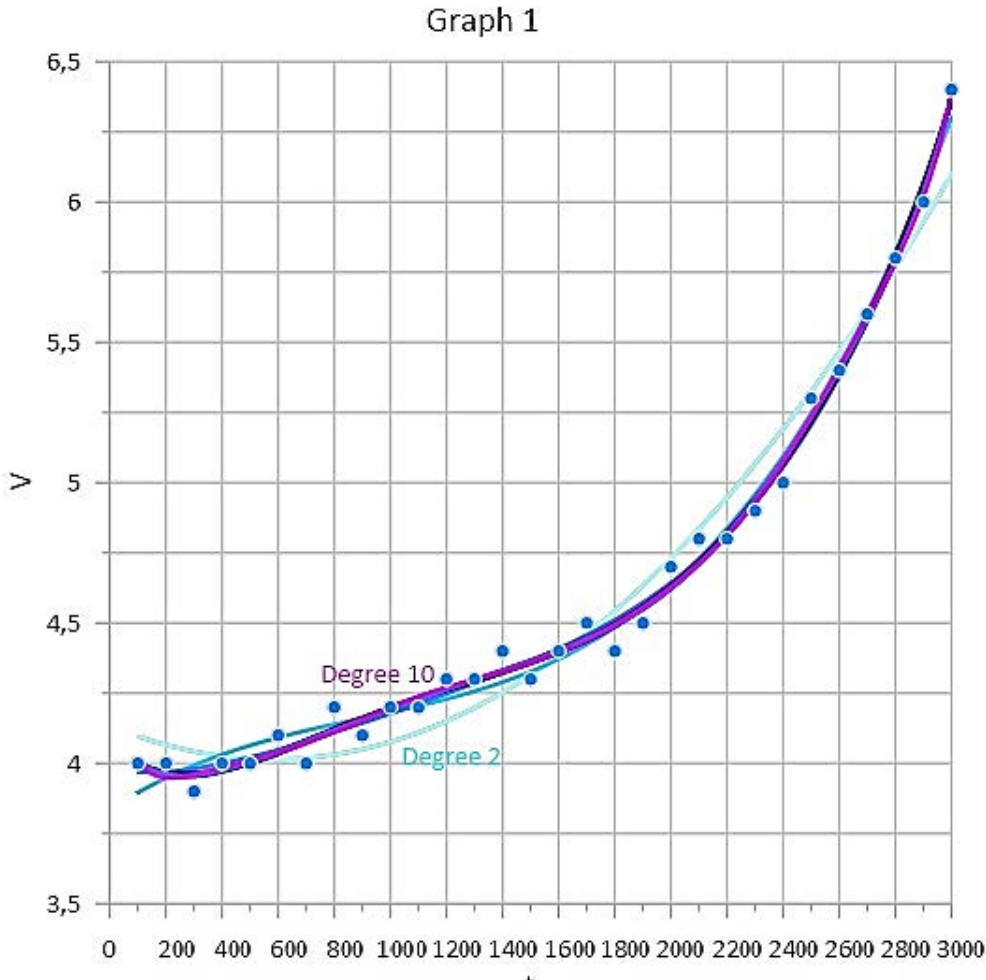


Рис. 4. Поліноміальна модель  
(власні розробки автора та [10])

Вид поліноміальних залежностей:

$$V = \left( \left( \left( \left( a_{10} + \frac{t}{100} + a_9 \right) \frac{t}{100} + a_8 \right) \frac{t}{100} + a_7 \right) \frac{t}{100} + i m. \partial. + a_1 \right) \frac{t}{100} + a_0$$

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

Визначивши 1-ю та 2-ю похідні  $\frac{dV}{dt}$  і  $\frac{d^2V}{dt^2}$  та прирівнявши їх до «0» можна виявити критичні точки функції, які є точками зародження і розвитку відповідної несправності.

Таблиця 4

Поліноміальна модель ступенем від 2 до 10

Ступінь	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$a_0$	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328	4.328
$a_1$		-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55
$a_2$			0.312	0.312	0.312	0.312	0.312	0.312	0.312	0.312	0.312
$a_3$				-0.091	-0.091	-0.091	-0.091	-0.091	-0.091	-0.091	-0.091
$a_4$					0.016	0.016	0.016	0.016	0.01591	0.016	0.016
$a_5$						-0.0017	-0.0017	-0.0017	-0.0017	-0.0017	-0.0017
$a_6$							0.00012	0.00012	0.00012	0.00012	0.00012
$a_7$								-5.269E-06	-5.269E-06	-5.269E-06	-5.269E-06
$a_8$									1.433E-07	1.433E-07	1.433E-07
$a_9$										-2.191E-09	-2.191E-09
$a_{10}$											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 [10])

## Висновки

У статті запропоновано концептуальну модель системи, за допомогою якої можливе підвищення ефективності експлуатації складних технічних систем.

Розроблено метод прогнозування виникнення і зародження дефектів на основі регресійної моделі, що дозволить ефективніше контролювати та прогнозувати стан судових технічних засобів

На основі запропонованої моделі і метода TOP можливо підвищити ефективність роботи, виявлення відхилення, виявлення несправностей та їх причин; прогнозування розвитку несправностей; прийняття рекомендацій по коригувальним діям; аналіз стану після зупинки технічної системи.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ISO 13381-1:2015 Condition monitoring and diagnostics of machines – Prognostics – Part 1: General guidelines (IDT).
2. AIEC 60812:2006 Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA) (MOD).
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.
4. Міжнародна організація по стандартизації. URL : <https://www.iso.org/>.
5. Варбанец Р.А. Виброакустическая диагностика турбокомпрессора. *Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития*. 2020. № 1. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/vibro-acoustic-diagnostics-of-turbocharger> (дата обращения: 28.09.2020).
6. Ерыганов О., Варбанец Р. Особенности точки наиболее быстрого роста давления при такте сжатия. *Диагностика*. 2018. 19(2). С. 71–76.
7. Варбанец Р.А. Диагностический контроль рабочего процесса судовых дизельных двигателей в эксплуатации. Диссертация доктора технических наук. Одесса, 2010.
8. Varbanets R. Analyse of marine diesel engine performance. *Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects*. – Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology. 2012. 7(1). P. 269–275. URL : <https://doi.org/10.33082/td.2018.2-3.09>.
9. РД 31.20.50 – 87 Комплексная систематехнического обслуживания и ремонта судов. Основное руководство.
10. Програмне забезпечення Grapher.
11. Пушников А.Ю. Введение в системы управления базами данных. Часть 1. Реляционная модель данных : учебное пособие. Изд-е Башкирского ун-та. Уфа, 1999. 108 с. ISBN 5-7477-0350-1.
12. Александровська Н.І. Управление жизненным циклом судна путем усовершенствования стратегии технического обслуживания и ремонта : дис. канд. техн. наук : 05.22.20. Одесса, 2012. 130 с.

### REFERENCES

1. ISO 13381-1:2015 Condition monitoring and diagnostics of machines – Prognostics – Part 1: General guidelines (IDT).
2. AIEC 60812:2006 Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA) (MOD).
3. A. Shakhov, V. Piterska, O. Sherstiuk, O. Rossomakha and A. Rzheskyi, “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.
4. International Organization for Standardization. URL : <https://www.iso.org/>.
5. Varbanec R.A. Vibroacoustic diagnostics of the turbocompensator (Vibroakusticheskaya diagnostika turbokompensatora). *Tekhnicheskaya ehkspluataciya vodnogo transporta: problemy i puti razvitiya. (Vibroacoustic diagnostics turbo compensator)*. 2020. № 1. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/vibro-acoustic-diagnostics-of-turbocharger> (дата обращения: 28.09.2020).
6. Eryganov O., Varbanets R. Peculiarities of the point of the most rapid pressure growth during the compression cycle. *Diagnostics (Osobennosti tochki naibolee bystrogo rosta davleniya pri takte szhatiya. Diagnostika)*, 2018; 19 (2): 71-76.
7. Varbanets R.A. Diagnostic control of the working process of marine diesel engines in operation (Diagnosticheskii kontrol rabocheho protsessa sudovykh dizelnykh dvigatelei v ekspluatatsii). *Dissertatsiya doktora tekhnicheskikh nauk*. Odessa, 2010.
8. Varbanets R. Analyse of marine diesel engine performance. *Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects.* – Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology. 2012; 7(1): 269–275. URL : <https://doi.org/10.33082/td.2018.2-3.09>.
9. ПД 31.20.50 – 87 Comprehensive systematic maintenance and repair of ships. Basic Guide (Kompleksnaya sistematekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sudov. Osnovnoe rukovodstvo)
10. Software security Grapher.
11. Pushnikov A.Yu. Introduction to Database Management Systems. Part 1 (Vvedenie v sistemy upravleniya bazami dannykh. Chast 1. Relyatsionnaya model dannykh): *Uchebnoe posobie/Izd-e Bashkirskogo un-ta*. Ufa, 1999. 108 с. ISBN 5-7477-0350-1.
12. Aleksandrovs’ka N. I. Manage the life cycle of the vessel by improving the maintenance and repair strategy (Upravlenie zhiznennym ciklom sudna putem usovershenstvovaniya strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta): *dis. Kand. Tekhn. Nauk* : 05.22.20 / Aleksandrovs’ka Nadiya Igorivna – Odessa, 2012. 130 s.