

Дубинець О.В., Гаценко Л.В., Байрамова О.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНІВ ЗАСОБІВ КОЛЕКТИВНОГО ПОРЯТУНКУ ЕКІПАЖІВ МОРСЬКИХ СУДІВ

У статті проведено синтез методів підвищення надійності і функціональних характеристик двигунів засобів колективного порятунку екіпажів морських судів. Проведені дослідження з реалізації стандартних рятувальних операцій дозволили виявити найбільш значимі технічні процедури та етапи, які впливають на ефективність і оперативність виконання рятувальної операції. Були визначені експлуатаційні параметри малорозмірних дизелів, покращення характеристик яких забезпечить більш оперативну та надійну реалізацію рятувальної операції. Розставлено пріоритети технічних і конструктивних рішень, що підвищують експлуатаційні якості МД, спрямованих на покращення пускових і маневрених якостей ЕУ РКП. У ході дослідження вирішено ряд завдань: розробка моделі застосування ЕУ ЗКП і визначення основних напрямків покращення її функціональних характеристик; розробка критеріїв оцінки ефективності функціонування ЕУ, що дозволяють визначити ступінь придатності суднового МД для установки на ЗКП; запропоновано метод покращення функціональних характеристик МД ЕУ ЗКП; узагальнено особливостей функціонування МД ЕУ у всіх можливих умовах реалізації рятувальної операції; розроблено рекомендації щодо удосконалення конструкції і технології виготовлення деталей шлюпкового дизеля, його пускових і маневрених якостей.

Ключові слова: безпека, екіпаж, морські судна, двигун, аварії, катастрофи.

Актуальність дослідження обумовлено значною кількістю аварій та катастроф на воді з людськими жертвами (аварія танкера Delphi у акваторії порту Одеса); підвищенням вимог до забезпечення безпеки на воді; якісною зміною вимог до дизелів ЕУ ЗКП; необхідністю удосконалювання існуючих дизелів ЕУ ЗКП. Узагальнюючим фактором вищевикладеного є нагальна потреба розробки методів забезпечення високого рівня надійності при заданих функціональних характеристиках дизеля МД ЗКП на всіх етапах його життєвого циклу. У 2012 р. виповнилося 100 років із дня загибелі пасажирського лайнера "Титанік". Це був перший задокументованої випадок великої техногенної катастрофи, наслідком якої стала масова загибель людей через відсутність достатньої кількості засобів колективного порятунку екіпажа і пасажирів. Даний випадок поклав початок створенню міжнародної системи порятунку людського життя на морі, що за назвою Safety of Life at Sea (Безпека життя на морі - SOLAS) була прийнята Міжнародною Морською Організацією (ІМО) у 1960 р. як міжнародну конвенцію. На базі SOLAS Комітетом з безпеки на морі ІМО прийнятий Міжнародний кодекс по рятувальним засобам (Кодекс КСС - LSA CODE), що з 01.06.1998 є обов'язковим додатком SOLAS. Найбільш ефективними засобами колективного порятунку (ЗКП), здатними в короткий час забезпечити проведення рятувальної операції і відхід екіпажу та пасажирів на безпечну відстань від судна, що терпить лихо, і цілком відповідають конвенційним вимогам SOLAS, є моторні рятувальні шлюпки, оснащені надійними енергетичними установками (ЕУ), на базі малорозмірних дизелів (МД). При аварійних ситуаціях, умовою успішного проведення рятувальної операції є, у першу чергу, безвідмовна й ефективна робота дизеля ЕУ ЗКП. Питання здійснення і

розвитку морських перевезень нерозривно пов'язані з проблемами збереження життя та здоров'я екіпажів і пасажирів.

Теоретична база дослідження. Аналіз виконаних раніше досліджень, присвячених проблемам підвищення функціональних характеристик МД ЗКП і удосконалюванню процесів організації рятувальних операцій [7,15] показав, що в цих роботах розглядалися окремі експлуатаційні показники і параметри дизеля без комплексного підходу до підвищення ефективності і надійності функціонування дизеля при реалізації рятувальної операції. Тому, з огляду на особливу важливість і актуальність проблеми порятунку людського життя на морі, виникла необхідність проведення комплексних досліджень процесів реалізації рятувальних операцій і підвищення надійності і функціональних характеристик МД рятувальних шлюпок з урахуванням впливу різних факторів і особливостей функціонування дизеля при реалізації рятувальної операції. При виконанні досліджень були використані роботи відомих вчених в області теорії, конструювання, міцності і динаміки теплових двигунів професорів В.А.Ваншейдта, М.М.Іванченко, П.А.Істоміна, М.Г.Круглова, М.К.Овсянікова, А.С.Орліна, В.А. Сомова, Б.Н.Семенова, В.Н.Луканіна, Р.М. Петриченко, Р.З. Кавтарадзе.

Метою дослідження є підвищення надійності і функціональних характеристик МД з вихрокамерним сумішоутворенням (ВС) енергетичних установок засобів колективного порятунку.

Виклад основного матеріалу. Аварійні ситуації, що достатньої часто трапляються з морськими судами можуть відбуватися в екстремальних погодних умовах, при сильному штормовому вітрі, великих хвилях, у холод та жару. Конструкція рятувальної шлюпки та її ЕУ повинні забезпечувати негайне введення в дію, добрі морехідні якості, непотоплюваність, можливість використання як активний засіб для збору та буксирування плотів, передачі та прийому екстреної інформації, боротьби з дрейфом, порятунку осіб, які опинилися за бортом та безпечне укриття людей до підходу допомоги.

У подальшому дослідженні проведемо математичне моделювання надійності реалізації рятувальної операції. Натурний експеримент представляє собою найбільш ефективний і точний метод дослідження об'єкта або процесу. Однак на практиці не завжди мається можливість проведення натурних експериментів через їх вартість, трудомісткість і складність проведення. У багатьох випадках натурні експерименти можуть бути замінені фізичним або математичним моделюванням, отримуючи при цьому прийнятні для дослідження результати.

Для того, щоб при моделюванні отримати прийнятні результати, близькі до натурних експериментів, необхідно розробити модель, що представляє собою спрощене відображення реального об'єкта або процесу, яка характеризує ті якості, які підлягають дослідженню. Не менш важливим є розробка алгоритму функціонування об'єкта або процесу і складання функціональної залежності показників від різних факторів, вплив яких на процес планується дослідити та оцінити [8].

Енергетична установка ЗКП представляє собою складну технічну систему, яка складається зі значної кількості окремих деталей й вузлів. Відмова кожної з цих деталей і вузлів можуть викликати відмову всієї системи. Кожна з цих деталей має свою інтенсивність відмов. Закономірність виникнення раптових відмов окремих деталей у теорії надійності описується за допомогою експонентного закону. Для експонентного закону імовірність відмови деталі $F(t)$ за час t буде дорівнювати:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де λ – інтенсивність відмов.

Незначні потоки відмов окремих елементів при їх розгляді в цілому по ЕУ утворюють стабільний потік відмов з характеристикою, відмінною від потоку відмов окремих деталей. Такі потоки в теорії масового обслуговування називаються Пуассонівськими. Як уже відзначалося раніше, у період прироблення і старіння для роботи складної технічної системи характерна підвищена інтенсивність відмови. Тому, щоб уникнути зриви реалізації рятувальної операції, експлуатація ЕУ ЗКП у ці періоди повинна бути виключена. Таким чином, ЕУ ЗКП повинна експлуатуватися тільки в період нормальної експлуатації після її обкатування в заводських умовах і до періоду старіння.

У період нормальної експлуатації інтенсивність відмови складної системи $\lambda(t)$ практично постійна, тобто $\lambda(t) \approx \text{const}$. При постійному потоці відмов Пуассоновський потік називається стаціонарним або найпростішим. Для найпростішого потоку відмов імовірність появи до відмови за час t описується формулою:

$$F_k(t) = [(\lambda t)^k / k!] \cdot e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

При дослідженні ЕУ ЗКП вважаємо, що поява хоча б однієї відмови може привести до зриву рятувальної операції, тому вираз (2.7) можна записати в наступному вигляді:

$$F(t) = \lambda t \cdot e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

Для систем, які працюють з постійною інтенсивністю відмов з достатнім ступенем точності формулу (2.8) можна замінити лінійною залежністю:

$$F(t) = \lambda t. \quad (4)$$

Тоді імовірність не появи відмовлення (імовірність безвідмовної роботи) можна записати в наступному виді:

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - \lambda t. \quad (5)$$

У процесі експлуатації характеристики ЕУ постійно змінюються. Ступінь зміни працездатності, нарощування параметра потоку відмов та інтенсивності відмов залежить як від конструктивних параметрів й умов експлуатації, так і від глибини й періодичності виконання профілактичних впливів по підтримці працездатності установки. Тоді час t у формулі (2.10) можна розглядати як періодичність технічних впливів $T_{\text{то}}$, необхідних для забезпечення ймовірності безвідмовної роботи системи $P(t)$ при інтенсивності відмов λ ,

$$T_{\text{то}} = \{1 - P(t)\} / \lambda. \quad (6)$$

Для розрахунку періодичності профілактичних впливів використовуються дані інтенсивності відмов груп деталей ЕУ, отримані при експлуатаційних іспитах та показники ймовірності безвідмовної роботи (показники надійності), що закладаються при проектуванні ЕУ. Визначення необхідної періодичності проведення профілактичних впливів для забезпечення закладеного високого рівня ймовірності безвідмовної роботи недостатньо, щоб сформулювати і реалізувати з максимальною надійністю рятувальну операцію.

Призначенням ЗКП та його ЕУ є порятунок екіпажа й пасажирів судна у випадку виникнення відповідної ситуації за максимально короткий час, меншого або що дорівнює рівня граничного нормативного часу, встановленого вимогами SOLAS. Для моделювання рятувальної операції та оцінки тривалості виконання окремих операцій,

етапів та в цілому всієї операції можуть бути використані алгоритм функціонування ЕУ при реалізації стандартної рятувальної операції і структурна схема введення в дію ЕУ ЗКП. При розробці математичної моделі алгоритм функціонування доцільно спростити, об'єднавши операції, що виконуються за місцем розташування ЗКП.

Процес введення в дію ЕУ ЗКП таким чином, можна об'єднати в три етапи:

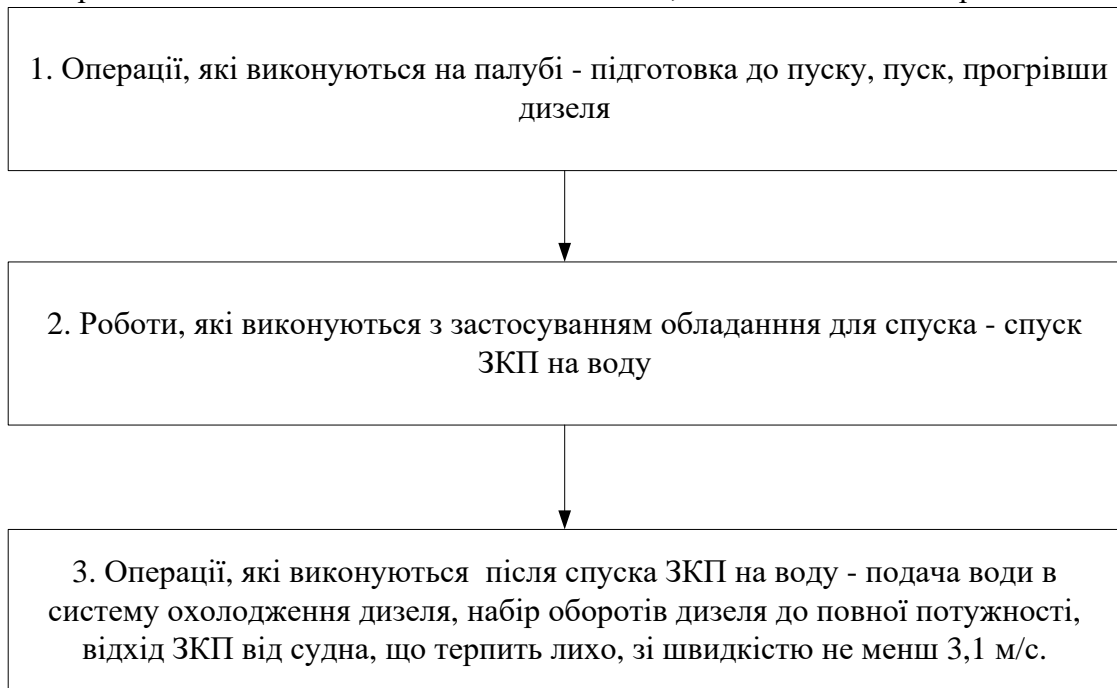


Рисунок 1 – Удосконалений процес введення в дію ЕУ ЗКП

На першому і третьому етапах введення ЕУ в дію на оперативність виконання окремих пунктів та етапів впливають: тип КЗ; система сумішоутворення; цикловий об'єм впорскування палива; кут випередження впорскування палива; частота обертання колінчатого вала; втрати на тертя; ступінь стиску; коефіцієнт надлишку повітря; умови організації робочого процесу; якість палива та мастила.

На другому етапі тривалість спуску ЗКП залежить від надійності роботи обладнання для спуску ЗКП, а також підготовленості й оперативності роботи закріплених за ЗКП членів екіпажу судна.

Як показали дослідження з реалізації стандартної рятувальної операції, є реальні можливості виконання окремих операцій, етапів і всієї рятувальної операції в цілому з випередженням часу їх виконання у порівнянні з установленими нормативами. У Таблиці 1 даний аналіз тривалості виконання окремих пунктів та етапів, отриманих при проведенні навчань у порівнянні з установленими нормативами відповідно до вимог SOLAS.

Перевищення виконання окремих операцій та етапів проти встановлених нормативних значень, а також відмови деталі або вузла ЕУ розглядаються як відмови всієї системи та зриву реалізації рятувальної операції. При дослідженні надійності роботи подібних систем може бути використаний метод математичного моделювання оцінки надійності функціонування не відновлюваної системи з часовим резервом.

Як критерій надійності системи, який має резерв часу для виконання завдання, використовується ймовірність того, що завдання тривалістю t_3 , поставлене перед системою в момент t_0 буде виконано до моменту $t_0 + t$. Момент t_0 у нашому випадку є випадковою величиною. Для спрощення моделі, не порушуючи порядку і закономірностей виконання рятувальної операції можна вважати, що $t_0 = 0$. Тоді ймовірність виконання завдання ($P_{в.з}$) можна записати в наступному виді:

$$P_{в.з} = P(t_{в.з} \leq 1) = P(t_3, t), \quad (7)$$

де $t_{в.з}$ – тривалість виконання завдання.

Таблиця 1 – Дані по тривалості виконання пунктів рятувальної операції

Етапи	Найменування окремих пунктів рятувальної операції	Тривалість, с	
		За результатами навчань	Нормативна
Перший етап	Підготовка до пуску;	20	60
	Пуск;	29	60
	Прогрів двигуна без води	136	120+120
Другий етап	Спуск ЗКП на воду	107	120
Третій етап	Подача води в систему охолодження дизеля та набір оборотів до номінальної потужності;	32	60
	Відхід ЗКП від судна зі швидкістю не менш 3,1 м/с	Через 324 сек.	Через 600 сек.

Функція $P(t_3, t)$ повинна задовольняти наступним умовам:

$$P(t_3, t) = \begin{cases} 0 & \text{для } t_3 \leq 1 \\ P(t_3) = 1 - F(t_3) & \text{для } t_3 = t \end{cases} \quad (8)$$

де $P(t_3)$ - імовірність безвідмовної роботи системи на інтервалі 0- t_3 ; $F(t_3)$ - імовірність появи відмови на інтервалі часу 0- t_3 . Позначимо надлишковий час для i -го пункту операції через $t_{ні}$: $t_{ні} = t_3 - t_i$, тоді можна використовувати форму запису $P_{в.з}$ для i -го пункту операції:

$$P_{в.зi} = P(t_{в.зi}, t_{ні}) = 1 - F(t_{в.зi}, t_{ні}). \quad (9)$$

Імовірність безвідмовної роботи до початку рятувальної операції можемо умовно прийняти за 1. З плином часу виконання окремого пункту операції (або операції в цілому) імовірність безвідмовної роботи ЕУ ЗКП знижується. У будь-який j -й момент часу i -го пункту операції ймовірність безвідмовної роботи $[P(t_{ji})]$ складає:

$$P(t_{ji}) = 1 - \lambda t_{ji}. \quad (10)$$

Таким чином, для системи з часовим резервом ймовірність безвідмовної роботи в момент фактичного завершення пункту операції буде значно вище, ніж вона закладена на момент планового завершення пункту операції, виходячи з максимально допустимої тривалості її виконання. Чим більше надлишковий час на виконання даного пункту операції, тим вище надійність його виконання.

Маючи інформацію про планову та фактичну тривалість виконання пунктів операції або операції в цілому, а також дані про інтенсивність потоку відмов за деталями і вузлам ЕУ можна визначити імовірність безвідмовної роботи окремих пунктів операції, рятувальної операції в цілому та ЕУ ЗКП у будь-який момент проведення операції. Це дозволить оцінювати рівень надійності виконання рятувальної операції конкретної ЕУ.

Розглянемо результати експериментальних та розрахунково-аналітичних досліджень, виконаних у роботі з метою визначення оптимальних шляхів покращення експлуатаційних якостей МД та створених на їх базі ЕУ ЗКП. Від того, наскільки швидко рятувальна шлюпка з екіпажем і пасажирями буде введена в дію, відійде від корабля, що терпить лихо, і набере швидкість, залежить успіх рятувальної операції. Для цього необхідно забезпечити мінімальну тривалість операцій.

Підготовка до запуску дизеля. Відповідно до вимог SOLAS тривалість підготовки до пуску дизеля не повинна перевищувати 60 секунд. У реальності, при своєчасному виконанні встановлених регламентних робіт, підтримці запасу палива, рівня мастила, цей час не перевищує 30 секунд, що підтвердилося при проведенні дійсних досліджень.

Пуск дизеля. По вимогах SOLAS швидкий і безвідмовний пуск двигуна РКП повинний забезпечуватися при температурі навколишнього середовища до 258 К. З огляду на, що при таких температурах працездатність електростартерних систем істотно знижується і не може гарантувати надійний пуск, за основну, по вимогах SOLAS, на дизелях РКП прийнята ручна система пуску. При цьому, зусилля на пусковій рукоятці при строгуванні колінчатого вала зі стану спокою повинне бути не більш 160 Н на одну людину. Проведеними дослідженнями встановлено, що пуск двоциліндрових двигунів можуть здійснювати 1-2 чоловіка, а чотирьохциліндрових двигунів таких, як 4 ЧСП 9,5/11 - 4 чоловіка. Пуск дизеля здійснювався не більш ніж як за три спроби. Тривалість кожної зі спроб не перевищувала 20 секунд. Загальна тривалість запуску дизеля не перевищувала 60 секунд.

Посадка екіпажу і пасажирів судна в шлюпку. З метою скорочення загальної тривалості рятувальної операції, посадка екіпажа і пасажирів у шлюпку виконувалася одночасно з пуском і прогрівом дизеля на палубі. Посадка екіпажа та пасажирів були довершені на обох досліджуваних РКП менш, ніж за 2 хвилини.

Спуск РКП на воду. Спуск РКП на воду є відповідальною і небезпечною операцією, особливо при екстремальних умовах під час шторму та аварії судна. Успішне і швидке виконання цієї операції залежить від справності та надійності механізмів, які забезпечують спуск РКП на воду й злагодженості роботи екіпажа судна. При проведенні натурних досліджень спуск шлюпок на спокійну воду не перевищив 90 секунд.

Прийомистість та швидкість ходу РКП. Шанси людей на порятунок тим вище, чим швидше рятувальна шлюпка здатна відійти на безпечну відстань від судна, що терпить лихо. Тому дуже важливо забезпечити прийняття повного навантаження МД ЕУ РКП відразу після спуска рятувальної шлюпки на воду з мінімальною тривалістю руху по швидкості обертання гребного гвинта і мати швидкість ходу шлюпки не нижче встановленої по вимогах SOLAS (3,1 м/с).

Нормативи по прийомистості МД ЕУ РКП на сьогоднішній день поки ще не розроблені. Прийомистість істотно відрізняється в залежності від: повної і буксировочної потужності ЕУ; особливостей прогріву дизеля та організації робочого процесу; пасажировмісності, довжини, ширини й осідання шлюпки, від яких залежить площа змоченої поверхні корпусу шлюпки (Ω), коефіцієнт опору (ξ) і повний опір руху шлюпки ($\xi \cdot \Omega$).

На рисунку 2 показаний спуск на воду рятувальної шлюпки "Greven V". Виконані розрахунки та технічні параметри для рятувальної шлюпки проекту 00022 із дизелем ЕУ "Каспій 30М" (4ЧСП 9,5/11) й рятувальну шлюпку "Greven V" із силовою установкою марки MG2 фірми "Лестер" представлені в табл. 2.



Рисунок 2 – Рятувальна шлюпка "Greven V"

Таблиця 2 – Розрахункові значення параметрів для визначення прийомистості

Найменування РКП та ЕУ	N_e кВт	n_e с ⁻¹	$i_{ред}$	η_m	η	C_1	J н·м ² ·с	τ_{mn} с
Проект 00022 Каспій 30 М	22	31,66	(1:2,13) 0,4694	0,74	0,5	0,3171	10,52	33
Greven V MG2	21,4	60	(1:4) 0,25	0,82	0,53	0,1524	3,47	39

Прийомистість досліджуваних рятувальних шлюпок, їхня площа змоченої поверхні і швидкість ходу шлюпок визначалися при повній пасажировмісності (26 і 35 чоловік) і при посадці тільки 5 чоловік. Результати експериментальних досліджень представлені в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати експериментальних досліджень введення в дію та прийомистості рятувальних шлюпок

Параметри, які досліджуються	Рятувальна шлюпка	
	Проект 00022	Greven V
Час підготовки до пуску дизеля, с	20	15
Час пуску дизеля, с	29	27
Час посадки людей, с	78	105
Час підготовки до спуску шлюпки, с	17	17
Час спуску шлюпки на воду, с	90	86
Час введення ЕУ в дію, с	217	246
Тривалість прогріву дизеля без води в системі охолодження, с	136	166
Температура навколишнього середовища, К	285	285
Площа змоченої поверхні, м ²		
- при повному навантаженні	14,14	15,6
- при частковому навантаженні - 5 чоловік	10,78	7,98
Прийомистість по частоті обертання, с		
- при повному навантаженні	32	38
- при частковому навантаженні - 5 чоловік	15,8	19,4
Швидкість ходу шлюпки, м/с		
- при повному навантаженні шлюпки	3,1	3,1
- при частковому навантаженні - 5 чоловік	3,4	3,6

Тривалість підготовки до пуску й пуск дизелів на досліджених шлюпках склали 49 та 42 секунди відповідно, що не перевищує нормативи, встановлені SOLAS.

Посадка пасажирів (26 та 35 чоловік) здійснювалася одночасно з підготовкою до пуску, пуском та прогрівом дизеля на палубі. Тривалість операції склали 78 та 105 секунд відповідно. Тривалість підготовки до спуску та спуск шлюпки на воду склали 107 та 103 секунди відповідно.

Тривалість введення в дію ЕУ з урахуванням прийомистості за числом оборотів колінчатого вала склали 217 та 246 секунд відповідно.

При проведенні тренувань тривалість кожної з окремих операцій при реалізації стандартної рятувальної операції не перевищили максимальних тривалостей, установлених вимогами SOLAS. Порівняльний аналіз рятувальних шлюпок проекту 00022 та "Greven V", незважаючи на розходження пасажировмісності мають близькі характеристики, що можна пояснити створенням їх за єдиними міжнародними вимогами.

Разом з тим, дизельні енергетичні установки цих шлюпок мають істотні розходження. Так, ЕУ рятувальної шлюпки проекту 00022 створена на базі чотирьохциліндрового МД 4 ЧСП 8,5/11 - 5 потужністю 22 кВт із вихровою камерою згоряння, частотою обертання колінчатого вала $31,66 \text{ с}^{-1}$, а ЕУ шлюпки «Greven V» - на базі двохциліндрового дизеля MG2 потужністю 21,4 кВт при частоті обертання колінчатого вала 60 с^{-1} .

Існуючі в ЗКП українських суден дизелі для рятувальних шлюпок програють по таким важливим експлуатаційним характеристикам як пускові якості, кількість людей, необхідних для здійснення пуску дизеля вручну, питома потужність, масогабаритні показники та паливна економічність. Наявність вихрової камери не дозволяє гарантувати їх пуск без використання свіч накаливання або інших засобів полегшення запалення палива при температурах навколишнього середовища нижче 273 К . Для пуску чотирьохциліндрового дизеля з вихровою камерою вручну потрібне зусилля 4-х людей, тоді як двоциліндровий дизель з камерою згоряння в поршні може запустити одна людина.

Переведення дизелів на камеру згоряння в поршні дозволяє забезпечити високу паливну економічність і добрі пускові якості, підвищити механічний ККД та ефективність дизеля. Зниження масогабаритних показників можна домогтися зменшення кількості циліндрів з 4-х до 2-х, при цьому необхідна агрегатна потужність може бути забезпечена за рахунок форсування дизеля по числу оборотів з $31,66 \text{ с}^{-1}$ до 60 с^{-1} . Варто врахувати, що переключення на такі двигуни зажадає використання більш якісних матеріалів, високої точності і якості виготовлення деталей, удосконалення технології і підвищення культури виробництва дизелів.

Комплекс виконаних моторних досліджень можна розділити на три найбільш важливі групи, присвячені:

- 1) вивченню особливостей організації робочого процесу в МД типу Ч 9,5/11;
- 2) вивченню особливостей маневрених якостей ЕУ малої потужності;
- 3) вивченню і підвищенню експлуатаційних якостей ЕУ малих судів.

Моторні дослідження МД мали своєю метою:

– визначення оптимальних шляхів організації стабільного і високоекономічного робочого процесу;

– з'ясування оптимальних меж форсування по частоті обертання колінчатого вала n і середньому ефективному тиску p_e ;

– вивчення принципових закономірностей підвищення експлуатаційної ефективності функціонування ЕУ малої потужності шляхом форсування РКП по n та p_e , зниження питомих витрат палива g_e та мастила g_m , а також втрат у пропульсивному комплексі;

– визначення оптимальних шляхів досягнення постійної готовності та оперативності введення в дію ЕУ;

– вивчення принципів закономірностей розгону колінчатого валу в режимі введення в дію ЕУ, достовірний і обґрунтований його опис і визначення моменту опору провертанню колінчатого валу при температурах від 258К, характерних для умов експлуатації ЕУ РКП;

– вивчення пускових якостей СМД і встановлення оптимальних для пускових та робочих режимів значень ступеня стиску, циклової подачі палива $q_{ц}$, кута випередження подачі палива та в'язкості моторного мастила.

Модельні й експлуатаційні дослідження надійності полягали:

– у визначенні конструктивних, технологічних і експлуатаційних умов, при яких ЕУ РКП може мати максимальну надійність $[P(t) \rightarrow 1]$, при реалізації стандартної рятувальної операції;

– у зборі й аналізі статистичної інформації з експлуатаційної надійності ЕУ РКП різних морських судів, у тому числі іноземного виробництва;

– визначенні оптимальних шляхів організації безвідмовного введення в дію і функціонування ЕУ у специфікаційних та неспецифікаційних умовах експлуатації РКП, достовірного та обґрунтованого встановлення факторів, що впливають на збереження та надійність ЕУ в умовах усього строку служби до списання РКП.

Основні результати виконаних досліджень були покладені в основу теоретичних розробок напрямків:

– покращення експлуатаційних якостей ЕУ: "Каспій 30М" і "Каспій 40";

– підвищення компактності та зниження масо-габаритних характеристик ЕУ малої потужності.

Проведені дослідження з реалізації стандартних рятувальних операцій дозволили виявити найбільш значимі технічні процедури та етапи, які впливають на ефективність і оперативність виконання рятувальної операції. Були визначені експлуатаційні параметри малорозмірних дизелів, покращення характеристик яких забезпечить більш оперативну та надійну реалізацію рятувальної операції. Розставлено пріоритети технічних і конструктивних рішень, що підвищують експлуатаційні якості МД, спрямованих на покращення пускових і маневрених якостей ЕУ РКП.

Висновки. Дослідження МД Ч 8,5/11 та порівняльний аналіз технічних характеристик МД з вихровими КЗ виявили серйозні недоліки цих двигунів, що обмежують їх використання як базового дизеля для створення ЕУ РКП. Показники роботи вітчизняних МД Ч8,5/11 уступають показникам МД ведучих західних виробників, крім того, пуск цих двигунів при температурах навколишнього середовища нижче 273К утруднений без використання засобів полегшення пуску, тоді як, по вимогах SOLAS, безвідмовний запуск, у тому числі і вручну, повинний забезпечуватися при температурах навколишнього середовища до 258К. Як показали проведені дослідження, для запуску вітчизняного дизеля з вихровою камерою потрібне зусилля 4-х людей, а дизель MG2 англійської фірми "Лестер" може запустити одна людина. Дуже важливою експлуатаційною якістю ЕУ РКП є оперативність і надійність пуску дизеля. Розгін колінчатого валу дизеля в режимі пуску складається з попередніх, наступних і кінцевого етапів, тривалість яких визначається співвідношенням моментів колінчатий вал ($M_{ст}$, M_i) виконуючих опір його прокручуванню (M_c). Ефективним засобом підвищення надлишкового моменту ($M_i - M_c$) у режимі пуску МД є спалювання в камері згорання більшої кількості циклової ($q_{ц}$) подачі палива шляхом регулювання МД по оптимальному куту випередження подачі палива в режимі пуску і збільшення на час пуску циклової подачі палива до оптимальної величини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Авдонькин Ф.Н. Оптимизация изменения технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации: Моногр./ М.: Транспорт, 1993. 350с.

2. Автомобильные и тракторные двигатели. Ч.1: Учебник для вузов/ И.М. Ленин, А.В. Костров, О.М. Малашкин и др. М.: Высшая школа, 1976.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий: Моногр./ М.: Наука, 1976. 280с.
4. Александров М.Н. Безопасность человека на море: Моногр./Л.: Судостроение, 1983. 208с.
5. Александров М.Н. Вероятностный метод оценки эффективности спасательных средств морских судов // Судостроение. 1971. №9. С. 6-16.
6. Александров М.Н. Современные спасательные средства и их эффективность // Морской флот. 1972. №8.с.76-80.
7. Алексеев В.В., Анализ показателей функциональной эффективности энергетической установки средств коллективного спасения экипажей морских судов// Материалы 9-ой международной научно-практической конференции «Теоретические и практические аспекты современной науки», Науч.-инф. издат. центр «Институт стратегических исследований». – Москва: Изд-во «Спецкнига», 2013, с. 10 – 19.
8. Алексеев В.В., Структура реализации стандартной спасательной операции с вводом в действие энергетической установки спасательной шлюпки // Вестник АГТУ.- Астрахань: Изд. АГТУ, 2013. №2 с. 72-78.
9. Алексеев В.В., Математическое моделирование процесса реализации спасательной операции.,// Второй балтийский международный форум: тезисы докладов – г. Калининград: БГАВТ, 2014 – т.1 – с. 15-17.
10. Алексеев В.В., Масуев М.А. Анализ технического уровня дизелей энергетических установок средств коллективного спасения экипажей морских судов // Труды конгресса Международного научно-практического форума «Великие реки 2013», том 1, Н.Новгород, Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т; Н. Новгород: ННГАСУ, С. 368-378
11. Аливагабов М.М. Двигатели спасательных шлюпок и катеров: Моногр. / Л.: Судостроение, 1980. 224с.
12. Аливагабов М.М. Исследование процесса пуска двигателя вручную // Труды ЛКИ. 1974. вып.91.
13. Аливагабов М.М. Исследование пусковых качеств и рабочего процесса малоразмерного дизеля типа ч8,5/11 для спасательных шлюпок: Дисс. канд. техн. наук / ЦНИДИ. Л., 1975.
14. Аливагабов М.М. Новый дизель 4чСП8,5/11-5// Судостроение. 1973. №9.
15. Аливагабов М.М. Об оптимальной цикловой подаче топлива в режиме пуска // Реф. журнал. Двигатели внутреннего сгорания (НИИИНФОРМТЯЖМАШ). 1974. № 23919.
16. Аливагабов М.М. Оценка эффективности энергетических установок средств коллективного спасения морских судов // Судостроение. 1986. №1. С.20-23.
17. Аливагабов М.М. Специфические условия эксплуатации энергетических установок средств коллективного спасения и требования к ним // Двигателестроение. 1985. №2. С.14-16.
18. Балабин В.Н., Евстифеев Б.В., Соин Ю.В. Повышение топливной экономичности дизелей за счет регулирования отключением части цилиндров: Обзор./ М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1988. 28с.
19. Баландин С.С. Бесшатунные двигатели внутреннего сгорания: Моногр. / М.: Машиностроение, 1972.
20. Барзилович Е.Ю., Каштанов В.А. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем: Моногр. / М.: Советское радио, 1971. 272с.
21. Беленький А.С. Исследование операций в транспортных системах: Моногр./ М.: Мир, 1992. 584с.

22. Бениович В. С. Роторнопоршневые двигатели. Геометрия, кинематика, динамика: Дисс...докт. техн. наук/ М.:МАДИ, 1971. 294с.
23. Бордуков В.В. Исследование влияния закрутки заряда на показатели рабочего процесса высокооборотного дизеля//Труды ЦНИДИ.Л.1980. С.31-42
24. Болдырев И.В., Смирнова Т.Н. Энергетический баланс дизелей с пониженным теплоотводом // Дизелестроение. 1990. №2. С.8-11.
25. Боровков А.А. Вероятностные процессы в теории массового обслуживания: Моногр./ М.: Наука, 1971. 368с.
26. Бочкарев В.Н., Булатов В.П. Роль технологии в обеспечении надежности двигателей внутреннего сгорания // Труды ЛКИ. Л.: 1983. С.63-8
27. Бочкарев В.Н., Хазов И.А. Влияние методов поверхностного пластического деформирования на износостойкость деталей соединения поршень-шатун малоразмерных дизелей //Вестник машиностроения Харьковского политехнического института. 1982. №4. вып.12. С.58-60.

REFERENCES

1. Avdonkin F.N. ptimization of changes in the technical condition of the car during operation: Monograph./ М.: Transport, 1993. 350s.
2. Car and tractor engines. Part 1: Textbook for universities: Uchebnik dlya vuzov/ I.M. Lenin, A.V. Kostrov, O.M. Malashkin i dr. М.: Vysshaya shkola, 1976.
3. Adler Yu.P., Markova E.V., Planning an experiment in search of optimal conditions: Monograph./ М.: Nauka, 1976. 280s.
4. Aleksandrov M.N. Human safety at sea: Monograph../L.: Sudostroenie, 1983. 208s.
5. Aleksandrov M.N. Probabilistic method for assessing the effectiveness of marine vessels // Sudostroenie. 1971. #9. S. 6-16.
6. Aleksandrov M.N. Modern rescue equipment and their effectiveness// Morskoy flot. 1972. № 8.s.76-80.
7. Alekseev V.V., Analysis of indicators of functional efficiency of power installation of means of collective rescue of crews of sea vessels// Materialyi 9-oy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Teoreticheskie i prakticheskie aspektyi sovremennoy nauki», Nauch.-inf. izdat. tsentr «Institut strategicheskikh issledovaniy». – Moskva: Izd-vo «Spetskniga», 2013, s. 10 – 19.
8. Alekseev V.V., he structure of the implementation of the standard rescue operation with the commissioning of the power plant of the lifeboat // Vestnik AGTU.- Astrahan: Izd. AGTU, 2013. #2 s. 72-78.
9. Alekseev V.V., Mathematical modeling of the process of implementation of the rescue operation// Vtoroy baltiyskiy mezhdunarodnyiy forum: tezisyi dokladov – g. Kaliningrad: BGAVT, 2014 – t.1 – s. 15-17.
10. Alekseev V.V., Masuev M.AAnalysis of the technical level of diesels of power plants of collective rescue crews of sea vessels // Trudyi kongressa Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma «Velikie reki 2013», tom 1, N.Novgorod, Nizhegorod. gos. arhit.-stroit. un-t; N. Novgorod: NNGASU, s. 368-378
11. Alivagabov M.M. Engines of lifeboats and boats: Monograph./ L.: Sudostroenie, 1980. 224s.
12. Alivagabov M.M. Research of process of start of the engine manually// Trudyi LKI. 1974. vyip.91.
13. Alivagabov M.M. Research of starting qualities and working process of the small-sized diesel engine of the h8,5 / 11 type for lifeboats: Diss. Cand. tech. Sciences/ TsNIDI. L., 1975.
14. Alivagabov M.M. New diesel 4hSP8,5 / 11-5 // Shipbuilding. 1973. № 9.

15. Alivagabov M.M. On the optimal cyclic fuel supply in the start-up mode// Ref. zhurnal. Dvigateli vnutrennego sgoraniya (NIIFORMTYaZhMASH). 1974. № 23919.
16. Alivagabov M.M. Estimation of efficiency of power installations of means of collective rescue of sea vessels // Sudostroenie. 1986. №1. S.20-23.
17. Alivagabov M.M. Specific conditions of operation of power plants of collective rescue means and requirements to the// Dvigatelistroenie. 1985. №. S.14-16.
18. Balabin V.N., Evstifeev B.V., Soin Yu.V Improving the fuel efficiency of diesels by regulating the shutdown of the cylinders: Review./ M.: TsNIITEItyazhmash, 1988. 28s.
19. Balandin S.S. Reciprocating internal combustion engines: Monograph./ M.: Mashinostroenie, 1972.
20. Barzilovich E.Yu., Kashtanov V.A Some mathematical questions of the theory of service of complex systems: Monograph. / M.: Sovetskoe radio, 1971. 272s.
21. Belenkiy A.S. Research of operations in transport systems: Monograph./ M.: Mir, 1992. 584s.
22. Beniovich V. S. Rotary piston engines. Geometry, kinematics, dynamics: Diss. tech. Sciences/ M.:MADI, 1971. 294s.
23. Bordukov V.V. Investigation of the influence of charge twist on the performance of a high-speed diesel process//Trudy TsNIDI.L.1980. S.31-42
24. Boldyirev I.V., Smirnova T.N. nergy balance of diesels with reduced heat dissipation // Dizelestroenie. 1990. #2. S.8-11.
25. Borovkov A.A. Probabilistic processes in the theory of queuing: Monograph/ M.: Nauka, 1971. 368s.
26. Bochkarev V.N., Bulatov V.P. The role of technology in ensuring the reliability of internal combustion engines // Trudy LKI. L.: 1983. S.63-8
27. Bochkarev V.N., Hazov I.A. Influence of methods of surface plastic deformation on wear resistance of details of connection of the piston-connecting rod of small-size diesels//Vestnik mashinostroeniya Harkovskogo politehnicheskogo instituta. 1982. #4. vyip.12. S.58-60.

Горбань А.В., Ганношина І.М., Масік І.П., Гаценко Л., Байрамова О.В.

RESEARCH OF METHODS OF INCREASE OF RELIABILITY AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF ENGINES OF MEANS OF COLLECTIVE RESCUE OF CREWS OF SEA VESSELS

The article synthesizes the methods of increasing the reliability and functional characteristics of the engines of collective rescue crews of ships. Studies on the implementation of standard rescue operations have identified the most significant technical procedures and stages that affect the efficiency and effectiveness of the rescue operation. The operational parameters of small diesels were determined, the improvement of the characteristics of which will ensure a more efficient and reliable implementation of the rescue operation. The priorities of technical and design solutions that improve the performance of MD, aimed at improving the launch and maneuverability of the EU RCP. In the course of the research a number of tasks were solved: development of a model of application of EU ZKP and determination of the main directions of improvement of its functional characteristics; development of criteria for assessing the effectiveness of the functioning of the EU, which allows to determine the degree of suitability of the ship's MD for installation on the ZKP; the method of improvement of functional characteristics of MD EU ZKP is offered; generalized features of functioning of MD EU in all possible conditions of realization of rescue operation; developed recommendations for improving the design and manufacturing technology of boat diesel parts, its starting and maneuvering qualities.

Key words: safety, crew, sea vessels, engine, accidents, catastrophes