

УДК 629.12.066(076)

А.Л. Сіманенков, С.О. Рожков

*Херсонська державна морська академія, Херсон*

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СУДНОВОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

*Розглядається проблема підвищення ефективності роботи суднового двигуна внутрішнього згорання (СДВЗ) за рахунок впровадження у його систему автоматичного управління (САУ) підсистем керування основними характеристичними параметрами СДВЗ. За основу дослідження взятий СДВЗ типу Wärtsilä – Sulzer 6 RT-flex 50b. Зняття параметрів виконувалося за допомогою системи контролю та моніторингу основних параметрів роботи СДВЗ типу KONGSBERG ACC20. Методом дослідження обрано статистичний аналіз практично отриманих даних, з використанням математичного очікування, дисперсії та коефіцієнту кореляції величини робочого параметру у сталому режимі роботи об'єкта дослідження (режимі морського переходу). У ході дослідження було встановлено групу параметрів, що спричиняють найбільший вплив на ефективність роботи СДВЗ. А також запропоновані методи вирішення проблеми, за рахунок комплексного підходу до автоматизації САУ СДВЗ та його підсистем.*

**Ключові слова:** СДВЗ, параметри роботи СДВЗ, кореляційний аналіз, математична статистика.

### Вступ

**Аналіз проблеми.** Технічний стан СДВЗ– це якість його вузлів і деталей в даний момент часу або сукупність непрямих показників, значення яких визначає його технічні характеристики. Експлуатаційний стан двигуна оцінюється мірою втрати ним працездатності і економічності у зв'язку із зносом деталей і вузлів, забрудненням та закоксовуванням зазорів між рухомими деталями і в прохідних перетинах, нагаром на робочих поверхнях деталей і газоповітряних трактів. Зазвичай оцінка технічного стану проводиться в результаті розбирання двигуна, очищення та обмірів його деталей і різних сполучень. Такі операції трудомісткі і не завжди доцільні через більше порушення при їх перебиранні.

**Актуальність проблеми.** Використання систем технічного діагностування в практиці експлуатації двигунів дає можливість вирішувати завдання: підвищення експлуатаційного коефіцієнту корисної дії (ККД) і ресурсу за рахунок підтримки високого технічного рівня СДВЗ; зниження витрат на експлуатацію та зменшення потреби в запасних частинах; скорочення часу пошуку несправностей; скорочення ремонтних і регульовальних робіт.

Структура систем технічної діагностики містить такі елементи: обладнання, призначене для вимірювання, обробки результатів вимірювання та збору діагностичної інформації, і діагностичні методики (алгоритми) обробки результатів вимірювань.

Як устаткування для вимірювання діагностичних параметрів в даний час все більше застосовуються портативні електронні системи індичіювання. Ефективність використання даних систем залежить від якості їх налаштування. Найчастіше, навіть правильно налаштований прилад видає спотворені ре-

зультати. Тому оцінка похибки приладу, а особливо виявлення ступеня її впливу на результати вимірювань є важливим завданням. Слід так само відзначити, що як таких чітко вироблених рекомендацій по введенню цих приладів в експлуатацію немає. Інструкції з експлуатації, що поставляються разом з приладами, дають тільки загальні рекомендації по налаштуванню і установці.

Вище зазначені електронні системи індичіювання є лише вимірювальними приладами, в той час як аналіз результатів вимірювання та висновки, що випливають з цього аналізу, повинен виконувати обслуговуючий персонал. Звідси випливає необхідність створення ефективного алгоритму обробки результатів вимірювань за якими можна судити про поточний технічний стан двигуна. Розробка ефективної діагностичної методики обробки результатів вимірювань з використанням електронних систем індичіювання є одним з основних питань при створенні системи технічної діагностики (СТД), визначальним елементом якої служить найбільш відповідний набір контрольованих параметрів, що дозволяє досить повно охарактеризувати технічний стан і працездатність двигуна.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Головний недолік існуючих методик діагностування двигунів полягає в тому, що прагнення авторів надати методиці найбільшу інформативність і повноту робить її громіздкою і складною для розуміння обслуговуючим персоналом. Більшість існуючих методик розроблені та апробовані на стендових двигунах, що вимагає їх адаптації для судових умов експлуатації двигуна. Для врахування впливу зовнішніх факторів, що впливають на двигун в судових умовах експлуатації, багато авторів вдаються до висновку рівнянь, що враховують залежність між діагностич-

ними параметрами і параметрами, що визначають режим роботи двигуна, що призводить так само до ускладнення методики, а так як рівняння залежності виводяться за статистичним матеріалом, зібраним для певного типу двигунів, впливає, що їх результати не можуть претендувати на універсальність.

Стаття [1] представляє вузькоспрямований метод прогнозування робочих процесів у циліндрах СДВЗ за допомогою використання індикуючих пристроїв, які на даний момент є дуже коштовними та не входять в обов'язкову комплектацію судів. Стаття [2] пропонує метод аналізу віброакустичних сигналів паливоподачі та газорозподілу СДВЗ без індикаторних кранів, проте автори вказують у висновку, що вібродіаграма не дозволяє отримати повну параметричну діагностику циліндра. У даній статті автор має мету запропонувати спосіб вирішення проблеми контролю характеристик роботи СДВЗ за рахунок автоматизації його підсистем.

**Метою статті** є аналітичний аналіз основних параметрів роботи СДВЗ та знаходження параметрів, чи груп параметрів, які чинять найбільший вплив на ефективність роботи та оцінку технічного стану двигуна. Вказані досліді проводяться за допомогою методів математичної статистики, а також кореляційного аналізу статистичних даних здобутих практичним шляхом з СДВЗ, що знаходиться в експлуатації.

**Постановка задачі дослідження.** Завданням даного дослідження ставиться проблема знаходження характеристичного параметру або групи параметрів які здійснюють найбільший вплив на роботу СДВЗ у сталому режимі (морського переходу). За основу маємо здобути практичним шляхом характеристичні параметри роботи СДВЗ, Wärtsilä – Sulcer 6 RT–flex 50b, за допомогою моніторингової програми KONGSBERG ACC20.

## Результати дослідження

Згаданий СДВЗ є «розумним дизелем», замість кінематичної паливної апаратури він обладнаний електронною системою керування, на базі нейронних мереж та нечіткої логіки. Дані з вказаної моніторингової системи були отримані за допомогою вбудованої функції «Shorttrend», яка дає змогу обслуговуючому персоналу отримувати інформацію про стан основних параметрів роботи СДВЗ у вигляді трендів.

Під трендом розуміють закономірну, не випадкову складову часового ряду (зазвичай монотонну), яка може бути вичислена за цілком певним однозначним правилом. Тренд часового ряду часто пов'язаний з дією фізичних законів або яких-небудь інших об'єктивних закономірностей. Проте, взагалі кажучи не можна однозначно розділити випадковий процес або часовий ряд на регулярну частину (тренд) і коливальну частину (запішок). Тому зазвичай припус-

кають, що тренд - це деяка функція простого виду (лінійна, квадратична і тому подібне), що описує "поведінку в цілому" процесу. Для часового ряду рівняння лінійного тренду має вигляд:

$$x - MX = r \frac{\sigma_x}{\sigma_T} (\tau - MT). \quad (1)$$

При  $r > 0$  говорять про позитивний тренд (з часом значення часового ряду має тенденцію зростати), при  $r < 0$  про негативний (тенденція убуття). При  $r$ , близьких до нуля, іноді говорять про бічний тренд. Як було сказано вище, для випадку, коли  $t=1,2,3,..,n$ , маємо:

$$MT = \frac{(n-1)}{2}, DT = \frac{n(n+2)}{12}, \quad (2)$$

а тому 
$$\sigma_T = \frac{n(n+1)}{12}, \quad (3)$$

проте на практиці не варто окремо обчислювати  $r$  і  $\sigma_x$  і тільки потім підставляти їх в рівняння тренду. Краще прямо у формулі тренду виробити скорочення після яких вона набере вигляду:

$$x - MX = \frac{K_x}{DT} \left( \tau - \frac{(n+1)}{2} \right). \quad (4)$$

Після виділення лінійного тренду треба з'ясувати, наскільки він значущий. Це робиться за допомогою аналізу коефіцієнт кореляції. Річ у тому, що відмінність коефіцієнта кореляції від нуля і тим самим наявність реального тренду (позитивного або негативного) може виявитися випадковим, пов'язаним із специфікою даного відрізка часового ряду. Іншими словами, при аналізі іншого набору експериментальних даних (для того ж часового ряду) може виявитися що отримана при цьому оцінка набагато ближче до нуля, ніж початкова (і, можливо, навіть має інший знак), і говорити про реальний тренд тут вже стає важко.

Для перевірки значущості тренду в математичній статистиці розроблені спеціальні методики. Одна з них заснована на перевірці рівності  $r=0$  за допомогою розподілу Стьюдента. Маємо набір експериментальних даних - значення  $x_1, x_2, x_3,..,x_N$  часового ряду в рівновіддалені моменти часу  $t_1, t_2, t_3..t_N$ . Оцінка для коефіцієнта автокореляції для часового ряду має вигляд:

$$r^* = K_x^*(\tau) / K_x^*(0), \quad (5)$$

де  $K_x^*$  - оцінка для функції автоковаріації, яку можна знайти за наступною формулою:

$$K_x^* = \frac{1}{N+1} \sum_{k=0}^N x \left( k \frac{(T-\tau)}{N} + \tau \right) x \left( k \frac{(T-\tau)}{N} \right). \quad (6)$$

Назвемо це значення  $r^*$  експериментальним. Висуваємо гіпотезу, про не рівність нулю коефіцієнта автокореляції. Далі, задаємо деякий рівень вірогідності  $\alpha$ . Допускаємо, що зроблений нами висновок про справедливість або несправедливість (при

тоншому дослідженні ці дві ситуації треба розрізняти) гіпотези на підставі заданого масиву експериментальних даних може виявитися помилковим, бо абсолютно точного виводу на підставі лише часткової інформації чекати, звичайно, не варто. Проте вірогідність цієї помилки не повинна перевершувати вибраної величини  $\alpha$ . Зазвичай беруть це значення рівним 0.05 (тобто 5%) або 0.10, іноді беруть і 0.01.

Далі розглядаємо наступну величину:

$$U_{\text{экс}} = r * \frac{\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}. \quad (7)$$

Можна довести, що при досить великих значеннях  $n$  ця випадкова величина має розподіл, мало залежний від початкового часового ряду. Більше того, цей розподіл близький до одного із стандартних розподілів, використовуваних в математичній статистиці, - до розподілу Стюдента (з числом ступенів свободи  $k=N-2$ , де  $N$  - число експериментальних даних). Для розподілу Стюдента є детальні таблиці, в яких для заданого рівня вірогідності  $\alpha$  і числа ступенів свободи  $k$  вказується критичне значення  $U_{\text{кр}}$ . Точніше, за умови  $r=0$  має місце рівність:

$$P[|U| \geq U_{\text{кр}}] = \alpha. \quad (8)$$

Будь-яка сучасна статистична програма для комп'ютера дає можливість вичислити  $U_{\text{кр}}$  для довільного заданого рівня вірогідності. Із зростанням величини  $\alpha$  значення  $U_{\text{кр}}$  теж ростуть.

Припускаємо, що число  $N$  досить велике. Тоді випадкова величина  $U_{\text{экс}}$  розподілена приблизно згідно із законом Стюдента. Якщо  $r=0$ , то з великою (тобто близькою до 1) вірогідністю, рівною  $1-\alpha$ , значення  $U_{\text{экс}}$  повинне по модулю не перевершувати  $U_{\text{кр}}$ . А ось виходити за межі відрізка  $[-U_{\text{кр}}, U_{\text{кр}}]$  величина  $U_{\text{экс}}$  може тільки з вірогідністю  $\alpha$ . Тому якщо  $|U_{\text{экс}}| \geq U_{\text{кр}}$ , то роблять ув'язнення про те що гіпотеза  $r=0$  експериментальними даними не підтверджується і тому тренд є вираженим. Помилка такого ув'язнення не перевершує заданого рівня  $\alpha$ . Якщо ж  $|U_{\text{экс}}| \leq U_{\text{кр}}$ , то говорять, що на заданому рівні вірогідності  $\alpha$  відкинути гіпотезу  $r=0$  немає підстав. В цьому випадку ми не маємо підстав говорити про виражений тренд, а тим більше використовувати зростання або убуття цього тренду при прогнозуванні динаміки часового ряду на майбутнє.

У нашому випадку тренд не є вираженим. Окрім лінійного тренду, доводиться розглядати і тренди складнішої структури. При цьому заздалегідь вказати функцію, за допомогою якої можна описати цей тренд, зазвичай не представляється можливим. Тому часто на практиці просто перебирають декілька простих функціональних залежностей (з параметрами) і для кожної з них оцінюють, наскільки успішно функцією того або іншого виду можна описати тенденцію даного часового ряду. За наявності комп'ютера ці обчислення не займають багато

часу, а іноді можуть проводитися навіть в автоматичному режимі, що виділяє серед декількох заданих видів трендів оптимальний. Проте далеко не завжди серед розглянутих функцій є та, яка досить ефективно описує тенденцію розвитку заданого тимчасового ряду. У цьому випадок доводиться йти іншими шляхами. Зокрема, часто в такій ситуації виробляють різні перетворення членів часового ряду (логарифмування диференціювання - утворення різниць сусідніх членів ряду, інтеграція - підсумовування послідовних членів ряду та ін.) для того, щоб спробувати отримати часовий ряд з ясно вираженим лінійним трендом. Якщо це вдається зробити, то до отриманого ряду застосовують ті методи, які були описані вище, а потім зворотним перетворенням повертаються до початкового ряду. Треба ще раз підкреслити, що вид тренду не визначається однозначно самим рядом і є деяким умовним об'єктом що притягається для повнішого розуміння особливостей даного процесу. За основу розрахунків прийнято добові вибірки наступних параметрів роботи СДВЗ у сталому режимі експлуатації, а саме:

Exhaustgas cyl.1-6 – температура випускних газів 1-6 циліндрів;

Underpiston T cyl.1-6 – температура під поршневих просторів 1-6 циліндрів;

HT sw T cyl.1-6 – температура гарячого контуру охолоджуючої рідини 1-6 циліндрів;

Pistoncool. Oil. T cyl.1-6 – температура охолоджуючого мастила поршнів 1-6 циліндрів;

M/E RPM – об/хв. двигуна;

LT press – тиск холодного контуру охолоджуючої рідини;

SW press – тиск забортної води у магістралі;

Fuelindex – відсотковий індекс подачі палива до ГД;

BR PitchPos – відсоткова позиція повороту лопатей гребного гвинта;

A.C.t – температура повітря наддуву;

A.C. P – тиск повітря наддуву;

T/Crpm – об/хв. повітряної турбіни;

HTP – тиск охолоджуючої води гарячого контуру;

F.R. P – тиск палива у паливній магістралі двигуна;

S.O.R. P – тиск мастила у магістралі двигуна;

HFO t – температура палива у магістралі двигуна;

F.R. Ps1 – тиск палива на початку паливної магістралі;

F.R. Ps2 – тиск палива у кінці паливної магістралі;

HT t – температура охолоджуючої води гарячого контуру.

Дані параметри були зібрані на протязі 24 годин сталого режиму роботи ДВЗ (морський перехід) з інтервалом у 9 хвилин. Після згаданих розрахунків були отримані результативні показники що до впливу вище вказаних параметрів одне на одного, а також на ефективність роботи головного двигуна, а саме на витрати палива та корисну потужність на виході системи (обороті та обертаючий момент двигуна).

Коефіцієнти кореляції параметрів суднового ДВЗ.

	A.C.t	A.C. P	T/Crpm	HTP	F.R. P	S.O.R. P	HFOt	F.R. Ps1	F.R. Ps2	HTt
A.C.t	1	0,55	0,48	0,45	0,43	0,47	-0,1	0,67	0,57	0,03
A.C. P	0,55	1	0,96	0,44	0,92	0,95	-0,39	0,61	0,56	0,23
T/C rpm	0,48	0,96	1	0,41	0,96	0,98	-0,40	0,56	0,52	0,26
HT P	0,45	0,44	0,41	1	0,37	0,39	0,21	0,56	0,55	0,1
F.R. P	0,12	0,78	0,96	0,37	1	0,96	-0,39	0,5	0,42	0,3
S.O.R. P	0,47	0,95	0,98	0,39	0,96	1	-0,41	0,53	0,47	0,28
HFO t	-0,1	-0,39	-0,4	0,21	-0,39	-0,41	1	-0,09	-0,11	-0,11
F.R. Ps1	0,67	0,61	0,56	0,56	0,5	0,53	-0,09	1	0,93	-0,06
F.R. Ps2	0,57	0,56	0,52	0,55	0,42	0,47	-0,11	0,93	1	-0,1
HT t	0,03	0,23	0,26	0,1	0,3	0,28	-0,11	-0,06	-0,1	1

## Висновки

Як можна побачити з табл. 1, основними параметрами, що впливають на ефективність роботи головного суднового ДВЗ є: тиск охолоджуючої рідини у охолоджувачі повітря наддуву, тиск у початку паливної магістралі та у її кінці, а також обороти турбонагнітача повітря наддуву; Дані параметри регулюються незалежними від системи дистанційного автоматичного управління головним двигуном (СДАУ ГД) другорядними підсистемами, що робить їх роботу не злагодженою з поточними показниками роботи головного СДВЗ. Така система однозначно не дозволяє здійснювати оцінку роботи САУ ГД; Вирішенням проблеми є створення або удосконалення існуючої комплексної інформаційно – управляючої системи (ІУС) керування СДВЗ з випередженням, яка включатиме в себе модулі керування системою подачі палива та регулювання температури і тиску у охолоджувачі повітря наддуву СДВЗ.

## Список літератури

1. Неменко А.В. Прогнозирование параметров рабочего процесса судового двигателя внутреннего сгорания по его индикаторной диаграмме / А.В. Неменко, М.М. Никитин // Вестник СевГУ. – Вып. 75: Механика, энергетика, экология. – Севастополь: СевНТУ, 2006. – С.53–63.
2. Варбанец Р.А. Параметрическая диагностика дизелей SBV6M540 и PEGASO 9156/ Р.А. Варбанец // Авиационно – космическая техника и технология, 2006, №8 (34). С. 144-148.
3. Опря А.Т. 0–62 Статистика (модульный вариант з програмованою формою контролю знань) / А.Т. Опря. – К.: Центр учбової літератури 2012. – 448с.
4. Телемтаев М.М. Информационные системы / М.М. Телемтаев // МСТ; Москва; 2010. – 60с.
5. [http://o.b5z.net/i/u/10025382/i/kongsberg/k-chief\\_500\\_amcs.pdf](http://o.b5z.net/i/u/10025382/i/kongsberg/k-chief_500_amcs.pdf).

Надійшла до редколегії 25.06.2015

Рецензент: д-р техн.наук, проф. Г.В. Рудакова, Херсонський національний технічний інститут, Херсон.

## АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

А.Л. Симаненков, С.О. Рожков

Рассматривается проблема повышения эффективности работы судового двигателя внутреннего сгорания (СДВС) за счет внедрения в его систему автоматического управления (САУ) подсистем управления основными характеристическими параметрами СДВС. За основу исследования взят СДВС типа Wärtsilä - Sulzer 6 RT-flex 50b. Снятие параметров выполнялось с помощью системы контроля и мониторинга основных параметров работы СДВС типа KONGSBERG ACC20. Методом исследования выбран статистический анализ практически полученных данных, с использованием математического ожидания, дисперсии и коэффициента корреляции величины рабочего параметра в установленном режиме работы объекта исследования (режиме морского перехода). В ходе исследования было установлено группу параметров, которые оказывают наибольшее влияние на эффективность работы СДВС. А также предложены методы решения проблемы, за счет комплексного подхода к автоматизации САУ СДВС и его подсистем.

**Ключевые слова:** СДВС, параметры работы СДВС, корреляционный анализ, математическая статистика.

## SHIP'S INTERNAL COMBUSTION ENGINE'S MAIN PARAMETERS ANALYSIS

A.L. Simanenkov, S.O. Rogkov

The problem, of improving the efficiency of marine internal combustion engine (ICE) through the introduction in its automatic control system (ACS) ICEs main characteristic parameters managing subsystems, is observed. As the basis of research the Wärtsilä - Sulzer 6 RT-flex 50b ICE is taken. Mentioned parameters were executed with help of the ICE basic parameters control and monitoring system KONGSBERG ACC20. As the method of research, a statistical analysis of the data virtually, using a mathematical expectation, variance and correlation coefficient value of the operating parameter in the steady state operation of object (marine transfer mode), were chosen. The research found a group of parameters that have the greatest impact on the efficiency of the ICEs work. And also provides methods for solving problem through an integrated approach to ICE automation system and its subsystems.

**Keywords:** ICEs, the parameters of the ICEs, correlation analysis, mathematical statistics.