

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ

Збірник наукових праць

випуск 1(32)

**Київ
2021**

Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2021. – Випуск 1(32). – 148 с.
<https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.1.32>

У збірнику публікуються матеріали, що відображають наукову й методичну роботу викладачів і аспірантів Державного університету інфраструктури та технологій, фахівців підприємств і організацій водного транспорту.

Більшість публікацій присвячена проблемам галузі експлуатації засобів водного транспорту, зокрема, розглядаються питання інфраструктури, технологій та організації транспортних процесів, впровадження сучасних технологій, математичного моделювання, екологічної безпеки, економічних аспектів діяльності річкового та морського транспорту й якісної підготовки фахівців з даного напрямку.

Збірник має чотири тематичні розділи: «Судноводіння та енергетика суден», «Методика навчання», «Інформаційні технології», «Екологічна безпека».

Засновник: Державний університет інфраструктури та технологій

Адреса редакції: вул. Кирилівська, 9, Київ, Україна, 04071

Телефон: +38(044) 482-51-38; +38(050) 398-47-96

E-mail редакції: duit@duit.edu.ua

Інформаційний сайт: <http://vt.duit.edu.ua>

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.

Головний редактор – доктор технічних наук, професор Тимошук О.М.

Редакційна колегія:

Богом'я В.І., д. т. н., професор (заступник головного редактора); Сьомін О.А., к.т.н.; Варбанець Р.А., д. т. н., професор; Горобченко О.М., д.т.н., доцент; Дубинець О.І., д. т. н., професор; Доронін В.В., к.т.н.; Колесник В.В., к.т.н., доцент; Дакі О.А., д. т. н., професор; Лісовал А.А., д. т. н., професор; Майборода О.М., д. т. н., професор; Сербін С.І., д. т. н., професор; Соломенцев О.В., д. т. н., професор; Фомін О.В., д. т. н., професор; Мачалін І.О., д. т. н., професор; Тихонов І.В., д.т.н., с.н.с.; Давидов В.С., к.т.н., доцент; Кравченко Ю.В., д. т. н., професор; Онищенко О.А., д. т. н., професор; Діасамідзе Мзія Р., д. т. н., професор, (Грузія); Прієднієкс Валдис Р., д. т. н., професор, (Латвійська Республіка); Шаріфов З. З., д. т. н., професор, Гафаров А. М., доктор технічних наук, професор, (Азербайджанська Республіка).

Відповідальний секретар редколегії – Богом'я О.В.

Підписано до друку за рекомендацією Вченої ради Державного університету інфраструктури та технологій (протокол № 3 від 10 грудня 2020 р.)

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 23216-13056ПР від 23.02.2018 р.

Збірник включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б», спеціальності – 271, 275), у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата з технічних наук (Наказ Міністерства освіти і науки України від 28.12.2019 № 1643).

ЗМІСТ

СУДНОВОДІННЯ ТА ЕНЕРГЕТИКА СУДЕН

Вильдяева Л.Н., Панов С.Л., Чередник В.Н., Макаров А.М. Автоматизированный расчет минимального времени регулирования котла по переходной функции как объекта регулирования уровня воды.....	4
Тимошук О.М., Єлєзаров О.П., Гладкий А.Р. Аналіз можливостей електронної картографічної навігаційної інформаційної системи для оптимального керування рухом судна.....	13
Зазірний А.А., Аросланкін О.О. Узгодження технічного та біологічного сегментів ергатичної системи «судноводій - судно» з використанням нечіткого нейромережевого підходу.....	19
Бажак О.В., Трофименко І.В., Бойко А.Д. Синтез моделі та алгоритмів процесу керування рухом судна.....	29
Пліта Л.Л., Богом'я В.І., Писанко А.Г. Аналіз систем керування судном та особливостей їх експлуатації.....	36
Дубинець О.В., Гаценко Л.В., Байрамова О.В. Дослідження методів підвищення надійності і функціональних характеристик двигунів засобів колективного порятунку екіпажів морських судів.....	42
Дакі О.А., Ткаченко В.В., Левченко О.В., Куш О.В. Дослідження процесів вібрації в машинних відділеннях теплоходів.....	54
Мельник О.В., Сорока В.В., Гаталяк М.Я. Методи зниження вмісту токсичних компонентів відпрацьованих газів судових дизелів.....	64
Урум Н.С., Шапіро Г.В., Максименко Л.А., Маларьова Н.О. Дослідження моделі процесу згоряння альтернативних видів палива в судових дизелях.....	75

МЕТОДИКА НАВЧАННЯ

Найденів І.В., Смирнова І.М., Бліндарук О.М., Кравчук Ю.О. Методи підвищення паливної економічності та поліпшення екологічних показників засобів річкового транспорту в умовах експлуатації.....	86
--	----

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Гусак І.Л., Шапран Ю.Є., Матюхов А.Т., Бойко О. А. Дослідження системи підтримки прийняття рішення безпеки судноводіння.....	98
Горбань А.В., Маранов О.В., Клочков Ю.П., Дорофєєва З.Я. Інформаційне забезпечення для моніторингу та управління рухом суден з використанням даних супутникової навігації.....	114
Федотов В.Г., Міхєєв О.І. Вплив електрично активних дефектів на термостимульовані струми в кристалах дифосфіду цинку.....	128
Скляренко І.Ю., Смирнова І. М., Герчиков О. О., Сидорчук О.Р. Розробка і впровадження алгоритму безпечного маневрування суден внутрішнього плавання.....	134
АВТОРИ ВИПУСКУ.....	145
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ.....	147

СУДНОВОДІННЯ ТА ЕНЕРГЕТИКА СУДЕН

УДК 656.621.073.28.679

doi.org/10.33298/2226-8553/2021.1.32.01

Вильдяева Л.Н., Панов С.Л., Чередник В.Н., Макаров А.М.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОТЛА ПО ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ КАК ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ

В статье рассматривается задача автоматизированного расчета минимального времени регулирования парового котла по переходной функции с целью поддержания уровня воды в заданных пределах при любых условиях эксплуатации, что является основным требованием надежности в условиях мореплавания судна, а также минимизировать человеческий фактор при управлении судовыми энергетическими установками. Объектом регулирования является паровой вспомогательный котел. Динамические свойства котла как объекта регулирования уровня воды характеризуются переходной функцией, ординаты которой – уровень воды в котле, последовательно зафиксированные через промежутки времени.

В статье приведен алгоритм решения обыкновенного дифференциального уравнения третьего порядка, которое характеризует затухающие амплитудные колебания, что представляют собой типовое колебательное звено систем автоматического регулирования (АСР) и соответственно может быть применен для автоматизации других судовых энергетических установок.

Ключевые слова: автоматизация судовых энергетических установок, автоматизированные системы регулирования, техническая эксплуатация судов, паровой котел, дифференциальное уравнение, колебательное звено, типовое звено систем автоматического управления.

Анализ современного состояния проблемы. При маневрах уровень воды в котле может изменяться быстро и в недопустимых пределах, что может явиться причиной аварии в результате заброса воды в пароперегреватель, турбину или нарушения циркуляции в котле. Поэтому поддержание уровня в заданных пределах при любых условиях эксплуатации является основным требованием надежности.

Постановка проблемы. При ступенчатом изменении нагрузки изменения подвода топлива к котлу отражает переходный процесс, который показывает действительное изменение уровня. После нанесения возмущения уровень будет непрерывно изменяться. Автоматизировать расчет параметров котла с целью обеспечения безопасного уровня при изменении подвода топлива в заданных пределах есть актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Судовая энергетическая установка, паротурбинная, газотурбинная либо дизельная, включает в себя большое количество взаимосвязанных агрегатов и механизмов, устройств и систем с большим количеством регулируемых величин. Многие современные энергетические установки характеризуются быстрыми изменениями величин, определяющих протекание рабочих процессов, при которых оператор в силу своих ограниченных физиологических возможностей не в состоянии следить за их изменением. В связи с этим для

нормальной эксплуатации современных энергетических установок они должны быть оборудованы средствами автоматического регулирования, сигнализации и защиты.

Цель статьи. Разработать алгоритм автоматизированной системы регулирования, которая настраивается путем изменения коэффициента усиления регулятора K_p на переходный процесс с минимальным временем регулирования и динамической ошибкой (отклонением) Ψ_d не более 40%.

Изложение основного материала. Уравнение динамики котла как объекта регулирования уровня φ_1 можно получить, используя его функциональную схему (рис. 1).

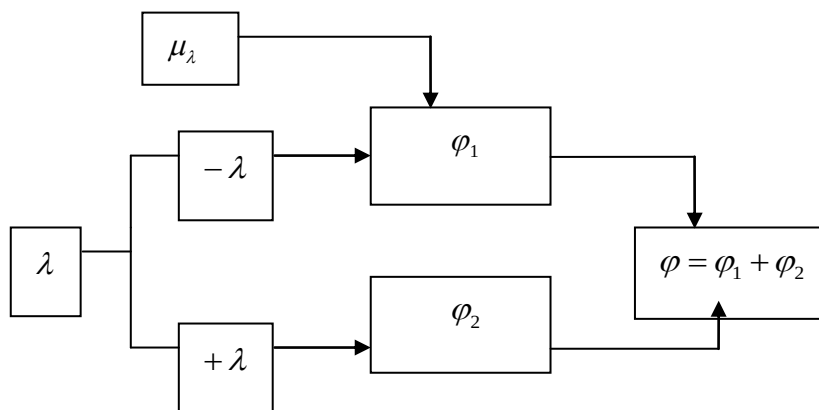


Рисунок 1 – Функциональная схема котла как объекта регулирования уровня воды

$$\varphi_1 = \frac{1}{Ta \cdot T} (\mu_\lambda - \lambda); \quad \varphi_2 = \frac{K_\lambda}{Tar \cdot T + 1} \cdot \lambda; \quad \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{1}{Ta \cdot T} (\mu_\lambda - \lambda) + \frac{K_\lambda}{Tar \cdot T + 1} \cdot \lambda, \quad (1)$$

где φ - относительное изменение уровня;

Ta – время разгона котла по уровню вследствие небаланса «расход пара — поступление питательной воды»;

Tar – постоянная времени котла по изменению уровня вследствие явления "набухания";

T – постоянная времени;

λ – относительное изменение нагрузки (расхода пара), возмущающее воздействие;

K_λ – коэффициент усиления по возмущающему воздействию.

$$\mu_\lambda = -\frac{\varphi}{Tar + Dr} = \Delta m / m_{\max}; \quad \Delta m = m_{\max} - m, \text{ где } m \text{ и } m_{\max} \text{ соответственно текущее}$$

значение и максимальная величина перемещения поршня исполнительного механизма, мм;

Dr – коэффициент неравномерности, $0 \leq Dr \leq 0,1$.

Дифференциальное уравнение динамики АСР третьего порядка имеет вид:

$$(F^{(3)} + A_2 F^{(2)} + A_1 F^{(1)} + A_0) \varphi = (B_2 F^{(2)} + B_1 F^{(1)} + B_0) \lambda. \quad (2)$$

Начальные условия: $\varphi(0) = 0$; $\varphi'(0) = B_2(-\lambda)$; $\varphi''(0) = B_1(-\lambda) + A_2 B_2 \lambda$,

где: $F = \frac{\partial \varphi}{\partial t}$; $\varphi = \frac{dH}{H_0}$; ∂t – интервал времени (сек); H - уровень воды в котле (мм)

Коэффициенты дифференциального уравнения:

$$A2 = \frac{T_{ap} + T \cdot Dp}{T_{ap} \cdot T}; \quad A1 = \frac{T_a \cdot Dp + T}{T_{ap} \cdot T_a \cdot T}; \quad A0 = \frac{1}{T_{ap} \cdot T_a \cdot T};$$

$$B2 = \frac{T_a \cdot K_\lambda - T}{T_a \cdot T}; \quad B1 = \frac{T \cdot Dp \cdot K_\lambda - Dp \cdot T - T_{ap}}{T_{ap} \cdot T_a \cdot T} + A2; \quad B0 = \frac{-Dp}{T_{ap} \cdot T_a \cdot T},$$
(3)

где: для конкретного примера скачкообразное изменение пара $\lambda = 20\%$;

$K_\lambda = \frac{F2_{max}}{(\lambda \cdot 100)}$ – коэффициент усиления по возмущающему воздействию (см. рис. 2);

$T_{ap} = 0.02 \cdot T_c$, где $T_c = 10$ с время сервомотора.

Сервомотор – поршневой, прямодействующий, в динамическом отношении является интегрирующим, нейтральным звеном с минимальным временем сервомотора $T_c = 5$ с. Жесткая обратная связь кинематического типа;

T – постоянная времени, $T = 0,5(T_{MIN} + T_{MAX})$ (см. рис. 2);

T_a – время разгона котла по уровню вследствие небаланса (см. рис. 2).

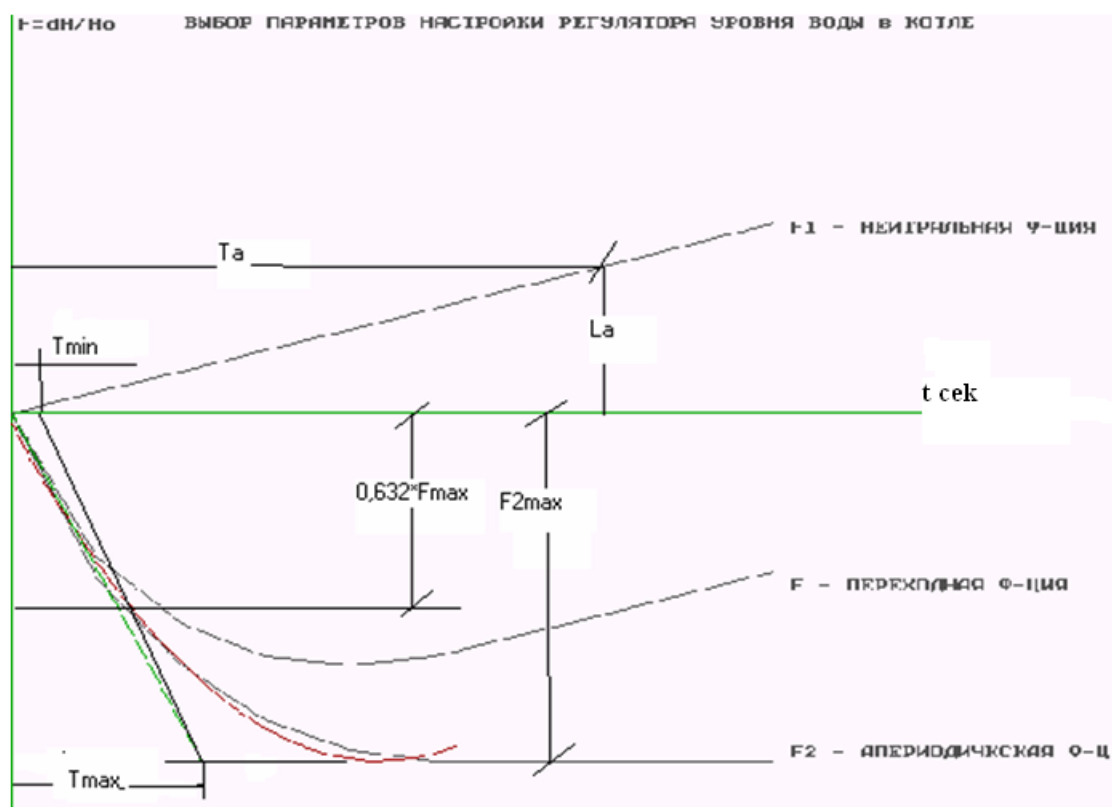


Рисунок 2 – Определение параметров настройки регулятора уровня воды в котле

определения T и T_a необходимо определить параметры функций:

1. Переходной $F = \frac{H_i - H_0}{H_0};$

2. Нейтральной Угловой коэффициент $K = \frac{H_9 - H_8}{t_9 - t_8}; F_1 = K \cdot T; K = 0,0014;$

4. Аппроксимируем 6 точек апериодической функции параболой

5. Угловой коэффициент касательной к параболе $K_{\Pi} = 2ax + b$, в точке $T(0,0)$ $K_{\Pi} = b$. Уравнение касательной будет $F = K_{\Pi} \cdot t$; $K_{\Pi} = -0,01031$.

7. Чтобы определить $T_{\min}$ необходимо определить вспомогательную точку сечения прямой $y = 0,632F_{\max}$ и параболой $F = a \cdot t^2 + b \cdot t + c$ т.е. $0,632F_{\max} = a \cdot t^2 + b \cdot t + c$, и получим $a \cdot t^2 + b \cdot t + (c - 0,632F_{\max}) = 0$. $T_{\min} = 3,44967$ с.

8. Время разгона котла по уровню вследствие небаланса $T_a=142,85714$ с т.е. точка

Коэффициент усиления по возмущающему воздействию $K_\lambda = \frac{F_{2max}}{(\lambda \cdot 100)} = \frac{0,116}{0,2} = 0,58$.

Таблица 1 – Результаты расчет параметров

Коэффициенты дифференциальных уравнений, рассчитанных по вышеприведенным формулам (3) представлены в таблице 2.

D_p	A_2	A_1	A_0	B_2	B_1	B_0
0,00	0,135996	0,035000	0,004759	0,071877	0,135044	0,000000
0,02	0,235996	0,048599	0,004759	0,071877	0,234749	-0,000095
0,04	0,335995	0,062199	0,004759	0,071877	0,334456	-0,000190
0,06	0,435995	0,075798	0,004759	0,071877	0,434162	-0,000286
0,08	0,535995	0,089398	0,004759	0,071877	0,533868	-0,000381
0,1	0,6359957	0,102998	0,004759	0,071877	0,633574	-0,000381

7

$$dy_3 = B_0 - A_2 dy_2 - A_1 dy_1 - A_0 y, \quad (4)$$

где $dy_3 = F^{(3)}$; $dy_2 = F^{(2)}$; $dy_1 = F^{(1)}$; $y = F$.

Начальные условия:

$$y(0) = 0; \quad dy_1(0) = B_2(-\lambda); \quad dy_2(0) = B_1(-\lambda) + A_2 B_2 \lambda. \quad (5)$$

Реализация точки функции пошаговая с интервалом по времени $\Delta t = 1$, интервал по времени соответствует $0 \leq t \leq 80$.

Алгоритм решения дифференциального уравнения (2) для определения минимального времени регулирования по переходной функции при возмущении λ и нулевых начальных условиях (5) с фиксированным временем сервомотора $T_c = 10$ с представлен на рис.3.

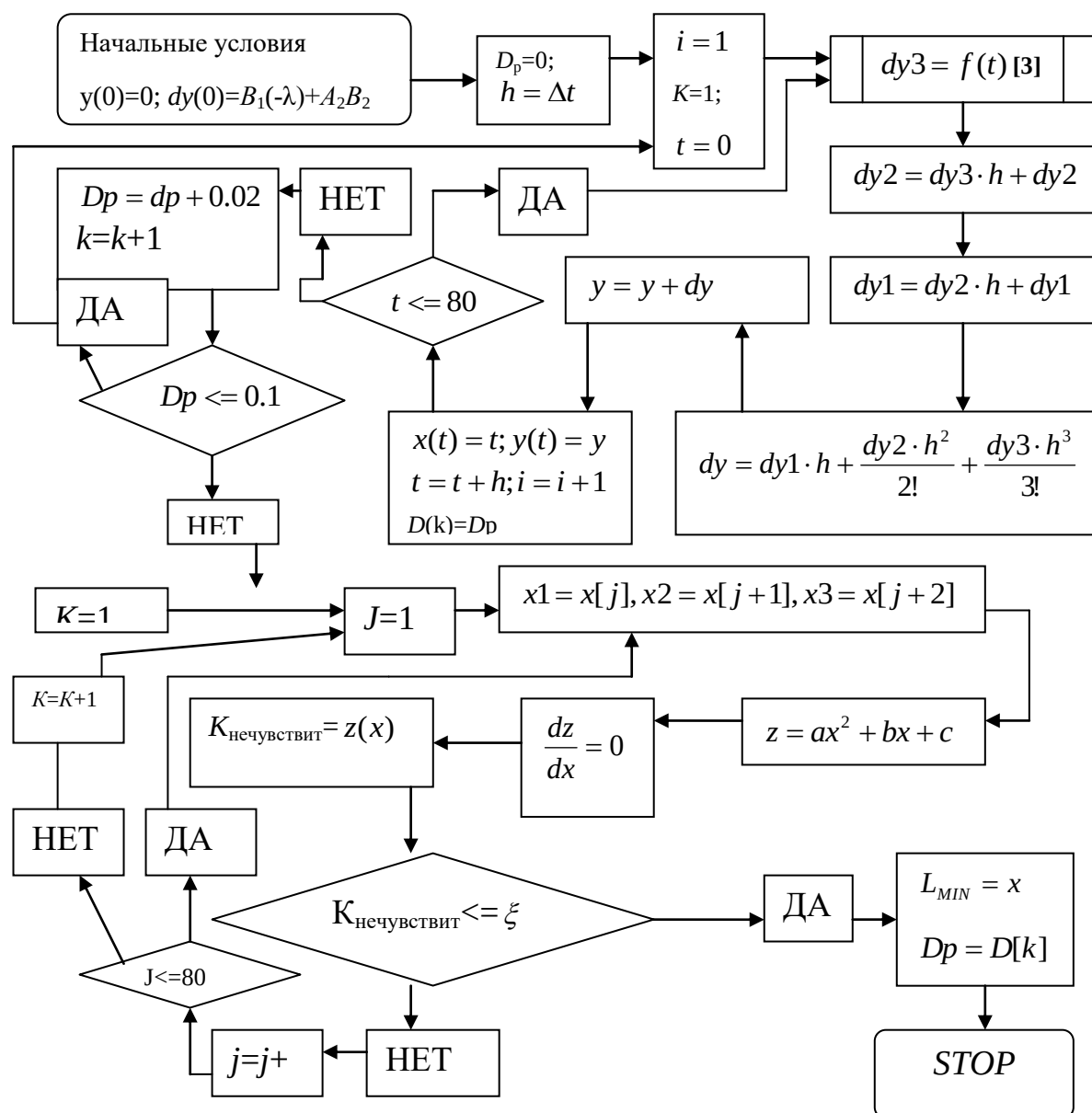


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму решения дифференциального уравнения (2)

Графическая интерпретация вычислительного процесса представлена на рис. 4, рис. 5. Соответствие каждой кривой в диапазоне времени $0 \leq t \leq 80$ с коэффициентом неравномерности Dp реализовано по цветовому признаку $-1 < F < +1$.

Результатом решения дифференциального уравнения (2) есть характеристика переходного процесса. По полученной характеристике переходного процесса определяются показатели его качества: минимальное время регулирования L_{MIN} , динамическая ошибка $\Psi_D = \frac{F_{MAX}}{\lambda}$ и коэффициент колебательности $\Psi_K = \frac{F_{MIN}}{F_{MAX}}$. Показатели качества переходного процесса вычисляются во время расчета

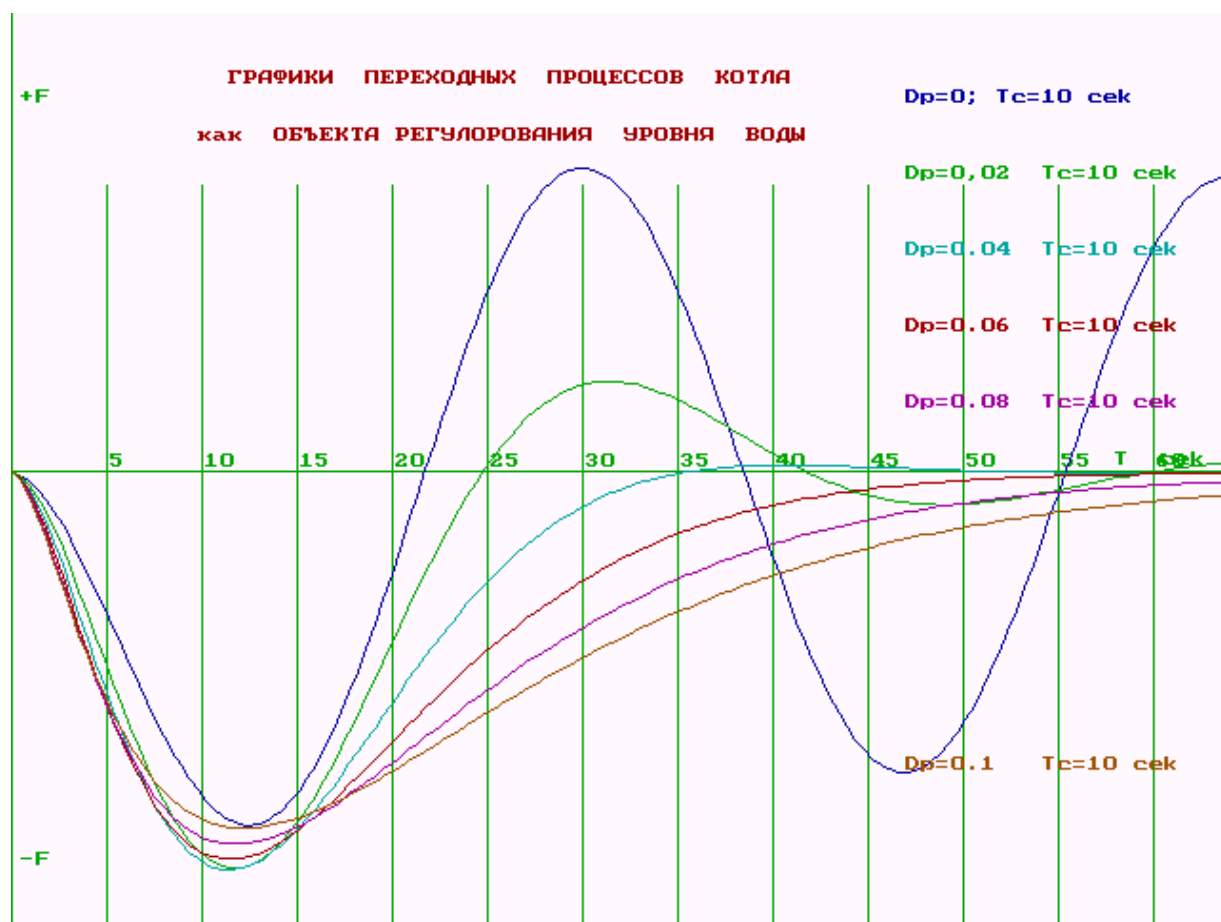


Рисунок 4 – Графики переходных процессов парового котла как объекта регулирования уровня воды

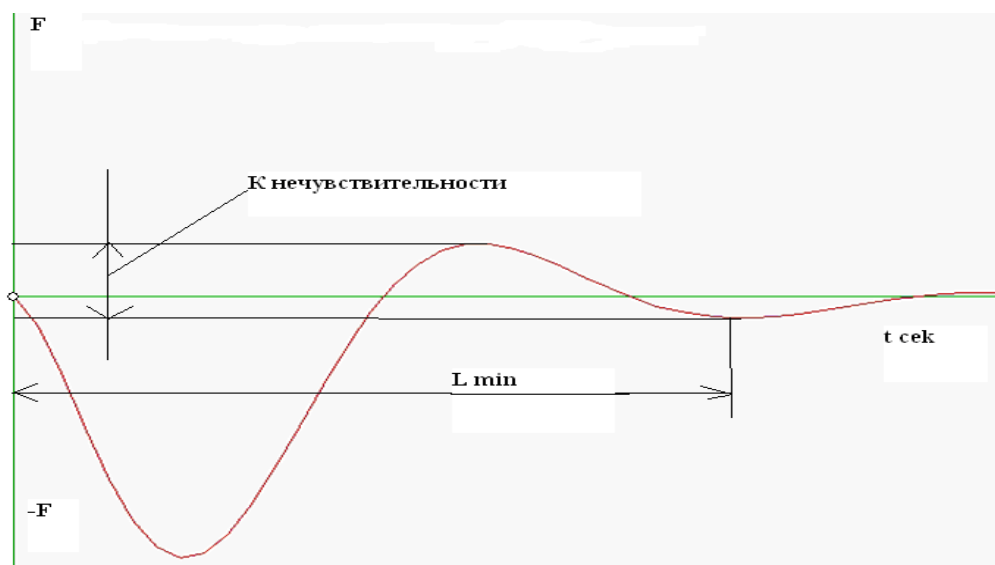


Рисунок 5 – Графическая интерпретация определения коэффициента нечувствительности и минимального времени регулирования парового котла по переходной функции

Рабочий диапазон коэффициента неравномерности $0,03 \leq Dp \leq 0,08$. Процесс продолжается до выполнения условия $K_{\text{нечувствит}} \leq \xi$. В данном случае для времени сервомотора $T_c = 10\text{с}$ можно предположить интервал $0,04 < Dp < 0,06$. Динамические характеристики процесса показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Динамические характеристики процесса

Dp	T_c (сек)	L_{MIN} (сек)	Ψ_d	Ψ_k
0	10	75,55	38,91656	0.98
0,02	10	50,84	46,58626	0.65
0,04	10	47,56	41,82381	0.37
0,06	10	51,94	39,94162	0.05
0,08	10	76	45,81577	0.0020
0,1	10	80	44,20858	0.0021

Аналогично рассчитываются показатели качества переходного процесса для времени сервомотора $T_c = 5\text{с}$, $T_c = 10\text{с}$, $T_c = 15\text{с}$ и $Dp = 0,05$. Показатели качества переходных процессов показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели качества переходных процессов

T_c (сек)	$Dp = 0,05$	L_{MIN} (сек)	Ψ_d	Ψ_k
5	0,05	35,5	33,41	0,8467
10	0,05	51,27	39,5	0,3758
15	0,05	45,21	49,4	0,0031

В данном случае параметры настройки регулятора на переходной процесс вспомогательного парового котла будут: время сервомотора в пределах $5 \leq T_c \leq 10\text{с}$, минимальное время регулирования $35,5 \leq L_{\text{MIN}} \leq 51,27$, коэффициент усиления K_p обратно пропорционален коэффициенту неравномерности $K_p = \frac{1}{Dp} = \frac{1}{0,05} = 20$.

Динамическая ошибка $\Psi_d < 40\%$.

Выводы. Компьютерные технологии позволяют с достаточно высокой точностью определять параметры настройки регулятора на переходной процесс, применяя при этом достаточно простой и надежный алгоритм. Из всего диапазона времени сервомотора $5 \leq T_c \leq 15$ с и диапазона коэффициента неравномерности $0 \leq D_p \leq 0,1$ автоматически выбираются наиболее выгодные параметры работы парового котла в процессе его эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л., Кошовий А.А. Автоматизовані комплекси судноводіння // Підручник для морських академій // Київ: КВІЦ. 2001. 292 с.
2. Толшин В.И., Сизых В.А. Автоматизация судовых энергетических установок // Учебник. 3-е изд. Переработанное и дополненное // М: Транслит. 2006. 353 с.
3. Печененко В.И., Козьминых Г.В. Автоматика регулирования и управления судовых силовых установок // М.: Транспорт. 1973г.
4. Нелепин Р.А. Автоматизация судовых энергетических установок // Л.: Судостроение. 1975г. 532 с.
5. Шиняев Е.Н. Судовые паровые котлы и их эксплуатация // М.: Транспорт. 1979г.
6. Акимов П.П. Судовые автоматизированные энергетические установки // М: Транспорт. 1980 г.
7. Сыромятников В.Ф., Лубочкин Б.И. Автоматическое регулирование судовых паровых котлов // Л.: Судостроение. 1983г.
8. Архангельский В.С. Судовая автоматика // Л.: Судостроение. 1989г.
9. Сизов В.А. Судовая автоматика и контрольно измерительные приборы // М: Транспорт. 1979г.
10. Журенко М, А., Таранчук Н.В. Технические средства автоматизации судовых энергетических установок // Л.: Судостроение. 1990г.
11. Вержбицкий В.М. Основы численных методов: Учебник для вузов // М.: Высш. Шк. 2002. 840с. ISBN 5-06-004020-8.

Вільдьяєва Л.М., Панов С.Л., Чередник В.М., Макаров О.М.
АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК МІНІМАЛЬНОГО ЧАСУ
РЕГУЛЮВАННЯ КОТЛА ПО ПЕРЕХІДНИЙ ФУНКЦІЇ ЯК ОБ'ЄКТА
РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ

У статті розглядається задача автоматизованого розрахунку мінімального часу регулювання парового котла по перехідній функції з метою підтримки рівня води в заданих межах при будь-яких умовах експлуатації, що є основною вимогою надійності при експлуатації судна, а також мінімізувати людський фактор при управлінні судовими енергетичними установками. Об'єктом регулювання є паровий допоміжний котел. Динамічні властивості котла як об'єкта регулювання рівня води характеризуються перехідною функцією, ординати якої - рівень води в котлі, послідовно зафіксовані через проміжки часу.

У статті наведено алгоритм вирішення звичайного диференціального рівняння третього порядку, яке характеризує затухаючі амплітудні коливання, що представляють собою типове коливальний ланка систем автоматичного регулювання (АСР) і відповідно може бути застосований для автоматизації інших судових енергетичних установок.

Ключові слова: автоматизація судових енергетичних установок, автоматизовані системи регулювання, технічна експлуатація суден, паровий котел, диференціальне рівняння, коливальний ланка, типове ланка систем автоматичного управління.

Vildyaeva L.N., Panov S.L., Cherednyk V.M., Makarov A.M.
AUTOMATED CALCULATION OF THE MINIMUM REGULATION TIME
OF THE BOILER BY THE TRANSITION FUNCTION AS AN OBJECT
FOR REGULATING THE WATER LEVEL

The article discusses the problem of automated calculation of the minimum time for regulating a steam boiler according to the transient function in order to maintain the water level within the specified limits under any operating conditions, which is the main requirement for reliability in the operation of the vessel, as well as to minimize the human factor when controlling ship power plants. The control object is the auxiliary steam boiler. The dynamic properties of the boiler as an object for regulating the water level are characterized by a transition function, the ordinates of which are the water level in the boiler, sequentially fixed at intervals.

The article presents an algorithm for solving an ordinary differential equation of the third order, which characterizes damped amplitude oscillations, which are a typical oscillatory link of automatic control systems (ACP) and, accordingly, can be used to automate other ship power plants.

Key words: automation of ship power plants, automated control systems, technical operation of ships, steam boiler, differential equation, oscillatory link, typical link of automatic control systems.

Тимошук О.М., Єлезаров О.П., Гладкий А.Р.

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОННОЇ КАРТОГРАФІЧНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ СУДНА

В статті розглянуто властивості електронних картографічних навігаційних інформаційних систем для керування рухом судна на прикладі використання системи Transas-Navi-Sailor-4000. На основі автоматичного аналізу інформації про стан судна за допомогою електронних картографічних навігаційних інформаційних систем можливо здійснювати оцінювання морської навігаційної обстановки, забезпечити безпеку судноводіння на основі визначення місцепоположення морських об'єктів та прокладки оптимального курсу судна.

В стаття також представлена загальна структурна схема електронної картографічної навігаційної інформаційної системи.

Електронні картографічні навігаційні інформаційні системи є виключно ефективним засобом навігації, які істотно скорочують навантаження на вахтового помічника і дозволяють приділяти максимум часу спостереження за навколишнім оточенням і виробленні обґрунтованих рішень з управлінням судном.

Ключові слова: електронна картографічна навігаційна інформаційна система, керування судном, безпека судноводіння

Вступ. Розвиток сучасної електроніки, зв'язку, обчислювальної техніки і програмних комплексів, а також систем відображення, стало стимулом для реалізації технології Е-навігації на основі створення нового підходу - геоінформаційних систем судноводіння, що забезпечує підвищення рівня безпеки судноплавства, захисту життя людей, вантажів, що перевозяться, охорони довкілля [1]. Інтеграція сучасних навігаційних пристроїв і приладів з комп'ютерними системами дозволило створити електронну картографічну навігаційну інформаційну систему (ECDIS – Electronic Chart Display and Information System) [2, 3]. Міжнародною морською організацією (ММО) на підставі розроблених правил і вимоги рекомендують використовувати ECDIS, яка сприяє виконанню заданих вимог з безпеки судноводіння [4].

Дана система дозволяє здійснювати відображення карт і місцезнаходження судна, вести прокладку траси руху, а також контроль відхилень від заданого маршруту. Крім цього, завдяки інтелектуальній базі даних морських об'єктів дозволяє проводити розрахунок безпечного курсу, здійснює попередження судноводія про небезпеку, а також проводити електронне ведення судового журналу, контроль управління авторульовим та інші додаткові функції [1, 2].

Розроблена ECDIS є виключно ефективним засобом управління водним транспортним засобом за допомогою навігаційних даних, а також про стан судна. Крім цього дана система істотно скорочує навантаження на вахтового помічника і дозволяє приділити максимум часу спостереження за навколишнім оточенням, а також виробити обґрунтоване рішення по управлінню судном відповідно курсу [2, 3]. Однак маючи в своєму арсеналі потужний програмно-апаратний інструментарій (ECDIS) для контролю і управління судном при судноводінні у випадках відхилення судна або зміни обстановки (умов) відсутня загальні підходи для використання її на практиці. У зв'язку

з цим необхідно розглянути можливості даної системи і надати загальний алгоритм управління судном незалежно від навігаційної обстановки і причин їх зміни.

Аналіз літератури. Аналітичний огляд літератури [2, 3, 5] показав, що можливості використання ECDIS має інформаційний характер і надає судноводій на його запит характеристики і параметри морських об'єктів на електронній картографічній основі району плавання судна, а також дані про метеорологічних умовах і умовах плавання по всьому маршруту слідування судна. Розглянемо систему ECDIS на прикладі Navi-Sailor 4000 (див. Рис.1), яка розроблена TRANSAS MARINE INTERNATIONAL відповідно до останніх стандартів і резолюцій ММО [6]. Пропонована система є навігаційною інформаційною системою, яка відображає інформацію з навігаційних датчиків і положення судна на електронній навігаційній карті щодо маршруту руху. Поєднання всієї інформації на одному екрані забезпечує можливість високого рівня сприйняття ситуації і вироблення рішення на управління судном. Система допомагає планувати маршрут руху і здійснювати моніторинг його по ходу проходження.

Мета статті. Тому метою даної статті є провести аналіз і представити результати можливостей щодо використання ECDIS для керування судном для підвищення ефективності судноводіння під час його експлуатації в складних умовах для забезпечення безпеки управління судна.

Виклад основного матеріалу. Програмно-апаратний комплекс Navi-Sailor 4000 являє собою навігаційну інформаційну систему 5 покоління, призначену для відображення інформації з навігаційних датчиків і судових радарів на електронній навігаційній карті. Структурна схема можливих варіантів підключень та використань навігаційних пристроїв і приладів представлено на рис.1. У таблиці 1 представлені результати опису робочих станцій до застосування.

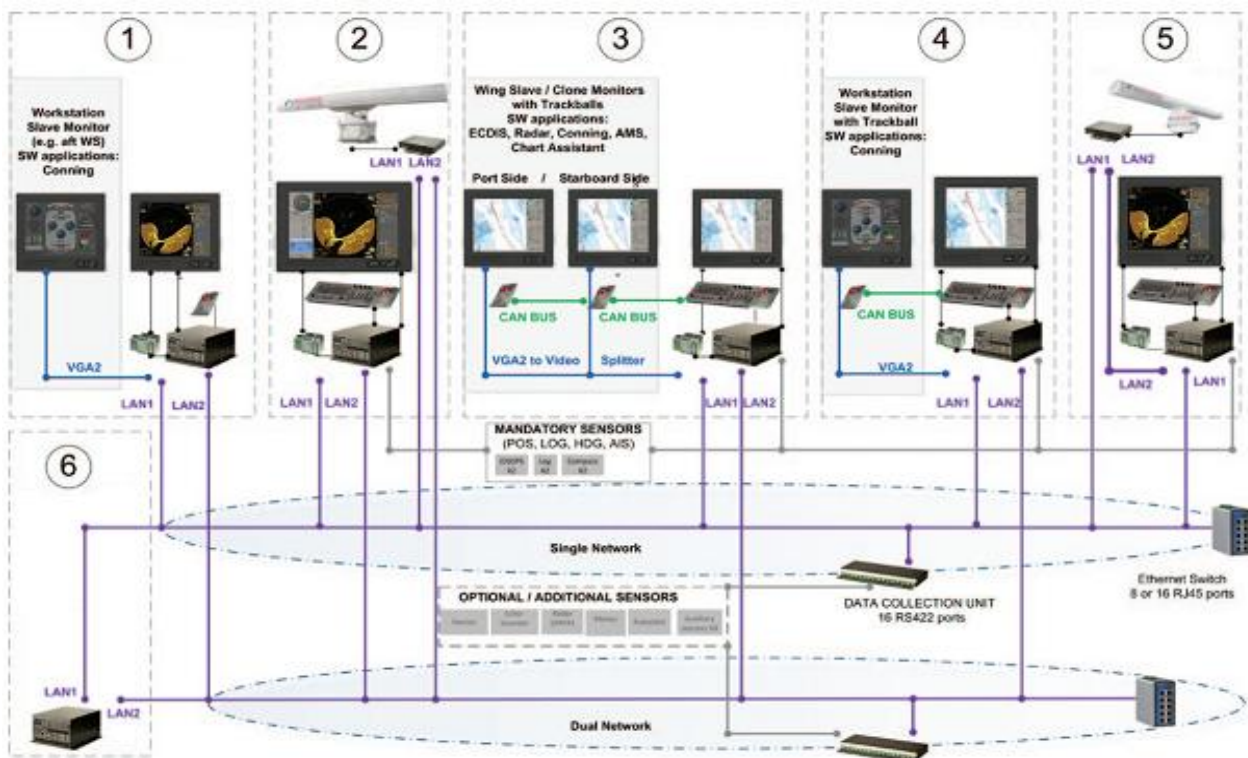


Рисунок 1 – Структурна схема ECDIS Navi-Sailor 4000

Характеризуючи ECDIS Navi-Sailor 4000 можна відзначити наступне, що навігаційний характер системи визначається як традиційними завданнями ECDIS

(попередня і виконавча прокладка, корекція поточного місця), так і новими завданнями по оцінці навігаційної безпеки плавання, можливості коригування електронних карт, організації подачі завчасної сигналізації і т.п. Крім того, ECDIS Navi-Sailor 4000 відображає на екрані дисплея точні картографічні дані морської карти в реальному масштабі часу, тобто в поєднанні з поточним місцезнаходженням судна, отриманим від суднових навігаційних приладів (DGPS, GPS). В даному випадку ECDIS Navi-Sailor 4000 обробляє і представляє інформацію і від інших навігаційних датчиків, наприклад гірокомпас, лага, ехолота, РЛС, ЗАРП.

Система Navi-Sailor 4000 призначена для вирішення наступних [5, 6, 7]:

I. Навігаційних завдання:

складання попередньої електронної прокладки майбутнього рейсу з проведенням розрахунків швидкості, відстаней, часу плавання;

висновок навігаційних даних від приємоіндикаторів розташування судна на електронну карту;

відображення параметрів руху судна за маршрутом;

можливість спостереження за зміною місця розташування захоплених нерухомих об'єктів щодо руху власного судна;

відображення на електронній карті цілей, захоплених на РЛС (ЗАРП).

II. Інформаційно-навігаційних завдань:

ведення електронного суднового журналу та виведення його даних на друк;

відновлення відображення траєкторії шляху судна і записів суднового журналу будь-якого рейсу з можливістю запису місця розташування судна;

сигналізація про наближення до шляхової поворотної точки, відхилення від встановлених параметрів руху судна і несправності самої системи;

вимір географічних координат, дистанцій і пеленгів будь-яких (морських) об'єктів карти, а також автоматична, напівавтоматична і ручна коректура електронних карт;

відображення карти в зручному масштабі (масштабування) на екран і врізка електронної карти в різних форматах, в тому числі стандарті ECDIS;

отримання додаткової довідкової інформації про картографічні об'єктах, засобах навігаційного обладнання, а також гідрографічних та інших відомостей з бази даних електронної карти;

запис (архівація) траєкторій цілей на диск і можливість їх відображення разом з відповідною траєкторією власного судна і записами суднового журналу.

На рис. 2. представлена структурно-логічна схема інформаційних зв'язків та взаємодії елементів електронної картографічної навігаційної інформаційної системи Navi-Sailor 4000. В даному випадку ECDIS Navi-Sailor 4000 можливо поділити на: програмну середу ECDIS з вбудованим інструментарієм обробки навігаційної інформації; електронні карти, які завантажуються; інтерфейс з якого надходять данні з суднових навігаційних пристроїв; засоби відображення та збереження даних; блок обчислювання даних; інтерфейс підключення до автоматичної ідентифікаційної системи з базами даних, а також окремі інтерфейси взаємодії РЛС (ЗАРП) та авторульовим.

Застосування ECDIS Navi-Sailor 4000 можливо проводити в інтерактивному або повністю автоматизованому режимі. Для його застосування існують рід сценаріїв для планування та розрахунку маршрутів руху судна з необхідною обробки даних що поступають з навігаційних пристроїв та суднового РЛС за допомогою використання інструментарію (дивись рис.2).

Особливістю використання навігаційних функцій починається після закладки необхідного маршруту руху судна. Маршрут можливо побудувати автоматично або в ручному режимі. Також необхідно встановити для більш якісного контролю реперні точки, в яких можливо надати додаткову дані. Навігаційні функції пов'язані з судновими пристроями. За допомогою інструментарію навігаційних функцій можливо

визначити місцеположення судна, здійснити контроль по заданому маршруту руху судна, пеленг та дистанції до інших морських об'єктів, корегування навігаційних даних. При цьому можливо розробити додаткову програму, яка в залежності (або за наявністю) додаткових даних буде проводити корегуючи розрахунок місцезнаходження судна під час судноводіння при відсутності навігаційних даних. Також існує модуль для підключення автоматична ідентифікаційна система з бібліотеками та модуль даних з суднових РЛС (ЗАПР), які наносяться на електронну карту при необхідності.

Таблиця 1 – Опис варіантів робочих станцій

Варіант підключення	Головна відмінна	Назва робочій станції	Додаткові цілі за рахунок використання додаткового обладнання.
1	Додаткова робоча станція	Робоче місце	- ECDIS і РЛС відома або резервна робоча станція; - Робоча станція для планування маршруту; - Робоча станція для обробки графіків; - Дисплей управління; - Кормова робоча станція.
2	Використання радару S-діапазону	Радар S-діапазону	- Додаткова робоча станція для резервного копіювання ECDIS; - Робоча станція моніторингу ситуацій; - Дисплей управління; - Робоча станція для обробки графіків.
3	Резервне копіювання ECDIS	Тип затвердженого резервного копіювання ECDIS	- Додаткова робоча станція резервного копіювання радару; - Робоча станція для планування маршруту; - Робоча станція для обробки графіків; - Дисплей управління; - Робоча станція моніторингу ситуацій; - Монітори для аварійно-рятувальної станції.
4	ECDIS затвердженого типу	ECDIS управління	- Дисплей управління; - Система моніторингу ситуацій.
5	Використання радару X-діапазону	Радар X-діапазону	- Додаткова робоча станція для резервного копіювання ECDIS; - Робоча станція моніторингу ситуацій; - Дисплей управління; - Робоча станція для обробки графіків.
6	Багатофункціональна робоча станція	Робоча станція	- Робоче місце капітана; - Робоча станція з кількома комутаторами; - Робоча станція для запису даних.

Для підвищення якості керування судном існують додатковий модуль метеорологічних умов (прогноз погоди), за допомогою якого можливо визначити кризову зону руху судна та остойчивість судна в реальному масштабі часу (або прогнозуючі дані).

Робота з картами також має деякі особливості. Так електронні карти будь то векторні або растрові карти повинні бути сертифіковані та відповідати встановленим вимогам ММО [4, 6]. До недоліків даної системи можна віднести часткове спільне використання в ECDIS растрових і векторних карт. При цьому, головна відмінність векторного зображення від растрового в наявності своєї власної бази даних з описом (в

тому числі з координатами географічних і морських об'єктів). Крім цього необхідно дублювати проходження судна на паперовому носіях.

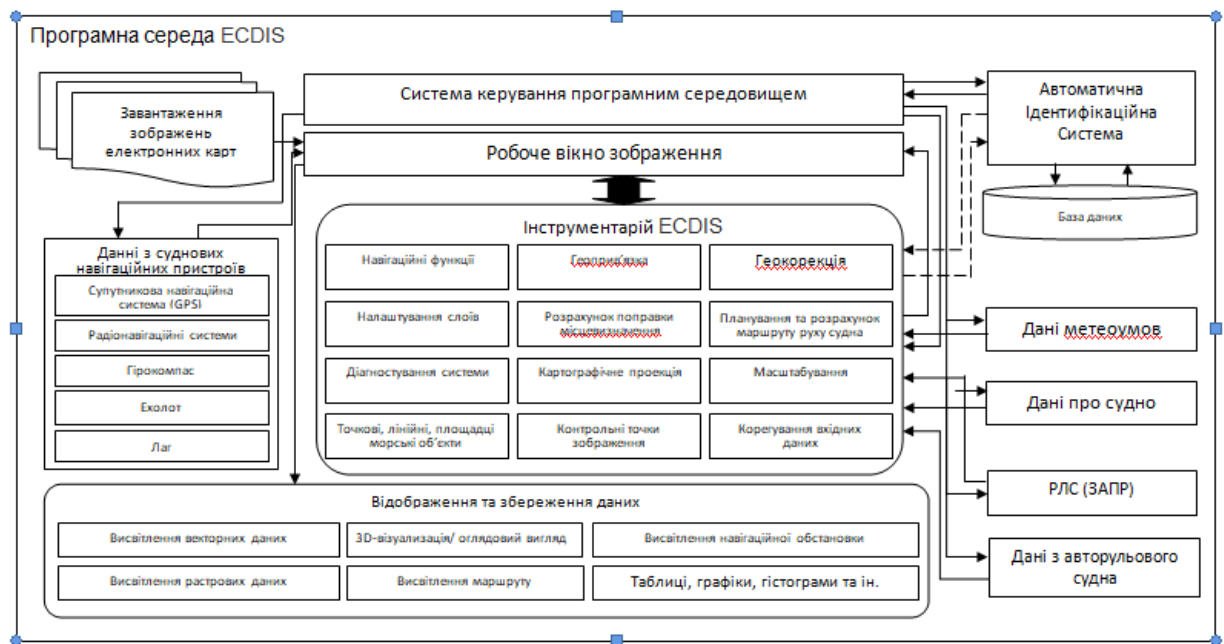


Рисунок 2 – Структурно-логічна схема інформаційних зв'язків та взаємодії елементів електронної картографічної навігаційної інформаційної системи

Висновки. Електронні картографічні навігаційні інформаційні системи є виключно ефективним засобом навігації, які істотно скорочують навантаження на вахтового помічника і дозволяють приділяти максимум часу спостереження за навколишнім оточенням і виробленні обґрунтованих рішень з управління судном.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна // Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
2. Вагущенко Л.Л. Современные информационные технологии в судовождении / Л.Л. Вагущенко - Одесса: ОНМА, 2013. – 135 с.
3. Пятаков Э.Н. Электронная навигация и картография / Э.Н. Пятаков. – Херсон: Гринь Д.С., 2017. – 336 с.
4. <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/ElectronicCharts.aspx>
5. Бурханов М.В. Навигация с ЭКНИС / М.В. Бурханов, И.М. Малкин. – М.: Моркнига, 2014. – 316 с.
6. https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/marine-documents/presentations-technical-seminar-japan/presentations-in-english/the-future-of-safe-navigation-in-the-smart-marine-ecosystem.pdf?sfvrsn=e1011444_8
7. Демиденко, П.П. Судовые радиолокационные и радионавигационные системы: Учебное пособие - 2-е изд. перераб и доп. - Одесса: Фенікс, 2016 -368 с.

Тимошук А.Н., Елеазаров А.П., Гладкий А.Р.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА

В статье рассмотрены свойства электронных картографических навигационных информационных систем для управления движением судна на примере использования системы Transas-Navi-Sailor-4000. На основе автоматического анализа информации о

состоянии судна при помощи электронных картографических навигационных информационных систем возможно осуществлять оценивание морской навигационной обстановки, обеспечить безопасность судовождения на основе определения местоположения морских объектов и прокладки оптимального курса судна.

Электронные картографические навигационные информационные системы является исключительно эффективным средством навигации, которые существенно сокращают нагрузку на вахтенного помощника и позволяют уделять максимум времени наблюдения за окружающей обстановкой и выработке обоснованных решений по управлению судном.

В статье также представлена обобщенная структурная схема электронной картографической навигационной информационной системы с логическими связями.

Ключові слова: електронна картографічна навігаційна інформаційна система, керування судном, безпека судноводіння

Timoshchuk O.M, Eleazarov O.P, Gladkiy A.R

ANALYSIS OF CAPABILITIES OF THE ELECTRONIC CARTOGRAPHIC NAVIGATION INFORMATION SYSTEM FOR OPTIMAL VESSEL CONTROL

The article considers the properties of electronic cartographic navigation information systems for vessel traffic control on the example of using the Transas-Navi-Sailor-4000 system. Based on the automatic analysis of information about the condition of the vessel with the help of electronic cartographic navigation information systems it is possible to assess the maritime navigation situation, ensure the safety of navigation based on the location of marine objects and laying the optimal course of the vessel.

Electronic cartographic navigation information systems are an extremely effective means of navigation, which significantly reduces the load on the shift assistant and allows you to spend maximum time observing the environment and making informed decisions about ship management.

The article also presents a general block diagram of an electronic cartographic navigation information system with logical connections.

Keywords: electronic cartographic navigation information system, ship management, navigation safety.

Зазірний А.А., Аросланкін О.О.

УЗГОДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ТА БІОЛОГІЧНОГО СЕГМЕНТІВ ЕРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ «СУДНОВОДІЙ - СУДНО» З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОГО НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО ПІДХОДУ

У статті проаналізовано причини виникнення та наслідки небезпечних ситуацій під час руху судна та визначено необхідність застосування індивідуально-адаптованого підходу для підтримки прийняття рішення. Запропоновано підхід щодо оперативного контролю та підтримки дій судноводія, в основі якого лежить використання індивідуально адаптованої нейромережевої моделі його діяльності, що реалізує особливості управлінських реакцій при небезпечних режимах плавання. Такі моделі дозволяють здійснювати виявляти та перехоплювати помилки судноводія в процесі реалізації прийнятого рішення. Прогнозу точності приведення судна в термінальну точку траєкторії маневру на основі поточного вектору стану, забезпечує своєчасність визначення ситуації. Складність завдання прогнозування ситуацій в небезпечних режимах управління за рахунок визначення помилок судноводія виникає через неможливість чіткої постановки відповідності змін вхідних і вихідних параметрів стану, в якому знаходиться або до якого прагне об'єкт управління. Найважливіша властивість нечітких нейронних мереж, що свідчить про їх великий потенціал в галузі прогнозування та підтримки дій судноводія, складається в можливості паралельної обробки інформації усіма нейронами. Завдяки цій здатності при великій кількості міжнейронних зв'язків досягається одночасно обробка значного обсягу вимірювальної інформації, що надходить вимірювальної інформації в реальному масштабі часу. Структура та параметри нечітких нейромережевих моделей визначаються на основі обробки даних попередніх дій, виконаних конкретним судноводієм на конкретному судні, та безперервно уточнюються по мірі надходження нових даних. Використана класифікація помилок судноводія при прийнятті рішень в процесі управління суден дозволило розробити процедури реагування на них. Запропонований підхід дозволяє узгодити технічний та біологічний сегмент ергатичної системи «судноводій — судно» та знизити вплив людського фактору в небезпечних ситуаціях під час руху судна.

Ключові слова: судно, судноводій, ситуація небезпечного зближення, навігаційна обстановка, ергатична система, людський фактор.

Постановка проблеми. Завдання оперативного контролю та аналізу управлінських дій судноводія після прибуття в порт, грають одну з найважливіших ролей в області підвищення безпеки судноплавства та ефективності використання ресурсів судна. На сьогоднішній день тенденції розвитку в області судноплавства характеризуються безперервним розширенням кола завдань, що вирішуються екіпажем судна. Ця обставина поряд з такими чинниками, як підвищення технічних характеристик суден, ускладнення комплексу судового обладнання та високі вимоги до рівня безпеки призвело до підвищення психофізіологічного навантаження на судноводія в процесі плавання та визначає підвищені вимоги до його підготовки. Вирішення завдання узгодження технічного та біологічного сегментів ергатичної системи «судноводій-судно», як зазначено у роботах [1-3], дозволить підвищити рівень безпеки судноплавства та ефективності експлуатації судна. У цій статті запропоновано

підхід до вирішення завдання узгодження, шляхом підвищення ефективності управлінських дій судноводія на основі індивідуально-адаптованого оперативного контролю та аналізу його управляючих впливів. Зв'язок завдань оперативного контролю та аналізу з проблемою узгодження технічного і біологічного сегментів визначається тим, що судноводій (біологічний сегмент) є по суті основним елементом, який впливає на судно (технічний сегмент), здійснюючи безперервне управління. При цьому, оскільки об'єктом і контролю, і аналізу є одна і та ж сутність - дії судноводія при управлінні судном, доцільно розглядати спільне рішення цих задач. Саме тому розробка загальних підходів, методів, алгоритмів і моделей, які могли б служити базою для вирішення перерахованих вище завдань є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [4-6] висвітлені питання, пов'язані зі створенням інтелектуальних систем управління рухом судна. Аналіз досліджень в даній галузі показує, що створення систем підтримки прийняття рішення передбачає врахування людського фактору, як однієї з головних причин аварійності в сучасному судноплаванні. В умовах, що склалися створення СППР судноводія, що дозволяє мінімізувати вплив людського фактору на процеси управління судном, є актуальною науковою і прикладною задачею. Ситуації, що виникають на практиці при русі судна в обмежених умовах або в умовах небезпеки, містять велику кількість невизначеностей різного характеру в діапазоні від неточності вимірювальних приладів до нечіткості оцінки допустимого відстані зближення і неоднозначності Міжнародних правил попередження зіткнення суден (МППСС-72), що використовують як основний нормативний документ, який регулює рух судна [7].

Крім того, зміна зовнішніх впливів і змінних обмежень і змінюються елементи руху інших суден і навігаційних небезпек, які перебувають в районі плавання, ставлять необхідність динамічної коригування обраного алгоритму управління судном [8]. в роботах авторів [9-12] була сформульована концепція системи підтримки судноводія, в основі якої лежить індивідуально-адаптована модель його управляючих впливів, були запропоновані методи та алгоритми формування таких моделей.

Мета дослідження полягає в підвищенні оперативності та обґрунтованості прийняття рішення судноводієм для забезпечення безпеки судноводіння.

Основні результати дослідження. Відмітимо, що незважаючи на різні причини виникнення та наслідки небезпечних ситуацій під час руху судна, переважна більшість аварій, були викликані помилками судноводіїв та берегових працівників, пов'язаних з рухом суден (рис.1). Це особливо важливо, оскільки серед причин зниження безпеки мореплавства та аварійності домінує «людський фактор»: число аварій з вини судноводіїв суден досягає за даними різних авторів 75-80 % [13].



Рисунок 1 – Статистика аварій по причинах їх виникнення

До важких порушень заходів безпеки в судноплаванні можна віднести випадки, коли наслідки небезпечної ситуації призводять до морських катастроф, а саме до загибелі суден, людських жертв, екологічних проблем. Всі аварії суден, викликані людським фактором, можуть бути розділені на такі групи:

— навігаційні (викликані не компетентністю судноводія та/або екіпажу, відсутністю відповідного досвіду, вміння приймати швидкі та обґрунтовані рішення у небезпечних ситуаціях);

— технологічні (викликані порушенням міцності корпусу судна, його механізмів, втратою остійності, переміщенням вантажів, виникненням пожежі, попаданням води у внутрішні відсіки);

— технічні (викликані неналежним технічним обслуговуванням та/або експлуатацією судна).

На сучасному етапі, основним напрямком розвитку судноплавства для зниження аварійності є продовження автоматизації процесів управління судном, що значно видозмінює діяльність судноводія та екіпажу. Управління судном та судовими системами спрощується, але різко зростають навантаження, пов'язані з прийомом та обробкою інформації щодо контролю за роботою систем. Все більше і більше підвищується психологічне навантаження на членів екіпажу.

Суднові інформаційні системи (СІС) є тією частиною судового обладнання, з якими судноводій безпосередньо взаємодіє. Взаємодія судноводія з СІС можна уявити як взаємодію двох інформаційних процесорів - людини та ЕОМ, що обмінюються даними за допомогою інтерфейсу з вузькою смугою пропускання (від 2-6 до 10 біт / с).

Під ергатичною системою «судноводій – судно» (рис. 2) розуміється комплекс, що забезпечує вплив судноводія на судно та його системи за допомогою різних засобів та органів управління, а з іншого боку, інформування судноводія про стан судна за допомогою судових інформаційних систем.

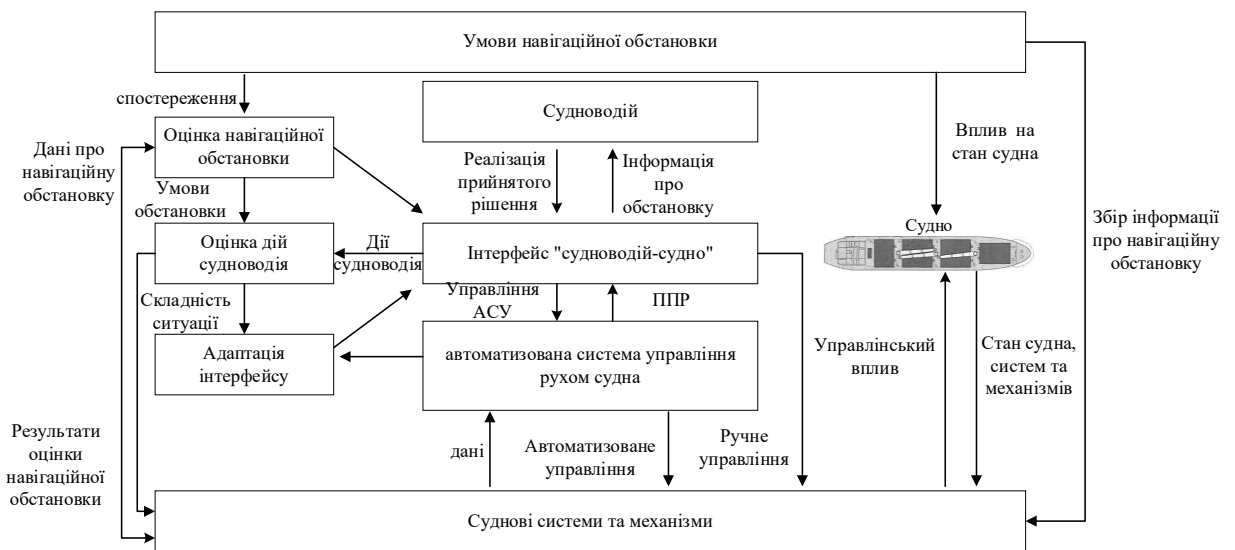


Рисунок 2 – Структурна схема ергатичної системи «судноводій - судно» зі змінною структурою

Основними принципами при розробці ергатичної системи зі змінною структурою «судноводій – судно» є:

- виконання вимог ергономіки;
- логіка роботи системи повинна бути зрозумілою для судноводія, тобто вона повинна описуватися набором доступних правил;
- за безпеку і ефективність плавання відповідає судноводій. У судноводія повинна бути можливість відключити автоматичний режим та перейти на ручний, при цьому автоматика не повинна впливати на робочий режим;

- при відмові автоматики повинні бути створені умови для виконання завдання судноводієм. Ручний режим повинен пересилювати автоматичний;
- якщо судноводій вибрав потенційно небезпечний режим, автоматизована система повинна його про це попередити, та у небезпечних випадках реагувати;
- судноводій постійно повинен бути обізнаний про всі завдання, які виконуються системою, і повинен усвідомлювати, в якому стані знаходиться кожне із завдань;
- система повинна інформувати судноводія про режим роботи і свій стан (справна / несправна);
- у судноводія повинна бути можливість доступу до вихідної інформації з метою перевірки безпомилковості роботи системи при відображенні інформації;
- на всіх етапах плавання судноводій повинен бути постійно включений в контур управління судном та його системами;
- автоматизацію функції слід здійснювати тільки в тому випадку, коли підвищується ймовірність помилки судноводія;
- принцип цільової спрямованості – максимальна ймовірність рішення екіпажем поставленого завдання;
- принцип мінімуму часових витрат
- при виконанні алгоритмів роботи екіпажу, окремих членів екіпажу мінімізуються витрати часу;
- принцип оптимальної функціональності при ергатичної системи зі змінною структурою.

В ергатичній системі інтерфейс «судноводій - судно» в залежності від ситуації, що складається в під час руху судна повинен адаптуватися в частині обсягу наданої інформації, способів її надання, рівня автоматизації функцій (коли і що потрібно знати судноводію, в якій формі слід представляти йому інформацію і за допомогою яких засобів: візуальних, звукових, тактильних, мовних або силовим впливом на штурвал); Інтерфейс фільтрує інформацію і визначає порядок її надання (встановлює пріоритети). Інтерфейс оцінює дії судноводія, навантаження на нього та здатність впоратися з негативними умовами обстановки, підлаштовується під стан пілота.

У міру накопичення досвіду судноводій набуває багато індивідуальних, тільки йому властивих особливостей отримання інформації. Він легко може розпізнавати типи ситуації та може передбачити хід їх подальшого розвитку. В області виконавчих функцій судноводій може адоптивно використовувати різні методи виконання робіт. Проте судноводій поступається автоматичним системам в швидкості та точності обробки інформації, реалізації управлінських функцій. Можливості судноводія обмежені його психофізіологічними особливостями організму. Небезпечні ситуації, пов'язані з діяльністю судноводія, що кваліфікуються як "помилка судноводія" може бути і не були такими, якщо оцінити їх з точки зору меж можливостей людського організму.

Розглянемо можливості використання нечітких нейронних мереж як індивідуально-адаптованих нейромережевих моделей судноводія для вирішення завдань оперативного контролю та аналізу його управляючих впливів з метою узгодження технічного та біологічного сегментів системи "судноводій-судно".

Під моделлю дій судноводія буде розуміється залежність $\delta(S, d)$, яка для кожного значення дальності d до деякої задалегідь відомої точки маршруту для системи «судноводій-судно» визначає прогнозовану точність приведення судна в деяку термінальну точку, що характеризується деякою скалярною величиною δ .

Модель $\delta(S, d)$ представляється у вигляді нечіткої нейронної мережі типу ANFIS. Індивідуальні особливості керуючих реакцій судноводія проявляються в структурі та параметрах мережі, які визначаються за результатами процедури «навчання» з використанням даних, накопичених в попередніх плаваннях.

Параметри нечітких нейромережевих моделей періодично уточнюються по мірі надходження нових даних в результаті виконання судноводієм своїх обов'язків, з урахуванням накопиченого досвіду та зміни кваліфікації. Для визначення параметрів нейронної мережі введемо поняття режиму плавання. Під режимом плавання в даній роботі розуміються етапи руху судна, в яких судноводій переходить з одного алгоритму дій до іншого. Наприклад плавання у відкритих водах, плавання в обмежених навігаційних умовах, етапи приходу суден у порт та вихід у море, та ін.. В якості небезпечного режиму плавання будуть розглядатися ситуації розходження суден. Цей режим є найбільш суворо регламентованим, що дозволяє припустити, що якщо індивідуальні особливості управління судном проявляються на ньому, то на інших режимах плавання ці прояви будуть ще більш істотним. Для судноводія будемо застосовувати наступний параметр, що характеризує безпеку приведення судна в термінальну точку траєкторії при виконанні маневру розходження в ситуації небезпечного зближення (зіткнення) [14]:

$$\eta_i = \sqrt{\frac{D_{зб}^{\min}}{d_{saf}^{\min}} + \frac{T_{зб}^{\min}}{t_{mv}^{\min}}}, \quad (1)$$

де $D_{зб}^{\min}, T_{зб}^{\min}$ – відповідно дистанція та час найкоротшого зближення;

$d_{saf}^{\min}, t_{mv}^{\min}$ – відповідно мінімально-допустима дистанція найкоротшого зближення та час гальмування або циркуляції.

Вибір оптимально безпечного маневру, тобто значень швидкості V та курсу K виконується шляхом пошуку відповідних значень керуючих впливів $u \in U$ (кут відхилення стерна та обороти двигуна) за допомогою нечіткої нейромережевої моделі, що враховує правила МПСС-72 та динаміку руху судна.

Наявність індивідуально-адаптованих нечітких нейромережевих моделей судноводія у вигляді залежностей $\delta(S, d)$ дозволяє реалізувати контроль, а при необхідності підтримку прийняття рішення судноводієм. На рис. 2 наведена схема контролю та підтримки прийняття рішення судноводієм при виконанні маневру розходження на основі його індивідуально-адаптованої нечіткої нейромережевої моделі. Вибір структури наведеного на рисунку алгоритму обумовлений тим, що його використання ні в якому разі не повинно призводити до збільшення навантаження на судноводія.

Ця вимога є принциповим обмеженням, що впливає на спосіб практичної реалізації функції підтримки. Тому, формування рекомендацій, спрямованих на підтримку прийняття рішення судноводієм, має проводитися лише у разі, коли виникає реальна небезпека виникнення небезпечних ситуацій, викликаних як діями судноводія оперуючого судна так і діями судноводія судна-потенційної загрози. В рамках наведеної на рис. 3 схеми момент активізації алгоритмів підтримки прийняття рішення визначається умовами:

$$\eta_i < 1, \quad (2)$$

що свідчить про небезпеку виникнення небезпечної ситуації зближення (зіткнення). Дана нерівність має місце, якщо поточні дії судноводія не забезпечують заданих вимог МПСС-72. У цих випадках виникає необхідність підтримки прийняття рішення дій судноводія для виключення небезпеки зіткнення. Проблема вибору конкретного способу реалізації рекомендацій, спрямованих на підтримку дій судноводія, є складним

комплексним завданням, що виникає в процесі проектування будь-якої людино-машинної системи.

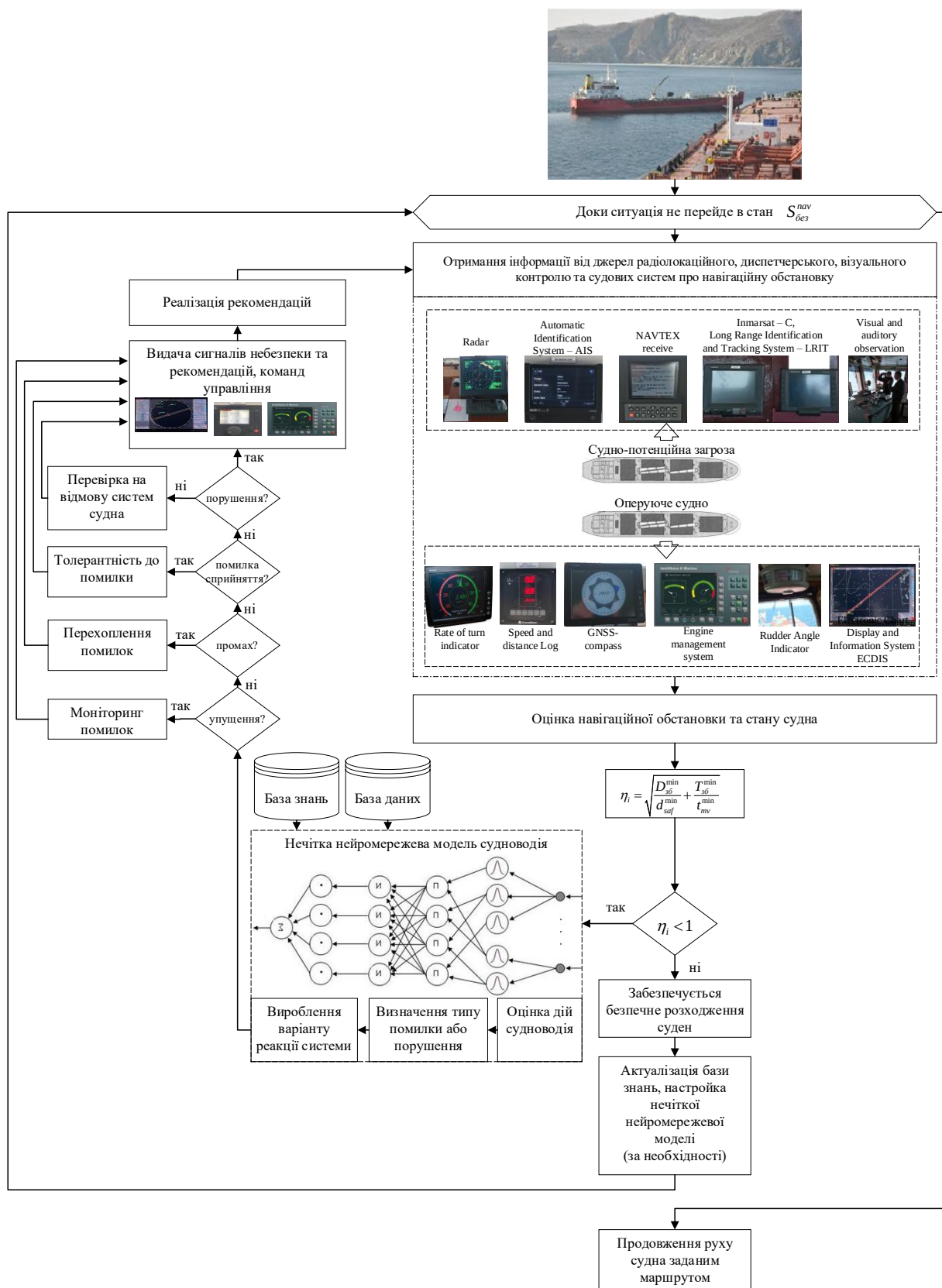


Рисунок 3 – Схема методу індивідуально-адаптованого контролю і підтримки прийняття рішення судноводієм при виконанні маневру розходження

Аналіз наслідків небезпечних ситуацій показує, що в дуже схожих умовах навігаційної обстановки результат дій судноводія буває зовсім різний. Тобто, рішення, прийняті одним і тим же судноводієм, можуть змінюватися в широкому діапазоні в залежності від впливу прямих і непрямих факторів та випадкових впливів навіть при схожих умовах обстановки. Відповідно, усвідомлення того, як помилки судноводіїв впливають на їх здатність приймати рішення дозволять.

Помилки не є аномальною поведінкою, вони представляють собою природний побічний результат практично всіх зусиль людини. Повністю їх уникнути в діяльності судноводія не вдається, але вони піддаються контролю за допомогою застосування удосконалення систем управління судном, відповідної підготовки та належної правки процедур. Помилки судноводія можна класифікувати так:

- промахи (дії, які виконані не так як планувалося)
- упущення (не врахування того чи іншого фактору, або пропуску важливої інформації при прийнятті рішення)
- помилки сприйняття (помилки розпізнання ситуації, коли судноводій приймає рішення на основі власних суджень, що не відповідають реальній навігаційній обстановці).

Всі ці помилки радикально відрізняються від порушень, хоча і ті й інші можуть призвести до небезпечної ситуації. Порушення – це навмисний акт судноводія. Повне виключення помилок в діяльності судноводія неможливо. Проблема не тільки в тому, щоб запобігати помилкам, але і в тому, щоб навчитися безпечно долати неминучі помилки.

При виникненні ситуації небезпечного зближення (зіткнення) система може реагувати на помилки судноводія та/або екіпажу так:

а) Моніторинг помилок (зниження частоти помилок за рахунок моніторингу факторів, що сприяють їх виникненню, та при підвищенні ймовірності помилки подавати відповідні сигнали).

б) Перехоплення помилок (помилка вже зроблена, але виявлена системою до прояву своїх негативних наслідків, та виробленні відповідні рекомендації щодо її виправлення).

в) Толерантність до помилок (здатність системи управління реагувати на помилку для попередження негативних наслідків, резервування управління).

Реалізація наведених вище шляхів зменшення помилки можливе в системах управління судном тільки при розробці та впровадженні СППР судноводія при виникненні небезпечних ситуацій з урахуванням стресу та дефіциту часу на прийняття рішення.

Вивчення поведінки судноводія в небезпечних ситуаціях зближення (зіткнення) в реальних умовах і на тренажері, дозволяє встановити, що надійність дій судноводія визначається характеристиками сигнальної інформації, а саме здатністю привернути увагу від чого залежать ймовірність та час виявлення сигналів, і їх змісту, що впливає на надійність розпізнання поточної навігаційної обстановки та прийняття рішення [15]. Для ефективності дій екіпажу важливо, щоб сам сигнал, по можливості, мінімально відволікав від судноводіння, але сприяв при цьому організації адекватних дій.

Оскільки для роботи судноводія при управлінні судном, характерна підвищена концентрація уваги на індикаторах джерел інформації про навігаційну обстановку, а також про стан та рух власного судна, на що приділяється до 70-80% часу. Тому можна, зберігаючи його штатну базову компоновку, формувати сигнали, що реалізують принцип індивідуально-адаптованої допомоги судноводію. Найбільш просто ця стимулююча корекція реалізується за допомогою додавання поправок для курсу, швидкості, кута повороту стерна судна тощо.

Висновки. В умовах небезпечної ситуації, підтримка прийняття рішень судноводія стає ключовим елементом, що забезпечує зниження впливу людського фактору на процеси управління судном та підвищує безпеку судноводіння. Розробка автоматизованих систем управління в судноводінні вимагає врахування особливостей взаємодії людини з технічними засобами управління судном. Практичне впровадження АСУ має здійснюватися шляхом її повної інтеграції з існуючими засобами електронної навігації судна. Запропоновано підхід побудови системи підтримки прийняття рішення

судноводія, на основі індивідуально-адаптованих нечітких нейромережових моделей. Розроблено, індивідуально-адаптованого контролю і підтримки прийняття рішення судноводієм при виконанні маневру розходження, що враховують помилки судноводія при уникненні зіткнення в умовах виконання вимог МППСС-72. Подальший розвиток індивідуально-адаптованого підходу потребує вдосконалення засобів інформаційної взаємодії технічних засобів управління рухом судна та берегових навігаційних систем. Важливим напрямком подальших досліджень в області створення автоматизованих систем управління судном стануть питання координації взаємодії суден в районі маневрування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Себряков Г.Г. Моделирование деятельности человека-оператора в полуавтоматических системах управления динамическими объектами / Г.Г. Себряков // Мехатроника, автоматизация, управление. – № 4. – 2010. – С.17 – 29.
2. Шептуха Ю. М. К вопросу синтеза эргатической системы принятия решений о маневре безопасного расхождения судов / Ю.М. Шептуха // Кибернетика и вычислительная техника. – № 84. – 1989. – С. 43-45.
3. Смоленцев С.В. Человеческий фактор и пути обеспечения безопасности мореплавания с использованием динамических семантических сетей / С. В. Смоленцев // Морские информационные технологии. – С.Пб.: Элмор, 2002. – Вып.2. – С. 4-8.
4. Бень А.П. Методы оценки опасности траектории движения судов в системах поддержки принятия решений / А. П. Бень // Вестник ХНТУ : сб. науч. трудов Херсонского национального технического университета. – 2009. – Вып. 1 (34). – С. 429-433.
5. Бень А.П. Принципи побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія / А.П. Бень // Матеріали другої науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2010)» (25–27 травня 2010 р., Херсон, ХДМУ.) – Т.1. – С. 8–10.
6. Мальцев А.С. Интеллектуальные гибридные системы поддержки принятия решений при расхождении судов / А.С. Мальцев // Судовождение : Сб. науч. Трудов / ОНМА, Вып. 11. – Одесса : ИздатИнформ, 2006. – С. 74-86
7. Цымбал Н.Н., Бужбецкий Р.Ю. Учет ограничений МППСС–72 при выборе маневра расхождения судов / Н.Н. Цымбал // Судовождение. – Вып. 11. – 2006. – С. 134-138.
8. Бурмака И.А. Поликритериальное управление процессомс удовождения / И.А. Бурмака, С.А. Дудник // Судовождение. – Вып. 12. – 2006 – С. 26-30.
9. Ермаков С. В. Управление риском чрезвычайных ситуаций на основе прогнозирования и минимизации влияния человеческого фактора на навигационную безопасность плавания судна : дис. ... кандидата техн. наук 05.26.02 / Ермаков Сергей Владимирович . Калининград, 2018. – 208 с.
10. Борсук С. П. Ергономічні основи проактивної кваліметрії закономірностей прояву людського чинника в аеронавігаційних системах : дис. ... кандидата техн. наук 05.01.04 / Борсук Сергій Павлович. Харків, 2019. – 378 с.
11. Тихонов І. В. Методологічні основи поліергатичного забезпечення навігації та управління рухом водних транспортних засобів (цільова технологія безпеки) : дис. ... кандидата техн. наук 05.22.13 / Тихонов Ілля Валентинович. Київ, 2018. – 441 с.
12. Смоленцев С. В. Автоматический синтез решений по расхождению судов в море / С. В. Смоленцев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2016. – № 2 (38). – С. 7–15.
13. Пипченко А.Д. Анализ аварийности мирового флота 2005-2015 / А.Д. Пипченко // Судовождение. – 2017. – Вып.27. – С. 159-168.
14. Вагущенко Л. Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Л.Л. Вагущенко Одесса: Феникс, 2010. – 229 с.

15. Астреин В. В. Методология анализа и синтеза сложных активных технических систем и ее реализация в системе безопасности судоходства: дис. ... доктора техн. наук : 05.13.01 / Астреин Вадим Викторович. Краснодар, 2017. – 311 с.

REFERENCES

1. Sebryakov, G.G. (2010) Modeling human operator activity in semi-automatic control systems for dynamic objects. *Mechatronics, automation, management*. № 4. P.17 – 29.
2. Sheptukha, Yu. M. (1989) On the synthesis of an ergatic system for making decisions on the maneuver of safe separation of ships... *Cybernetics and Computing*. № 8. P. 43-45.
3. Smolentsev, S.V. (2002) The human factor and ways to ensure the safety of navigation using dynamic semantic networks. *Marine information technology*. Vol. 2. P. 4-8.
4. Ben, A.P. (2009) Methods for assessing the hazard of the trajectory of the movement of ships in decision support systems. *Bulletin of KhNTU: Nat. scientific. Proceedings of the Kherson National Technical University*. Vol. 1 (34). P. 429-433.
5. Ben, A.P. (2010) Principles of Incentive Systems for Acceptance of Shipbuilding Solutions Materials of another scientific-practical conference "Current information and innovation technologies in transport (MINTT-2010)". Vol. 1. P. 8–10.
6. Maltsev, A.S. (2006) Intelligent Hybrid Decision Support Systems. *Navigation: Nat. Scientific proceedings ONMA*, Vol. 11. P. 74-86
7. Tsymbal, N.N. Buzhbetsky, R.Yu. (2006) Taking into account the limitations of the COLREGs-72 when choosing the ship-to-pass maneuver. *Navigation*. Vol. 11. P. 134-138.
8. Burmaka, I.A. (2006) Polycriteria process control with satisfaction. *Navigation*. – Vol. 12. P. 26-30.
9. Ermakov S.V. (2018) Emergency risk management based on forecasting and minimizing the influence of the human factor on the navigational safety of a vessel's navigation: PhD thesis, Kaliningrad, 208 p.
10. Borsuk, S.P. Ergonomic fundamentals of proactive qualitemetry of regularities to show a human official in aeronautical systems: PhD thesis, Kharkiv, 378 p.
11. Tikhonov, I. N. (2018) Methodological bases of polyergic safety of navigation and management of water transport facilities (central technology of safety) : PhD thesis, Kiyv, 441 p.
12. Smolentsev, S.V. (2016) Automatic synthesis of solutions for diverging vessels at sea. *Bulletin of the State University of Maritime and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov*. № 2 (38). P. 7–15.
13. Pipchenko, A.D. (2017) Analysis of the accident rate of the world fleet 2005-2015. *Navigation*. Vol. 27. P. 159-168.
14. Vagushchenko, L.L. (2010) Support for decisions on disagreement with courts. 229 p.
15. Astrein, V.V. (2017), Methodology of analysis and synthesis of complex active technical systems and its implementation in the navigation safety : PhD thesis, , Krasnodar, 311 p.

A.A. Zazirnyi, O. O. Aroslankin

COORDINATION OF TECHNICAL AND BIOLOGICAL SEGMENTS OF THE ERGATIC SYSTEM "SHIPMAN - SHIP" USING A FUZZY NEURAL NETWORK APPROACH

The article analyzes the causes and consequences of dangerous situations during the movement of the vessel and determines the need for an individually adapted approach to support decision-making. An approach is proposed for the operational control and support of the boatmaster's actions, which is based on the use of an individually adapted neural network model of his activity, implements the features of managerial reactions in hazardous sailing modes. Such models make it possible to identify and intercept the boatmaster's errors in the process of implementing the decision. Predicting the accuracy of bringing the vessel to the

terminal point of the maneuver trajectory based on the current state vector, ensures the timely determination of the situation. The complexity of the problem of predicting situations in dangerous control modes due to the determination of the navigator's errors arises from the impossibility of clearly stating the correspondence of changes in the input and output parameters of the state in which the control object is located or to which it seeks. The most important property of fuzzy neural networks, which indicates their great potential in predicting and supporting the actions of the navigator, is the possibility of parallel processing of information by all neurons. Due to this ability, with a large number of interneuronal connections, processing of a significant amount of measurement information, incoming measurement information in real time is achieved simultaneously. The structure and parameters of fuzzy neural network models are determined based on the processing of data from previous actions performed by a specific boatmaster on a specific ship, and are continuously updated as new data arrives. The classification of the navigator's errors when making decisions in the process of managing ships was used, which made it possible to develop procedures for responding to them. The proposed approach makes it possible to coordinate the technical and biological segment of the "boatmaster судов ship" ergatic system and to reduce the influence of the human factor in dangerous situations during the movement of the vessel.

Key words: ship, navigator, situation of dangerous approach, navigation situation, ergatic system, human factor.

Зазирный А.А., Аросланкин А.О.

СОГЛАСОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО И БИОЛОГИЧЕСКОГО СЕГМЕНТОВ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «СУДОВОДИТЕЛЬ - СУДНО» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА

В статье проанализированы причины возникновения и последствия опасных ситуаций во время движения судна и определена необходимость применения индивидуально-адаптированного подхода для поддержки принятия решения. Предложен подход по оперативному контролю и поддержке действий судоводителя, в основе которого лежит использование индивидуально адаптированной нейросетевой модели его деятельности, реализует особенности управленческих реакций при опасных режимах плавания. Такие модели позволяют осуществлять выявлять и перехватывать ошибки судоводителя в процессе реализации принятого решения. Прогноза точности приведения судна в терминальную точку траектории маневра на основе текущего вектора состояния, обеспечивает своевременность определения ситуации. Сложность задачи прогнозирования ситуаций в опасных режимах управления за счет определения ошибок судоводителя возникает из-за невозможности четкой постановки соответствия изменений входных и выходных параметров состояния, в котором находится или к которому стремится объект управления. Важнейшее свойство нечетких нейронных сетей, что свидетельствует об их большой потенциал в области прогнозирования и поддержки действий судоводителя, состоит в возможности параллельной обработки информации всеми нейронами. Благодаря этой способности при большом количестве межнейронных связей достигается одновременно обработка значительного объема измерительной информации, поступающей измерительной информации в реальном масштабе времени. Структура и параметры нечетких нейросетевых моделей определяются на основе обработки данных предыдущих действий, выполненных конкретным судоводителем на конкретном судне, и непрерывно уточняются по мере поступления новых данных. Использована классификация ошибок судоводителя при принятии решений в процессе управления судов позволило разработать процедуры реагирования на них. Предложенный подход позволяет согласовать технический и биологический сегмент эргатической системы «судоводитель — судно» и снизить влияние человеческого фактора в опасных ситуациях во время движения судна.

Ключевые слова: судно, судоводитель, ситуация опасного сближения, навигационная обстановка, эргатическая система, человеческий фактор.

Бажак О.В., Трофименко І.В., Бойко А.Д.

СИНТЕЗ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМІВ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ РУХОМ СУДНА

В статті розроблена модель систем керування судном. Особливістю даної моделі є взаємозв'язок судових навігаційних пристроїв з енергетичними системами судна. Використання даної моделі дозволяє вивчити та дослідити якісні показники судна та виявити залежності впливу їх характеристик на якість керування судна.

Також у статті наведено алгоритмічні рішення системи керування судном та висвітлюються позитивні та негативні властивості їх використання.

Для дослідження руху судна як правило застосовуються динамічні моделі з оптимізацією керуючих впливів. При цьому, у якості моделі динаміки просторового стану можна використовувати модель Пуанкаре, а для часткового вирішення систем рівнянь даних моделей можна використовувати статистичні методи. Це пов'язано з тим що, аналітичні рішення знаходяться тільки в небагатьох випадках.

Таким чином, виникає необхідність розроблення нових моделей руху судна по заданому маршруту та його керування в складній динамічній обстановці.

Тому метою даної статті є розробка моделі системи керування судном з можливістю висвітлення логічних зв'язків для підвищення ефективності судноводіння під час його експлуатації в складних умовах для забезпечення безпеки управління судна.

Ключові слова: *автоматизована система керування, навігаційні пристрої, судноводіння, керування судном, енергетичні системи.*

Вступ. Ефективне використання сучасних морських транспортних засобів пов'язано із використанням завдання керування судном за заданим оптимальним маршрутом руху забезпечуючи навігаційну безпеку судноводіння в заданому регіоні [1]. При цьому на судно впливають множина факторів, як зовнішнього впливу, так і внутрішніх збурень, які не мають адекватного математичного опису в повному обсязі [1, 2].

Тому застосування традиційних підходів стає малоефективним. У зв'язку з цим, на сьогоднішній день актуально є розроблення математичних моделей руху судна з оцінкою ефективності їх дії [1, 3].

Аналіз літератури. Аналітичний огляд літератури [1÷4] свідчить, що для дослідження показників якості, вивчення характеристик і аналіз граничних можливостей будь-якої складної технічної системи застосовуються математичні моделі. При цьому, моделювання повинно відповідати досліджуваного процесу управління судном зі збереженням структури, а також із взаємодією між різними елементами системи. Крім цього, необхідно враховувати як зовнішні впливи так і ті, внутрішні чинники, які впливають на судноводіння.

На сьогоднішній день існуючий методичний апарат не можливо застосувати для вивчення в повному обсязі, так як він не пристосований до дослідження нових структур і елементів системи керування судном, а також до пошуку нових рішень при вивченні характеристик судових пристроїв і приладів. Це пов'язано з одного боку з ускладненням описування процесів, що протікають, а з іншого боку це детальний опис в математичній моделі процесів керування судном при дослідженні ефективного розрахунку оптимальних режимів функціонування.

Тому для дослідження руху судна необхідно застосовувати динамічні моделі з оптимізацією керуючих впливів [5]. При цьому, модель динаміка просторового стану можна використовувати модель Пуанкаре [6], а до часткового вирішення систем рівнянь даних моделей можна використовувати статистичні методи [5]. Це пов'язано з тим що, аналітичні рішення знаходяться тільки в небагатьох приватних випадках.

Таким чином, виникає необхідність розробки нових моделей руху судна по заданому маршруту та його керування в складній динамічній обстановці.

Мета статті. Тому метою даної статті є розробка моделі системи керування судном з можливістю висвітлення логічних зв'язків для підвищення ефективності судноводіння під час його експлуатації в складних умовах для забезпечення безпеки управління судна.

Виклад основного матеріалу. Основою для розробки моделі є дослідження властивостей системи за допомогою побудови штучно створеного фізичного або абстрактного образу реального об'єкта [5, 6, 7]. В даному випадку побудова структури моделі і використання методів математичного опису фізичних процесів істотно визначають якісні характеристики і досліджуваної технічної системи і процесів, що протікають, забезпечуючи можливість детального вивчення, а також аналізу даних їх надійності, прогнозу відмов і аварійних ситуацій при виконанні завдання судноводіння. З огляду на вищевикладене при побудові моделі, необхідно враховувати і описати структурні зв'язки елементів моделі для можливості вирішення поставленого завдання – побудувати маршрут оптимального судноводіння [6, 7]. Крім цього, модель необхідна для підтвердження висунутих гіпотез, які пов'язані з побудовою судових систем і дослідження процесів, що протікають з навігаційно-інформаційним комплексом і енергетичними системами судна, а також для вирішення ряду штурманських завдань з безпеки судноводіння і якісного навігаційного забезпечення в заданій акваторії [5, 7]. Тому, в даному випадку необхідно побудувати модель в якій повинні входити ті елементи, які безпосередньо впливають на якість роботи функціональних енергетичних вузлів та пристроїв судна та судові навігаційні пристрої. Остаточний підсумок, пов'язаний з якістю функціонування судна повинно здійснюватися на основі визначення місцеположення та аналізу показників якості проходу судна за даними навігаційних параметрів з урахуванням метеорологічного впливу з урахуванням всіх умов обмежень.

На рис. 1 представлена структурна схема моделі та її інформаційні зв'язки для дослідження характеристик енергетичних пристроїв (частина двигунів) в залежності від зміни властивостей морської поверхні і надання керуючих впливів від навігаційно-інформаційного комплексу через автоматизовані системи [1, 3, 4]. В даному випадку автоматизовані системи керування енергетичними установками також підвержені впливу, який необхідно враховувати при дослідженні, а входними даними для моделі є параметри (або характеристики) її елементів і схема сполучення їх у відповідності структури.

Запропонована модель поділяється на три основні частини, які можливо охарактеризувати як [1, 2, 5, 7]:

- ввідна частина – введення вихідних даних, що стосуються судна (енергетичні та навігаційні системи) та водяться метеоумови в яких перебуває судно;
- розрахункова частина моделі – здійснюються основні розрахунки та обчислювання модулів;
- виведення отриманих результатів – оцінюються отримані результати та порівнюються з відомими даними.

Основними структурними елементами моделі є моделі: модуль судна – визначаються основні тактико-технічні характеристики судна, енерго-конструктивних систем, двигунів, автоматизованих систем керування судном та навігаційно-

інформаційного комплексу; модуль метеорологічних даних про стан метеорологічних умов функціонування судна та стан морської поверхні; модуль розрахунку впливу морської поверхні; модуль розрахунку умов експлуатації та застосування суднових систем; модуль розрахунку міста розташування судна; модуль розрахунку руху по заданому маршруту; модуль розрахунку впливу морської поверхні та метеоумов на суднові навігаційні пристрої.



Рисунок 1 – Структурно-інформаційна схема імітаційної моделі керування рухом судна

Крім описаних вище модулів використовуються модулі що пов'язані з аналізом отриманих результатів та оцінювання відхилення судна від заданого маршруту (модулі пов'язані з проведенням статистичного аналізу метеорологічних даних і їх впливу на маршрут руху судна, а також модуль в якому проводяться порівняльні характеристики отриманих результатів з теоретичними даними) на основі яких виводяться дані.

Розкриємо деякі особливості модулів і опишемо обмеження проведених досліджень.

1. В моделі судна основним є визначення тактико-технічних характеристик судна, параметрів роботи енергетичних систем, експлуатаційні характеристики судових силових установок, дані про стан автоматизованих систем керування судном та навігаційно-інформаційного комплексу. В даному випадку автоматизовані системи керування судном незалежно від складу та конкретних пристроїв керування визначають основні етапи керування судном та включають [3, 5]: датчики що надають навігаційну інформацію про стан та містоположення судна для оцінки конкретної ситуації; пристрої обробки для оцінки текучого стану щодо напруження керуючого впливу відповідного закону керування; а також засоби відображення.

2. В основу модуля метеорологічних даних надається інформація про стан метеорологічних умов функціонування судна та стан морської поверхні. В даному випадку необхідно пам'ятати, що хвилювання моря та метеорологічних умов істотно впливають не тільки на склад конструкції судна, але і складові системи керування судна, а також на судові силові пристрої.

3. Так як морська поверхня має складний фізичний опис, то в модулі можливо для використовувати процес впливу характеризувати як детермінований [2, 6], а також при необхідності використовувати динамічні розрахунки, що приводить до необхідності точного прогнозування характеристик впливу на морській транспорт. Тому застосовується модуль розрахунку впливу моря на судно на основі як статистичних так і динамічних складових [1, 7]. Так як морська поверхня залежить від багатьох різних природних факторів, то вплив на судно та керування ним залежить від різних сил та керуючих впливів. Такими природними факторами, є: швидкість і напрям вітру, а також кут і напрямок брижі хвилі та інші.

4. Крім цього, хвилювання морської поверхні впливає умов експлуатації судна тому попередній моделювання впливають на модуль розрахунку умов експлуатації та застосування судових систем. В даному випадку особливості експлуатації судна та безпосередньо судноводіння складається з надання даних навігаційної інформації та використання енергетичних систем керування судном під час руху.

5. Для найкращого прогнозування характеристик руху судна по курсу слід взяти до уваги статистичні дані модуля розрахунку руху по заданому маршруту відповідно до опису в детермінованих умовах [3, 7]. Також необхідно в моделі враховувати вплив морського хвилювання водної поверхні що також має мінливу і складну структуру та властивості. При цьому, природні фактори, надають найбільш сильний вплив на якість судноводіння [7]. Це дає можливість дослідити особливості керуванням судна по лінії шляху при впливі морського хвилювання за характеристиками судових установок за окремими критеріями, які стосуються: якості функціонування (точність, швидкодія та інші); потужності силових установок та чутливості елементів даних судових систем; надійність роботи енергетичних установок; якість експлуатації судових елементів та систем, що стосується силових установок та їх автоматизації та інші.

Розглянемо більш детальніше їх для опису та проведення оцінювання впливу під час застосування методів статистики які пов'язані з особливостями функціонування судових систем керування.

Дослідження що проведені [4, 6] показали, що найбільш прийнятними моделями є моделі строго структуровані, які мають складний покроковий механізм обчислювання даних з можливістю аналізу інформації. Таким чином, можливо сформувати імітаційну модель, яка повинна бути послідовна за виконанням різних етапів, що дозволить провести оцінку отриманих даних (або циркулюючої) в судових енергетичних система в умовах впливу морської поверхні (рис. 2.).

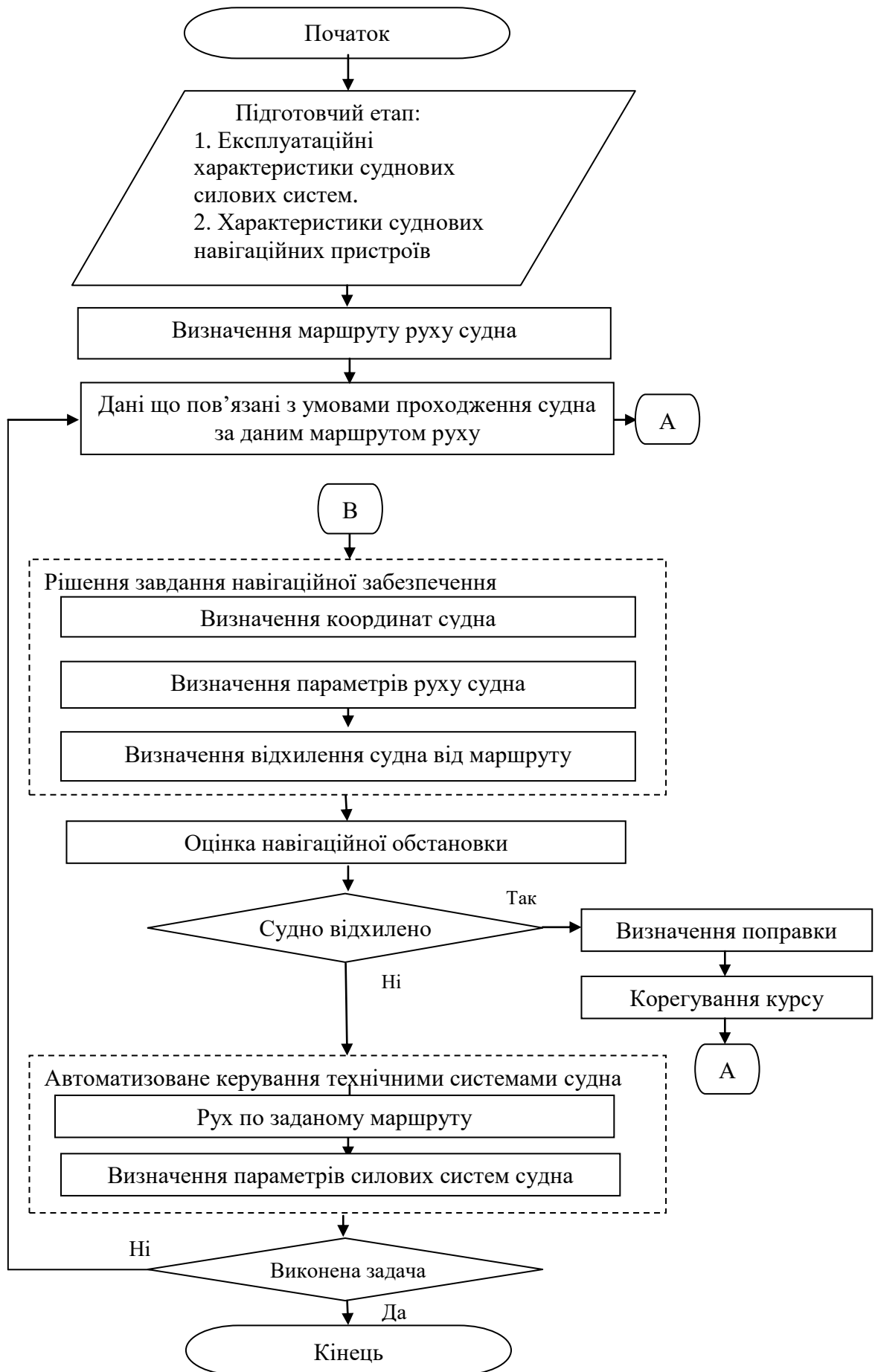


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму функціонування суднових систем

На заключному етапі імітаційної моделі необхідно провести порівняльну оцінку отриманих результатів з теоретичними даними. В даному випадку необхідно розробити та запропонувати такий математичний апарат який буде здійснювати оцінку функціонального стану як навігаційної обстановки так і надавати дані якості зміни параметрів функціонування суднових силових систем, що будуть характеризувати якість за обраним критерієм для використання даної моделі [4, 6, 7].

Висновки. На сьогоднішній день використання математичних моделей відкрили можливість на етапах експериментальних досліджень отримати результати поведінки складних систем їх характеристики, а також можливості в складних умовах та властивості. В статті розроблена та запропонована модель керування рухом судна. Особливістю запропонованої моделі є її розрахункова частина в якій здійснюються розрахунки: міста розташування судна; умов експлуатації та застосування суднових систем; визначення впливу морської поверхні на судно; а також обчислювання руху судна по заданому маршруту. Використання даних модулів при їх впливі друг на друга підвищує адекватність та достовірність отриманих результатів. Таким чином, в результаті використання даної моделі можливо отримати результати обчислень що пов'язані як залежностями характеристик від енергетичних установок, так і суднових навігаційних пристроїв в умовах впливу морської поверхні та метеоумов під час керування судном по заданому маршруту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна // Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
2. Вагущенко Л.Л. Современные информационные технологии в судовождении / Л.Л. Вагущенко - Одесса: ОНМА, 2013. – 135 с.
3. Пятаков Э.Н. Электронная навигация и картография / Э.Н. Пятаков. – Херсон: Гринь Д.С., 2017. – 336 с.
4. Современные информационные технологии обеспечения безопасности судоходства и их комплексное использование / В.Е. Леонов, В.И. Дмитриев, О.М. Безбах, А.А. Гуров, В.Б. Сыс, В.Ф. Ходаковский // под ред. Леонова В.Е. – Херсон: ИЦ ХГМА, 2014. – 324 с.
5. Власов К.П. Теория автоматического управления / К.П. Власов. – Харьков: Изд-во Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.
6. Неймарк Ю.И. Динамические модели теории управления / Ю.И. Неймарк, Н.Я. Коган, В.П. Савельев – М.: Наука, 1985. – 400 с.
7. Імітаційне моделювання систем та процесів: Електронне навчальне видання. Конспект лекцій / В. Б. Неруш, В. В. Курдеча. – К.: НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. – 115 с.

Бажак О.В., Трофименко И.В., Бойко А.Д.

СИНТЕЗ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА

В статье разработана модель системы управления судном. Особенностью данной модели является взаимосвязь судовых навигационных устройств с энергетическими системами судна. Использование данной модели позволяет изучить и исследовать качественные показатели судна и выявить зависимости влияния их характеристик на качество управления судна.

Также в статье приведены алгоритмические решения системы управления судном и освещаются положительные и отрицательные свойства их использования.

Для исследования движения судна обычно применяются динамические модели с оптимизацией управляющих воздействий. При этом в качестве модели динамики

пространственного состояния можно использовать модель Пуанкаре, а для частичного решения систем уравнений данных моделей можно использовать статистические методы. Это связано с тем, что, аналитические решения находятся только в немногих случаях.

Таким образом, возникает необходимость разработки новых моделей движения судна по заданному маршруту и его управления в сложной динамической обстановке.

Поэтому целью данной статьи является разработка модели системы управления судном с возможностью освещения логических связей для повышения эффективности судовождения во время его эксплуатации в сложных условиях для обеспечения безопасности управления судном.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, навигационные устройства, судовождения, управления судном, энергетические системы.

Bazhak O.V., Trofimenko I.V., Boyko A.D.

SYNTHESIS OF THE MODEL AND ALGORITHMS OF THE VESSEL MOTION CONTROL

The model of ship control systems is developed in the article. A feature of this model is the relationship of ship navigation devices with the ship's power systems. The use of this model allows to study and investigate the quality of the vessel and to identify the dependences of the impact of their characteristics on the quality of ship management.

The article also presents algorithmic solutions of the ship control system and highlights the positive and negative properties of their use.

Dynamic models with optimization of control effects are usually used to study the movement of the vessel. In this case, as a model of the dynamics of the spatial state, you can use the Poincare model, and to partially solve the systems of equations of these models, you can use statistical methods. This is due to the fact that analytical solutions are found in only a few cases.

Thus, there is a need to develop new models of vessel movement along a given route and its management in a complex dynamic environment.

Therefore, the aim of this article is to develop a model of a ship management system with the ability to highlight logical connections to improve the efficiency of navigation during its operation in difficult conditions to ensure the safety of ship management.

Key words: automated control system, navigation devices, navigation, ship control, power systems

Пліта Л.Л., Богом'я В.І., Писанко А.Г.

АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СУДНОМ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В статті проведені дослідження що пов'язані з визначенням основних напрямків розвитку суднових автоматизованих систем керування судном. На основі аналізу літератури здійснено розподілення суднових систем на рівні керування в залежності від їх функціональних властивостей.

Також здійснюється огляд стану питання і проаналізовані основні напрямки розвитку силових енергетичних установок та систем автоматизованого керування судном. При цьому система керування судном розглядається як об'єднана інформаційна платформа керування судном. Це пов'язано з тим, що на сьогоднішній день сучасний розвиток суднових систем керування розробляється відповідно до технології Е-навігації та використовує спеціалізовані інформаційні системи.

Це дає можливість підвищити ефективність експлуатації судна за допомогою своєчасним керуванням силових вузлів і пристроїв, а також зміни умов функціонування.

Ключові слова: автоматизовані системи керування, навігаційно-інформаційний комплекс, суднові енергетичні установки

Вступ

Особливістю еволюційного технічного розвитку засобів водного транспорту є неухильне підвищення ефективної експлуатації суднових технічних пристроїв і систем, для отримання найкращого результату при можливих менших ресурсних витратах [1]. Розглядаючи стосовно експлуатації суднові системи, необхідно в першу чергу відзначити зміни енергетичних установок, які зокрема, пов'язані з підвищенням потужностей і коефіцієнтів корисної дії енергетичного обладнання, а також зниженням витрат на їх експлуатацію при незворотному процесі зносу і погіршенні технічного стану в результаті раптових відмов і аварій [1, 2].

Аналіз літератури. Аналіз літератури [1÷4] свідчить про інтерес вивчення експлуатаційних характеристик судна, їх залежність від параметрів технічних установок і відповідно заданих кількісних (і якісних) показників при працездатності з найменшими витратами протягом всього періоду експлуатації. Також дослідження зазначених напрямків [2] показали, що в ході всього експлуатаційного періоду параметри енергетичних установок судна пов'язані із застосуванням більш складних схем і конструкцій енергомеханічних пристроїв, а також з впливом циклічності роботи та в механічних елементах яких протікають процес зносу [3, 4]. Крім цього, представляє особливий підвищений інтерес вивчення вимог до експлуатаційної надійності [3, 4], як окремо до обладнання під час роботи, так і всього енергетичного комплексу судна в цілому. Все вищевказане пов'язано з чіткою роботою енергетичних установок судна і визначення заходів, щодо підвищення експлуатаційної ефективності.

Сучасні судна оснащені досить складним технічним комплексом, для вирішення різних соціально-економічних транспортних завдань торгового мореплавання [1, 5]. При цьому, чим складніше завдання для виконання, тим складніше технічний комплекс судна. Необхідно також зазначити, що технічний комплекс керування сучасного судна взаємопов'язаний з системою автоматичного керування енергетичними установками та

пристроями керування практично усіх технічних систем судна. Ускладнення комплексу та збільшення навантажень на елементи конструкції енергетичних установок не сприяє підвищенню його безвідмовної роботи і довговічності [1, 3, 4]. При цьому, необхідно підкреслити, що ускладнення конструкцій, пристроїв управління і застосування різних силових (та інших) установок призводить до збільшення навантаження різних вузлів і деталей обладнання, що також призводить до необхідності проведення дослідження, які пов'язані з підвищенням безвідмовної роботи і довговічності технічних систем судноводіння [3, 4].

Аналізуючи експлуатаційний досвід [1, 5], можна зробити висновок, що створення і впровадження в практику енергетичного машинобудування нових конструкційних матеріалів кардинально не змінює систему управління судном. Це пов'язано з тим, що підвищення питомої міцності і опірності до впливу експлуатаційних навантажень негайно призводить до збільшення інтенсивності процесів перетворення енергії з метою підвищення питомої і агрегатної потужності і зниження витрати палива за рахунок збільшення коефіцієнтів корисної дії енергетичного обладнання [4]. Рішення завдання керованості судна пов'язано не тільки з підвищенням надійності за рахунок використання високих запасів міцності або широкого застосування резервування з можливістю використання на певному етапі розвитку нових енергетичних систем, а й можливості інтеграції систем управління енергетичними установками з системою управління судном в цілому [1, 2, 6]. На сьогоднішній день реалізація даного напрямку здійснюється за декомпозиційним принципом дії, тобто, по системам управління вузлів і агрегатів, інтегруючись за даними на етапі прийняття рішень [6, 7]. У той же момент для підвищення безпеки судноводіння і необхідності маневреного проходження в складних умовах необхідно своєчасне вироблення керуючих впливів на силові установки. Тому виникає необхідність більшої інтеграції систем управління судном в умовах забезпечення встановлених вимог судноводіння і підвищення надійності вузлів і агрегатів управління [2, 6] в судових системах. У зв'язку з цим на сьогоднішній день виникає актуальне наукове завдання яке полягає в проведенні аналізу існуючих та визначені напрямків інтеграції системи управління та енергетичних підсистем судна для створення сучасних систем керування рухом суден.

Мета статті. Тому метою статті є висвітлення перспективних напрямків розвитку систем керування судном на основі аналізу літератури, розвитку судових енергетичних систем та навігаційно-інформаційних систем що впливають на якість безпеки судноводіння.

Виклад основного матеріалу

Ефективна експлуатація сучасного судна пов'язана з автоматизацією всіх процесів, що впливає і визначає якість роботи як судових систем, так і засобів керування [1, 3, 4]. Енергетичне обладнання судна забезпечує роботою практично усіх систем судна і дозволяє завдяки автоматизації впливати на реальні можливості їх роботи. У зв'язку з цим виникає необхідність розгляду шляхів удосконалення засобів автоматизації, а також їх об'єктів керування, в тому числі на силових установках і агрегатів, що безпосередньо впливає на безпеку судноводіння [3, 4].

Побудова судових енергетичних систем з використанням засобів автоматизації в останнє десятиліття дозволила підвищити ефективність експлуатації дизельних і газотурбінних установок [3, 4]. Проте це призводить до збільшення знімання параметрів та постійного їх контролю. Крім того, реальні показники силових установках можуть відрізнятися від теоретичних даних. Тому в значній мірі зростає

обсяг операцій контролю стану параметрів силових установок, що призводить до ускладнення систем автоматизації судноводіння [1]. При цьому, сучасні судна як правило характеризуються високим ступенем автоматизації енергетичних установок [2].

Автоматизація суднових систем представляє процес вироблення управлінських рішень на морському транспорті в ході керування судном для забезпечення безпеки судноводіння [1, 2, 4]. В даному випадку автоматизація суднових систем енергетичних установок (СЕУ) побудована за ієрархічним принципом і на кожному рівні забезпечує збір і обробку інформації, видає систематизовані дані, необхідні для вирішення завдань оптимального керування судном в певних умовах його функціонування (схематичне уявлення представлено на рис. 1) [1, 3, 6, 7].

По суті суднові системи керування, в тому числі автоматизовані системи керування судном (АСКС), являють собою ергатичних систем управління, в якій людина бере активну дію (яка приймає рішення) [2, 4, 7]. На сучасних автоматизованих судах основним місцем несення вахти є рульова рубка з центральною системою керування судном (ЦКС), в яких розташовуються органи керування і засоби контролю судового устаткування [2, 5]. Технічний склад команди судна (в тому числі і вахтовий механік і штурман), забезпечує постійний зв'язок і надання параметрів пропульсивних установок, технічних засобів судноводіння, навігаційного обладнання, а також забезпечують даними про енергетичні установки, механізми і системи, на основі засобів автоматизації в залежності від рівня керування судном [5, 6, 7]. Тому дослідження необхідно пов'язувати не тільки з автоматизацією суднових енергетичних установок, але розглядати взаємодію засобів автоматизації суднових енергетичних установок з навігаційно-інформаційним комплексом (НІК) на основі автоматизації та обміну даними з судовими системами [3, 5, 7].

Розглянемо більш докладно кожен рівень і проведемо аналітичний огляд стану розвитку автоматизованих систем керування судном.

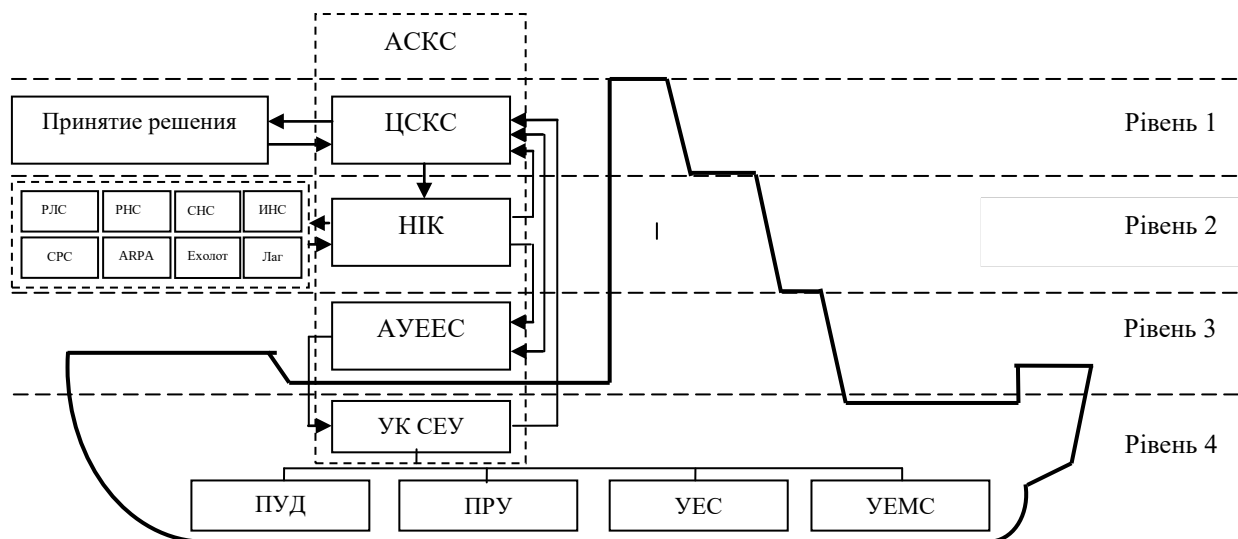


Рисунок 1 – Структура системи управління судном

Рівень 1. Центральна система керування судном.

Система керування судном є найвищим рівнем і являє собою ергодичного систему керувану людиною, в якій виробляє керуючі рішення на основі надання інформації з центральної системи керування судном. Центральна система керування судном отримує дані від засобів автоматизації при управлінні судном від силових

енергетичних установок, з навігаційно-інформаційного комплексу, з енергетичних і енергомеханічних систем, а також з систем, що надають параметри про стан судна [1, 2, 3, 6].

Вироблення керуючого рішення судовими процесами приймає людина в залежності від його рівня кваліфікації та складності автоматизованих систем судового пристрою.

Аналізуючи літературу [6, 7] можливо прийти до висновку, що основні причини аварійності суден пов'язані не тільки з неправильним виробленим керуючим рішенням, але і інертними характеристиками суден. Так гальмівний шлях танкера водотоннажністю близько 500 тис. тонн може досягати до 10 км [5]. Тому поряд з підвищенням рівня знань і розуміння процесів керування судном у фахівців також удосконалюються судові технічні засоби керування, автоматизації та обміну інформації між ними. Крім цього, вивчаються динамічні характеристики і параметричні властивості систем автоматики і людини (яка приймає рішення), що також впливає на динаміку руху судна як ергатичної системи.

Рівень 2. Навігаційно-інформаційний комплекс.

Сучасне судно має НІК (сукупність різних навігаційних систем і пристроїв, інтегрованих в єдиний комплекс), який дозволяє вирішувати завдання безпеки руху та оптимального судноводіння з можливістю орієнтації в просторі з високою точністю, і визначати параметри руху і положення судна в будь-який момент часу [8, 9]. На сьогоднішній день навігаційні системи реалізовані на мікроелектронній базі [6, 8, 9], що дає можливість вирішення навігаційних завдань з можливістю передачі даних в ЦКС для візуалізації їх на дисплеях (моніторах) для прийняття управлінських рішень.

Особливістю перспективних напрямків побудови суден, є можливість об'єднання всіх судових систем в тому числі і НІК для оптимального проходження судна по заданому маршруту. Тому на перший план виходить питання взаємозв'язку НІК з іншими технічними засобами керування судна через автоматичні системи. Це пов'язано з новими вимогами ММО до безпеки судноплавства, які регламентують навігаційні вимоги до керування суднами і до використання нових навігаційних приладів і систем [6, 7, 9]. При цьому судноводію необхідно швидко орієнтуватися не тільки в безлічі технічних засобів керування, але і вміти оперативно працювати з ними в обмежений час, правильно приймати рішення при експлуатації судових систем.

Рівень 3. Автоматичне керування електроенергетичних систем.

Сучасне суднове автоматичне керування електроенергетичних систем (АКЕЕС) представляють собою велику кількість взаємопов'язаних систем автоматики, що забезпечують паралельну роботу судових силових вузлів і систем [2, 4]. Аналітичний огляд джерел [2, 3, 4] показав, що на сьогоднішній день сучасні АУЕЕС підійшли до повної автоматизації процесів експлуатації суден класу А1 без втручання людини. Крім цього фахівцями під час проведених досліджень були визначені критичні ситуації, які підвищують аварійність судових систем через незадовільну роботу джерел електроенергії і якості відпрацювання автоматики, що пов'язано з [2, 3]:

- низькою якістю електричної енергії, що виробляється автономними генераторами;
- неякісною роботою систем автоматики її паралельне виконання операцій;
- несвоєчасним виконанням команд і операцій у встановлений період часу.

Основними причинами виникнення критичних ситуацій при керуванні судном є неповна вивченість всіх процесів, що протікають і недосконалість систем автоматики, яке пов'язано із затримкою роботи судових силових пристроїв, а також недостатнє розуміння фізичних процесів, що протікають в електроенергетичних системах [4, 5]. При цьому залишається одним з маловивчених питань, пов'язане з багаторежимними етапами роботи електроенергетичних систем, які в основному застосовуються в судових електротехнічних комплексах, а саме наявність в обмінних коливань потужності [2]. При цьому обмеження амплітуди обмінних коливань потужності безпосередньо пов'язано із

забезпеченням стійкої роботи суднової електростанції [2, 3, 4]. У зв'язку з чим, існуючі методи організації і управління багаторежимною роботою силових пристроїв не можуть виключити негативні наслідки наявності обмінних коливань потужності.

Тому необхідно проводити дослідження багаторежимної роботи що пов'язані з впровадженням передових методів управління роботою суднового електротехнічного комплексу.

Рівень 4. Керуючий комплекс систем енергетичних установок (КК СЕУ). Найбільш складними з точки зору експлуатації технічних засобів судноводіння в комплексі систем енергетичних установок є системи автоматизації суднових установок і зокрема дизельних і газотурбінних двигунів [2, 3, 4]. Системи енергетичних установок сучасних морських суден характеризуються високою потужністю і мають в своєму складі велику кількість двигунів, механізмів, пристроїв і вузлів. Крім того, що вони забезпечують рух судна відповідно до заданої швидкості, вони також постачають електричну і теплову енергією різним споживачам. При цьому швидкість руху судна і роботи силових установок і допоміжних механізмів функціонують з урахуванням впливу атмосферних впливів (вітру, гідрометеороів), а також стану моря по фарватеру в заданому районі, відповідно встановлених вимог, заданого маршруту і робочих режимів [1, 2].

Крім цього необхідно забезпечувати економічність витрати паливно-мастильних матеріалів, а також надійність, тривалість роботи основних агрегатів і суднової енергетичної установки відповідно до умов технічної експлуатації. Виконання даних умов експлуатації з підвищенням продуктивності можливо в результаті автоматизації процесів СЕУ, а також корекції керуючих впливів (операцій керування) в критичних умовах роботи енергетичних установок судном.

Висновки. З огляду на вищевикладене, а також аналізу технічної літератури, можна зробити висновок що на сьогоднішній день система керування судном представляє достатньо складну, багаторівневу структуру. Також виникає необхідність дослідити можливі напрямки технічного контролю параметрів енергетичних установок суден, а в критичних моментах роботи СЕУ можливість забезпечити в автоматизованому режимі перенастроювання режимів функціонування. В ході аналізу визначилось, що перспективним напрямком досліджень є інтегрування даних різних підсистем СЕУ з НІК. Це забезпечить якісний контроль функціонування енергетичних систем під час судноводіння в складних умовах. Також необхідно розглядати особливості циркуляції поточних параметрів і керуючої інформації СЕУ в автоматизованій системі керування судна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна // Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
2. Носенко В.М. Судовые энергетические установки / В.М. Носенко. – Николаев: ФЛН Швед В.Д., 2013. – 443 с.
3. Артемов Г.А. Судові енергетичні установки / Г.А. Артемов, В.М. Горбов. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 356 с.
4. Gorbov V.M. Marine engineering encyclopedia / V.M. Gorbov, S.I. Serbin, V.S. Mitienkova. – Mykolaiv: publisher Torubara V.V., 2017. – 200 p.
5. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков – LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. – 585 с.
6. Вагущенко Л.Л. Современные информационные технологии в судовождении / Л.Л. Вагущенко - Одесса: ОНМА, 2013. – 135 с.

7. Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы / Л.Л. Вагущенко. – Херсон: Гринь Д.С., 2017. – 400 с.
8. Пятаков Э.Н. Основы радиолокационной и спутниковой навигации: учебное пособие / [Э.Н. Пятаков] под. общ. ред. В.Э. Пятакова. – Стереотип. изд. – Херсон: Гринь Д.С., 2017 – 226 с.
9. Ходаковский В.Ф. Радионавигационные приборы: Учебное пособие – 3 издание./ В.Ф. Ходаковский, М.С. Литвак, В.Б. Смеликова, А.В. Мельниченко. – Херсон: Гринь Д.С., 2018. - 414 с.

Плита Л.Л., Богомья В.И., Писанко А.Г.

АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ И ОСОБЕННОСТЕЙ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье проведены исследования связанные с определением основных направлений развития судовых автоматизированных систем управления судном. На основе анализа литературы осуществлено распределения судовых систем на уровни управления в зависимости от их функциональных свойств. Также осуществляется обзор состояния вопроса и проанализированы основные направления развития силовых энергетических установок и систем автоматизированного управления судном. При этом система управления судном рассматривается как единая информационная платформа управления судном. Это связано с тем, что на сегодняшний день современное развитие судовых систем управления разрабатывается в соответствии с технологией Е-навигации и использует специализированные информационные системы. Это дает возможность повысить эффективность эксплуатации судна с помощью своевременного управления силовых узлов и устройств, а также изменения условий функционирования.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, навигационно-информационный комплекс, судовые энергетические установки

Plita L.L., Bogom'ya V.I., Pisanko A.G.

ANALYSIS OF VESSEL CONTROL SYSTEMS AND FEATURES OF THEIR OPERATION

The article contains studies related to the determination of the main directions of development of ship's automated ship control systems. Based on the analysis of the literature, the distribution of ship systems to control levels, depending on their functional properties, is carried out. The state of the issue is also reviewed and the main directions of the development of power plants and ship automated control systems are analyzed. In this case, the ship control system is considered as a single information platform for ship control. This is due to the fact that today the modern development of ship control systems is being developed in accordance with E-navigation technology and uses specialized information systems. This makes it possible to increase the efficiency of the ship's operation through timely control of power units and devices, as well as changes in the operating conditions.

Key words: automated control systems, navigation and information complex, ship power plants

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:

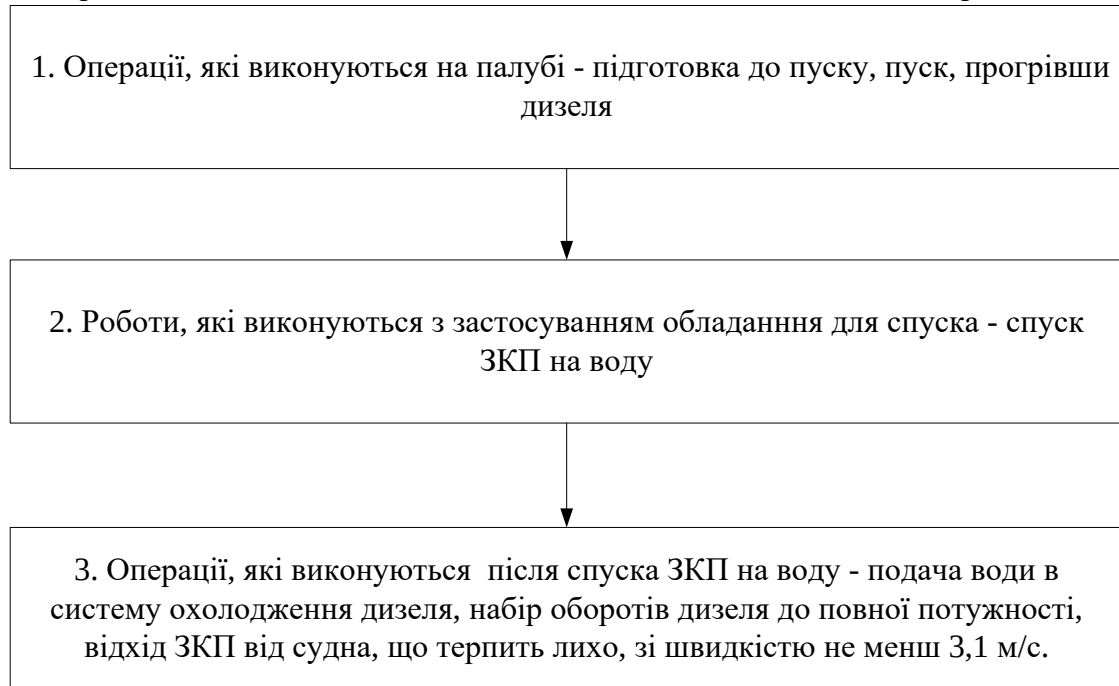


Рисунок 1 – Удосконалений процес введення в дію ЕУ ЗКП

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 критерії надійності системи, який має резерв часу для виконання завдання, використовується ймовірність того, що завдання тривалістю t_z , 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:

$$P_{в..3} = P(t_{в.3} \leq 1) = P(t_3, t), \quad (7)$$

де $t_{в.3}$ – 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 $t_{ні}$: $t_{ні} = t_{3i} - t_i$, тоді можна використовувати форму запису $P_{в..3}$ для i -го пункту операції:

$$P_{в..3i} = P(t_{в.3i}, t_{ні}) = 1 - F(t_{в.3i}, t_{ні}). \quad (9)$$

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 спуска 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 людини, 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 зменшенням 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 переклад 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 згоряння 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 TsNIDIL. 1980. S.31-42
24. Boldyirev I.V., Smirnova T.N. Energy balance of diesels with reduced heat dissipation // Dizelistroenie. 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

Дакі О.А., Ткаченко В.В., Левченко О.В., Куц О.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВІБРАЦІЙ В МАШИННИХ ВІДДІЛЕННЯХ ТЕПЛОХОДІВ

Суднобудування у світі є галуззю, яка досить динамічно розвивається з високою капіталізацією. Слід зауважити, що це не лише прибуткове виробництво, а ще й наукоємне. Для будівництва суден використовуються новітні наукові методи у сфері матеріалознавства, навігації, енергетичних установок. Відомо, що вібрації та удари супроводжують роботу багатьох машин і механізмів, знижуючи їх надійність і довговічність, а також шкідливо впливають на здоров'я людини. Серйозна ситуація у сфері захисту від вібрацій склалася на засобах водного транспорту.

Розвиток сучасних суднових енергетичних установок пов'язаний, з одного боку, зі збільшенням потужності механізмів, які є в багатьох випадках джерелами інтенсивного шуму і вібрацій, з іншого боку - значними масштабами використання точних приладів і апаратури різного призначення, чутливих до вібрацій.

Таким чином, віброзахист становить значний інтерес як для суднобудівників, так і для фахівців із суднових енергетичних установок, оскільки вібрація суднового корпусу і його окремих елементів може викликати в корпусі судна появу втомних тріщин, порушити нормальну роботу суднової апаратури і різних вимірювальних приладів, установлених на борту судна, створити негативні умови для перебування пасажирів і членів екіпажу на борту протягом порівняно тривалого часу.

На даний момент питання зниження вібрації займає визначене місце в теорії і практиці суднобудування. Усі судна проходять перевірку вібраційної і шумової активності. Увага приділяється системам зниження активності джерел вібрації і шуму. Крім того, методи проектування передбачають істотне зниження вібрації вже на стадії технічного завдання за рахунок спеціального розташування приміщень щодо джерел вібрації і шуму, раціонального вибору конструкції корпусу, товщини листів обшивки, тощо.

Значний науковий інтерес представляють собою методи розрахунку вібраційних сил та моментів для розроблення обґрунтованих рекомендацій щодо зміни в конструкції суден для отримання прийнятних показників. Також важливим завданням є розробка критеріїв оцінювання віброзахисту суден, які можна використовувати як при суднобудуванні, так і при виконанні заходів з модернізації існуючого флоту.

Конструктивне вдосконалення пружних систем, що веде до зменшення вібронавантажень корпусу судна є достатньо важливим науковим напрямком, розвиток якого відповідає розвитку сучасних поглядів на суднобудування. Проектування пружних систем суднових енергетичних установок є досить трудомісткою задачею і вимагає визначеного ступеня автоматизації розрахунків. При проектуванні транспортних суден з головними малооборотними дизелями варто враховувати такі особливості, як їх невірні балансованість та компоновання, а також взаємодію з корпусними конструкціями.

Ключові слова: вібрація, механіка твердого тіла, пружні системи, суднобудування, суднові двигуни.

Постановка проблеми. Зростання розмірів суден і потужностей силових установок наприкінці ХХ-го століття, підвищення швидкості суден, особливо контейнеровозів, використання економічних малообертних дизелів (МОД) великої потужності в якості головних двигунів (ГД) призвело до проблем, викликаних підвищенням рівня вібрації, що проявляються у вигляді:

- втомних тріщин у суднових корпусних конструкціях;
- пошкоджень механізмів, пристроїв і елементів гребних установок у машинних відділеннях;
- підвищеного рівня вібрації в надбудовах.

Все це вказує на недостатній рівень вібростійкості пружних систем суднових енергетичних установок і на необхідність нових підходів до конструювання цих систем. Підвищений рівень вібрації проявляється в надбудовах, особливо при резонансах у коливаннях основної пружної системи допоміжних дизелів, і в кормовій частині суден, де пружні системи піддаються впливові двох джерел: головних МОД і гребних гвинтів (ГГ).

Тому очевидно є актуальність досліджень у напрямку дослідження вібростійкості пружних систем суднових енергетичних установок (СЕУ) і конструктивному вдосконаленню цих систем у цілому та їх окремих елементах зокрема.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Суднова вібрація, яка породжується ГГ і головними дизелями завжди викликала проблеми, що виявлялися у виді втомних тріщин у суднових конструкціях або в елементах гребних установок, підвищеного рівня вібрації механізмів і пристроїв у машинних і румпельних відділеннях.

Виконувалися роботи, присвячені дослідженням вібрації від МОД представниками класифікаційних суспільств, наприклад, Бюро Веритас [1], Норвезького Веритас [2], а також фірмами ІНІ [3] і MAN B&W [4].

У цілому цим проблемам присвячені роботи з дослідження вібрації на судах ученими, серед яких Белов І.М., Вороня Е.Я., Давидов В.В., Єфремов Л.В., Іванюта Е.І., Гачків Ю.С., Лукаш Э.П., Маттес Н.В., Нікольський Ю.А., Палій О.М., Постнов В.А., Ростовцев Д.М., Тарануха Н.А., Сочінський С.В., Тузів Л.В., Чувіковський В.С., Шиманський Ю.А., Щукіна Е.Н., Галь А.Ф., Зінченко В.І., Ключкін І.І., Гачків Ю.С., Нерубенко Г.П., а також іноземними дослідниками: Asmussen I., Bourceau G., Bryndum L., Choi J., Chang J., Garnier H., Fuji K., Fujino R., Jacobsen S., Kim M., Kim S., Laheld P., Larsen O., Mano M., Masson J., Mizuuchi M., Munn H., Nagai M., Ochi Y., Ohtaka K., Okada Y., Shiraki K., Sontvedt T., Stefenson J., Shyu R., Tanida K., Volcy G., Wang W., Yamaguchi T.

Оскільки в основному проблеми вібрації виникають при резонансних коливаннях пружних систем із частотами головних порядків дизелів, у статті наведено аналіз невіднованих сил і моментів МОД і запропоновані критерії для їх оцінки. Розрахунки невіднованих моментів МОД можуть виконуватися згідно методикам робіт Істоміна П.А. та Терських В.П.

Метою статті є вироблення рекомендацій зі зниження рівня вібрації пружних систем суден з головними МОД до допустимих значень. При цьому передбачається використання різних способів впливу на основну пружну систему “днище-дизель” (ДД), як джерело вібрації.

Викладення основного матеріалу дослідження.

Дослідження вібрації від МОД.

Критерії оцінки невіднованих моментів дизелів розроблені на основі коефіцієнтів динамічного посилення при резонансах коливань реальних пружних систем, отриманих у результаті досліджень вібрації і норм вібрації. Водночас вважається, що амплітуди змушених коливань (навіть при резонансі) не будуть перевищувати допустимих величин.

Для суден, які знаходяться в експлуатації, усунення підвищеного рівня вібрації частіше виконується за рахунок конструктивних заходів, наприклад, зміною твердості пружної системи з метою підвищення частоти вільних коливань і усунення умов резонансу. Однак, у ряді випадків це вимагає великих матеріальних витрат і приймаються заходи для призначення забороненої зони в роботі ГГ, що простіше і вимагає тільки встановлення діапазону по частоті обертання валопроводу.

Таким чином, відомості про результати досліджень вібрації, наведені в цій статті, підтверджують можливість зниження рівня вібрації в пружних системах у машинних відділеннях (МВ) теплоходів різними способами. До того ж, у багатьох випадках цього можна було уникнути шляхом попереднього аналізу пружних систем з погляду запобігання резонансних вібраційних умов ще на стадії проектування суден. Однак, це можливо тільки за наявності вимог по нормуванню нижчих частот вільних коливань пружних систем у МВ, заснованих на спектрах неврівноважених сил і моментів головних МОД.

При аналізі спільних коливань головних МОД з конструкціями корпусу судна (днищем МВ) прийняті основні форми коливань даної пружної системи, які наведено на рисунку 1 для системи з одним дизелем (система ДД). Ці форми досить добре вивчені і широко використовуються при дослідженнях вібрації суден.

Деяка зміна форм коливань відбувається у зв'язку з нерівномірністю твердості по довжині і ширині днища МВ, а також асиметрією самої пружної системи, наприклад через наявність зв'язків верхнього кріплення основ дизелів з одного борту. Також впливає на пружну систему розташування дизелів по довжині МВ і ширині для суден з 2-ма машинами. До того ж з'являються зв'язні коливання системи, оскільки центр мас системи не збігається з центром мас дизеля, відносно якого визначаються його неврівноважені сили і моменти [5].

Перша форма коливань системи ДД (рисунок 1 б) відповідає першій формі коливань днища МВ як пластини з пучністю в центрі. У центрі мас дизеля, зміщеного в корму на перекритті МВ, маємо переміщення: z та φ_y .

Н – форма коливань наведена на рисунку 1 г), що відповідає другій формі коливань днища МВ (з нейтральною віссю в діаметральній площині (ДП) та при бортових пучностях) й поперечних коливаннях остова дизеля як балки-стілки.

Х – форма коливань системи ДД (рисунок 1 в) відповідає більш високій формі коливань днища МВ (з діагональною пучністю) та скручування остова дизеля щодо вертикальної осі z з лінійними переміщеннями кінців блоку циліндрів у протифазі. Дана форма коливань властива тільки системам ДД із МОД при відносно великій їх висоті і при визначеному порядку роботи циліндрів (значних по величині гармонійних складових горизонтального скручуючого моменту - M_x). Переміщення в центрі мас дизеля: y та φ_z .

х – форма коливань системи ДД представлена на рисунку 1 д). При цьому блок циліндрів робить поперечні синфазні коливання по кінцях і в протифазі – у центрі. Ця форма характерна для дизелів з числом циліндрів більш 8, у яких досить великі по величині гармонійні складові горизонтального скручуючого моменту від нормальних сил високих порядків та відповідної форми коливань векторними діаграмами.

Аналізуючи системи ДД, ряд дослідників [6-9] наводили залежності частот її основних форм коливань – Н і Х. Слід зазначити, що частота Н-форми – f_n практично не змінюється зі збільшенням кількості циліндрів для кожної моделі дизеля [7]. Це вірно в тому випадку, якщо розглядати коливання тільки основи дизеля як балки-стілки. Однак, збільшення числа циліндрів і маси приводить до підвищення твердості днища МВ і, отже, частоти системи ДД. Частота f_x значно знижується зі збільшенням довжини дизеля.

Дослідження вібрації від гребних гвинтів.

Гребний гвинт є джерелом загальної та місцевої вібрації на судні. При цьому розглядається кілька періодичних зусиль і моментів від них, що обумовлені наступними основними причинами:

1) Статичною невірноваженістю гвинта, тобто розбіжністю центра мас та вісі обертання (відцентрова сила, вертикальна і горизонтальна складові, які змінюються згідно гармонійного закону з частотою першого порядку).

2) Динамічною невірноваженістю гвинта у випадку, якщо центр мас та центр інерції не в одній точці (момент у площині нормальній до площини диска гвинта з частотою першого порядку).

3) Гідродинамічною невірноваженістю гвинта, що виникає з технологічних причин (нерівномірне розташування лопатей, різнокроковість і т.п.) та викликає горизонтальний і вертикальний моменти на гвинті з частотою першого порядку й першій лопатевою частотою (від ексцентриситету упора, вектор якого для чотирьох лопатевого гвинта розташований у верхньому правому квадранті площини диска гвинта).

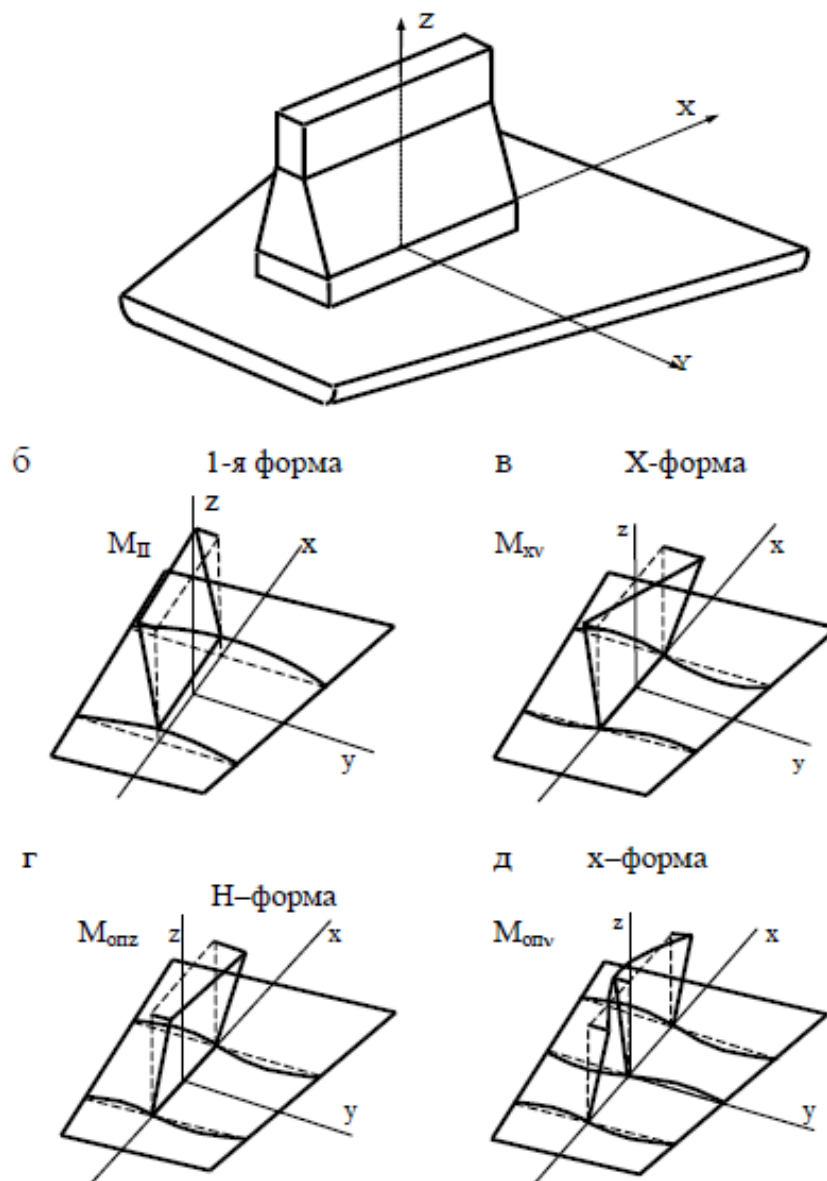


Рисунок 1 – Основні форми коливань системи "дизель-днище":
а – фізична модель; б – перша форма коливань; в – Н - форма коливань;
г – Х - форма коливань; д – х - форма коливань

4) Пульсацією гідродинамічного тиску, що передається на обшивку днища над гвинтом через воду. Результуюча сила від гідродинамічного тиску, що створює некавітуючим гвинтом, має дві переважні гармонійні складові з 1-й та 2-й лопатевими частотами [11]. Для кавітуючих гвинтів – процес випадковий, у спектрі присутні трохи порівнянних гармонійних складових від першої до п'ятої лопатевих частот [12]. Рівень сумарного тиску, насамперед, залежить від інтенсивності кавітації, що найбільш розвинена при оголенні краю лопатей гвинта і може взагалі зникати при положенні корми на гребені хвилі. При цьому спектр гармонійних складових гідродинамічних тисків змінюється від форми кавітуючого до некавітуючого гвинта, тобто залишається всього дві складові з першої та другої лопатевими частотами.

5) Періодичні сили і моменти від них, які викликаються нерівномірним побіжним потоком у площині диска гвинта, що діють на гребний вал і дейдвудні підшипники (частоти першого порядку, лопатева, подвоєна лопатева і половинна) [12].

Інтенсивність вібрації в будь-якому випадку визначається величинами зусиль, які її збурюють, що залежать, в основному, від наступних факторів:

- точності виготовлення ГГ;
- величин зазорів між ГГ і ахтерштевнем;
- кількості лопатей ГГ;
- конструкції ГГ і його параметрів (діаметр, дискове і крокове відношення, форма лопатей);
- форми кормового краю (кілеватості днища в площині диска гвинта, наявності спеціальних пристроїв для вирівнювання потоку і т.п.);
- опади в кормі (ГГ проектується на положення судна у навантаженому стані), що істотно впливає на виникнення кавітації в баластовому стані суден і при хвилюванні поверхні. Так, наприклад, на судах типу "Варнемюнде" це було підтверджено результатами досліджень вібрації і гідродинамічних тисків. При проектному осіданні $T_k = 8,8$ м кавітація була відсутня, спектр гармонійних складових гідродинамічного тиску обмежувався другою лопатевою частотою і з вібрацією проблем не викликало. Однак, при експлуатації цих суден на контейнерних перевезеннях (у Тихоокеанському басейні) із середнім осіданням у кормі - 7,2 м спостерігалася інтенсивна кавітація лопатей гребних гвинтів. При цьому вібрація судових конструкцій мала частоти від першої до п'ятої лопаті. Це викликало проблеми як з погляду міцності корпусних конструкцій у кормовому краї (у виді утомних тріщин), так і дотримання санітарних норм у приміщення надбудови [4, 10, 12].

У ході натурного експерименту на теплоході типу "Варнемюнде" за вимірами вібрації корпусних конструкцій (КК) і гідродинамічних тисків від гребного гвинта оцінювалися:

- параметри вібрації КК на кормі (амплітуди вібрації, резонансні частоти і порядок коливань);
- рівень гідродинамічних тисків на обшивці днища на тихій воді й хвилюванні (загальний рівень, поле тиску в площинах диска гвинта та у діаметральній площині (ДП)).

Попередні розрахунки пульсації гідродинамічних тисків по методиках [12], не враховували можливе виникнення кавітації на лопатях ГГ та не дали позитивних результатів в оцінці імпульсів. Виміряний тиску декількох точках (у площині диска гвинта і по ДП) на судні істотно перевищував розрахунковий при частоті обертання ГГ вище 0,85 від номінального і досягав величини 0,045 - 0,05 Мпа, що відповідало рівню тиску кавітуючого гвинта [10].

Виходячи зі спектра гармонійних складових гідродинамічного тиску від некавітуючого гвинта, виконується нормування мінімальних частот вільних коливань першої форми, наприклад пластин КК кормового краю: Норвезький Веритас (DnV)

$f_1 \geq 2,2 \times n \times z$; Російський Морський реєстр: $f_1 \geq 3,0 \times n \times z$; Французьке бюро Веритас (BV): $f_1 \geq 5,0 \times n \times z$. Де f_1 – частота першої форми вільних коливань пластини; n – частота обертання ГГ; z – кількість лопатей ГГ. Постійний коефіцієнт у нормах DnV враховує резонансну зону 20%, що зовсім недостатньо. У нормах МРС частоти вільних коливань пластин повинні в 1,5 рази (для ребер жорсткості – у 1,3 рази) перевищувати частоту збуджуючих сил, тобто другу лопатеву частоту. Тому коефіцієнт значно більше і враховує дефекти пластин та корозійний знос. У Правилах BV вимоги більш жорсткі у відношенні кавітації ГГ, але й це дає гарантію по відношенню до втомної міцності КК у кормі судів, хоча при цьому КК повинні мати значні товщини, що збільшує вагу конструкції корми.

Також необхідно враховувати той факт, що кавітація лопатей ГГ на хвилюванні мінлива, як відзначалося вище, і процес пульсації гідродинамічного тиску має випадковий характер, що добре корелює із заглибленістю гвинта (залежить від положення корми щодо профілю хвилі і кільової хитавиці). Аналогічно змінюються гармонійні складові гідродинамічного тиску і, відповідно, вібрація КК та їх елементів з частотами від другої до п'ятої лопатевої.

Дослідження вібрації від гребних гвинтів та головних дизелів.

При кормовому розташуванні МВ вібрація від ГГ і головних МОД сумується та у деяких випадках викликає проблеми [14]. Ці питання можуть бути вирішені на стадії проектування судна після вибору типу головного МОД і розрахунку всіх його неврахованих моментів, оскільки при проектуванні ГГ можливо варіювати його параметрами і числом лопатей. При цьому слід ретельно аналізувати спектри збуджуючих зусиль від головних МОД і ГГ.

Частоти неврахованих моментів МОД залежать від числа його циліндрів і порядку роботи циліндрів (невраховані моменти від сил інерції першого та другого порядків M_I , M_{II} , гармонійні складові горизонтального скручуючого моменту M_x та перекидаючого моменту) [9].

Частоти збуджуючих зусиль від ГГ залежать від кількості його лопат (лопатевої частоти: перша та друга для некавітуючих гвинтів і більш широкий спектр при кавітації) і балансування (статичний розбаланс виявляється на частоті першого порядку) [4, 5].

З метою виключення збігу частот збуджуючих зусиль від МОД і ГГ необхідно після вибору головного дизеля та аналізу повного спектра його неврахованих моментів виконати розрахунок двигуна і прийняти число його лопатей. При виборі МОД визначається частота обертання валопроводу та частота першого порядку. Потужність дизеля, необхідна для забезпечення проектної швидкості судна, розраховується виходячи з циліндрової потужності конкретної моделі. При цьому агрегатна потужність МОД залежить від числа його циліндрів (від 3 до 14, що спостерігається в даний час у практиці суднобудування).

Несприятливі умови з погляду порушення вібрації від МОД і ГГ були на судах типу "Варнемюнде" [4, 5]. На судні був встановлений головний МОД типу K8Z70/120E фірми MAN і 4-х лопатевий гвинт. Головний дизель мав порядок роботи циліндрів (1-8-2-6-4-5-3-7), при якому значення гармонійної складової четвертого порядку M_{x4} горизонтального скручуючого моменту співрозмірне із середнім обертаючим моментом МОД. [12].

Тому для цієї гребної установки збіглися частоти 4-го і 8-го порядків двох пар збуджуючих зусиль:

- 1) результуючої від гідродинамічних тисків з першою лопатевою частотою і M_{x4} ;
- 2) результуючих тисків з другою лопатевою частотою і гармонійною складовою головного восьмого порядку перекидаючого моменту M_{OP8} .

Це приводило до появи численних втомних тріщин у корпусних конструкціях кормового краю на всіх судах серії і підвищеному рівневі вібрації самого МОД і в надбудові [4, 12].

Висновки.

Числені дослідження вібрації свідчать про те, що пружна система ДД має власні форми і частоти вільних коливань. Збурюючими зусиллями у системі ДД є неврівноважені моменти МОД. З метою запобігання підвищеного рівня вібрації системи ДД (резонансних явищ) необхідно виконувати розрахунки частот вільних коливань основної системи ДД і пружних підсистем, утворених механізмами і пристроями в МВ, на стадії проектування судна. У ряді випадків вимушені коливання системи ДД, особливо при наявності резонансів по одній з форм коливань, викликають проблеми як з погляду втомної міцності деталей МОД і конструкцій у МВ, так і підвищеного рівня вібрації в МО і надбудові.

Спектр збурюючих зусиль від ГГ обмежений другою лопатевою частотою для некавітуючих гвинтів, що повинно враховуватися при проектуванні конструкцій кормового краю суден.

Перспективним напрямком даних досліджень є розробка безпосередніх рекомендацій при проектуванні МВ перспективних проектів суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. An Introduction to Vibration Aspects of Two-Stroke Diesel Engines in Ships. // MAN B&W Diesel A/S.–2015.–November. – 11 p.
2. Arrangement and Detail Main Engine Top Bracing. №3K-2810-007/ Hyundai & PRISCO: HHI1854-7S60MC-C.
3. Bourceau, G. Forced Vibration Resonators and Free Vibration of the Hull / G. Bourceau, G. Volcy // Inter. Shipbuild. Progress. – 2016, –V.18. –№203. –P.243-271.– №204. – P.275–294.
4. Bryndum, L. and Jacobsen S. "Vibration Aspects of Low-speed Diesels", *9th Marine Propulsion Conference*, London, 2007.
5. Chang, J. Dynamic response prediction of rolling stays / J. Chang, W. Wang, R. Shyu, W. Yeih // Journal of the Society of Naval Architects and Marine Engineers. –2017.– V.16. – №4. –P.51–61.
6. Fuji, K. IHI Ship Vibration Measuring and Analysing System and its Application Results / K. Fuji, Y. Okada // Japan Shipbuilding and Marine Engineering.–2016.– V.12.–№1. –P.23–35.
7. Further Development and Application of the MC Engines. – MAN B&W Diesel A/S, 2017, February. – 23 p.
8. Khooiakov, S. Analysis of vibration of marine diesel generators with vibroinsulators/ S. Khooiakov // Proceedings TEAM'2000. –Vladivostok.–2000. – P.517–518
9. Fisher, G. Von HauptmotorerregtsSchiffsschwinungen/ G. Fisher // Schiff und Hafen.–2018, –29.–№12. – P.1129–1132.
10. Hoilund, A. Propeller Cavitation as a Source of Vibration / A. Hoilund, K. Holden, T. Sontvedt // Schiff und Hafen. –2013.–25.–№7. –P.622–626.
11. Khooiakov, S. Principles of Laying Down Limits of Elastic System Free Vibration Frequencies in Engine Rooms / S. Khooiakov // Proceedings ISC'2002. –2002. –P.143–150.
12. Ochi, Y. Prevention of Engine Room Vibration and Engine Room Bottom. Report 1 / OchiY., K. Tanida, R.Fujii // Ishikawajima-Harima Eng. Rev. –2018.–V.16. №6. – P.655–666.
13. Ohtaka, K. Some Comments on the Hull Vibration Induced by Engine / K. Ohtaka // Inter. Symp. Mar. Eng. – Tokyo.–2014. –P.89D–92D.

14. Худяков, С.А. Практика решения проблем вибрации судовых дизелей: моногр. / С.А. Худяков. – Владивосток: Изд-во Морского государственного университета, 2016. – 172 с.

REFERENCES

1. An Introduction to Vibration Aspects of Two-Stroke Diesel Engines in Ships. MAN B&W Diesel A/S, 2015, November, 11 p.
2. Arrangement and Detail Main Engine Top Bracing. №3K-2810-007/ Hyundai & PRISCO: HHI1854-7S60MC-C.
3. Bourceau, G. and Volcy, G. (2016) "Forced Vibration Resonators and Free Vibration of the Hull", *Inter. Shipbuild. Progress*, Vol.18, No.203, pp.243-271, No.204, pp.275-294.
4. Bryndum, L. and Jacobsen S. (2007), "Vibration Aspects of Low-speed Diesels", *9th Marine Propulsion Conference*, London.
5. Chang, J., Wang, W., Shyu, R. and Yeih, W. (2017), "Dynamic response prediction of rolling stays", *Journal of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*, Vol.16, No.4, pp.51-61.
6. Fuji, K. and Okada Y. (2016), "IHI Ship Vibration Measuring and Analysing System and its Application Results", *Japan Shipbuilding and Marine Engineering*, Vol.12, No.1, pp.23-35.
7. Further Development and Application of the MC Engines. – MAN B&W Diesel A/S, 2017, February, 23 p.
8. Khoodiakov, S. (2000), "Analysis of Vibration of Marine Diesel Generators with Vibroinsulators", *Proceedings TEAM'2000*, pp.517-518.
9. Fisher, G. (2018), "Von Hauptmotorenerregtschiffsschwinungen", *Schiff und Hafen*, 29, No.12, pp.1129-1132.
10. Hoiland, A., Holden, K. and Sontvedt T. (2013), "Propeller Cavitation as a Source of Vibration", *Schiff und Hafen*, 25, No.7, pp.622-626.
11. Khoodiakov, S. (2002), "Principles of Laying Down Limits of Elastic System Free Vibration Frequencies in Engine Rooms", *Proceedings ISC'2002*, pp.143-150.
12. Ochi, Y., Tanida K. and Fujii, R. (2018), "Prevention of Engine Room Vibration and Engine Room Bottom. Report 1" *Ishikawajima-Harima Eng. Rev.*, Vol.16, No.6, pp.655-666.
13. Ohtaka, K. (2014), "Some Comments on the Hull Vibration Induced by Engine" *Inter. Symp. Mar. Eng.*, pp.89D-92D.
14. Khudyakov, S.A. (2016), "Praktikaresheniyaproblemvibratsiisudovykh dizel'ey: monografiya" [The practice of solving the problems of vibration of marine diesel engines: monograph.], Izd-vo Morskogo gosudarstvennogo universiteta, Vladivostok, 172 p.

Даки Е.А., Ткаченко В.В., Левченко О.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВИБРАЦИИ В МАШИННЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ ТЕПЛОХОДОВ

Судостроение в мире является отраслью, которая достаточно динамично развивается с высокой капитализацией. Следует отметить, что это не только ценное производство, но и наукоемкое. При строительстве судов используются новейшие научные методы в сфере материаловедения, навигации, энергетических установок. Известно, что вибрации и удары сопровождают работу многих машин и механизмов, снижая их надежность и долговечность, а также вредно влияют на здоровье человека. Особенно серьезная ситуация в области защиты от вибраций сложилась на судах водного транспорта.

Развитие современных судовых энергетических установок связано, с одной стороны, с увеличением мощности механизмов, которые есть во многих случаях источниками интенсивного шума и вибраций, с другой стороны - значительными масштабами использования точных приборов и аппаратуры различного назначения, чувствительных к вибрации.

Таким образом, виброзащита представляет значительный интерес как для судостроителей, так и для специалистов по судовым энергетическим установкам, так как вибрация судового корпуса и его отдельных элементов может вызвать в корпусе судна появление усталостных трещин, нарушить нормальную работу судовой аппаратуры и различных измерительных приборов, установленных на борту судна, создать негативные условия для пребывания пассажиров и членов экипажа на борту в течение сравнительно длительного времени.

В настоящее время вопрос снижения вибрации занимает определенное место в науке и практике судостроения. Все суда проходят проверку вибрационной и шумовой активности. Внимание уделяется системам снижения активности источников вибрации и шума. Кроме того, методы проектирования предусматривают существенное снижение вибрации уже на стадии технического задания за счет специального расположения помещений относительно источников вибрации и шума, рационального выбора конструкции корпуса, толщины листов обшивки и тому подобное.

Значительный научный интерес представляют собой методы расчета вибрационных сил и моментов для разработки обоснованных рекомендаций по изменению в конструкции судов для получения приемлемых показателей. Также важной задачей является разработка критериев оценки виброзащиты судов, которые можно использовать как при судостроении, так и при выполнении мероприятий по модернизации существующего флота.

Конструктивное усовершенствование упругих систем, что ведет к уменьшению вибронгрузок корпуса судна есть достаточно важным научным направлением, развитие которого соответствует развитию современных представлений о судостроении. Проектирование упругих систем судовых энергетических установок является достаточно трудоемкой задачей и требует определенной степени автоматизации расчетов. При проектировании транспортных судов с главными малооборотными дизелями следует учитывать такие особенности, как их неуравновешенность и компоновку, а также взаимодействие с корпусными конструкциями.

Ключевые слова: вибрация, механика твердого тела, упругие системы, судостроение, судовые двигатели.

O. Daki, V. Tkachenko, O. Levchenko

RESEARCH OF VIBRATION PROCESSES IN MACHINES OF HEAT-MOUNTAINS

Shipbuilding in the world is an industry that is developing quite dynamically with high capitalization. It should be noted that this is not only a valuable production, but also knowledge-intensive. During the construction of ships using the latest scientific methods in the field of materials science, navigation, power plants. It is known that vibration and shock accompany the work of many machines and mechanisms, reducing their reliability and durability, and also adversely affect human health. A particularly serious situation in the field of vibration protection has developed on watercraft.

The development of modern ship power plants is associated, on the one hand, with an increase in the power of mechanisms, which in many cases are sources of intense noise and vibration, and on the other hand, with the significant use of precision instruments and apparatuses for various purposes, sensitive to vibration.

Thus, vibration protection is of considerable interest both to shipbuilders and to specialists in marine power plants, since vibration of the ship's hull and its individual elements can cause fatigue cracks in the ship's hull, disrupt the normal operation of ship equipment and various measuring instruments installed on board the vessel, create negative conditions for the stay of passengers and crew on board for a relatively long time.

Currently, the issue of vibration reduction occupies a certain place in the science and practice of shipbuilding. All vessels are tested for vibration and noise activity. Attention is paid to systems for reducing the activity of vibration and noise sources. In addition, the design methods provide for a significant reduction in vibration already at the stage of the specification due to the special location of the premises relative to the sources of vibration and noise, a rational choice of the housing design, the thickness of the sheathing sheets and the like.

Of considerable scientific interest are methods for calculating vibrational forces and moments for the development of reasonable recommendations for changes in the design of ships to obtain acceptable indicators. Another important task is the development of criteria for assessing the vibration protection of ships, which can be used both in shipbuilding and in the implementation of measures to modernize the existing fleet.

Constructive improvement of elastic systems, which leads to a decrease in the vibration load of the hull, is a rather important scientific area, the development of which corresponds to the development of modern ideas about shipbuilding. Designing elastic systems for marine power plants is a rather laborious task and requires a certain degree of automation of calculations. When designing transport vessels with main low-speed diesel engines, one should take into account such features as their imbalance and layout, as well as interaction with hull structures.

Keywords: vibration, solid mechanics, elastic systems, shipbuilding, marine engines.

Мельник О.В., Сорока В.В., Гаталяк М.Я.

МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ТОКСИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

В статті проведено аналіз методів зниження токсичних компонентів відпрацьованих газів суднових дизелів та сформована узагальнююча таблиця.

Визначено, що захист навколишнього середовища останнім часом є глобальною проблемою людства. Постійне збільшення споживання вуглеводних палив і викидів в атмосферу шкідливих речовин від їх використання викликає порушення природного процесу самоочищення біосфери і є загрозу життя людини. Для зупинки даного процесу, підписані міжнародні угоди, прийняті державні постанови і програми захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів.

Найбільш небезпечними компонентами відпрацьованих газів суднових дизельних двигунів фахівці більшості країн і співробітники Комітету з захисту морського середовища ІМО вважаються оксиди азоту NO_x і оксиди сірки SO_x . З огляду на специфіку суднових дизельних двигунів більшістю країн нормуються тільки викиди оксидів азоту, що знаходяться в складі відпрацьованих газів, а так само накладається обмеження на вміст сірки в суднових паливах, унаслідок чого відбувається зростання цін на паливо і збільшуються експлуатаційні витрати.

Зроблено висновок, що розробка заходів із зменшення токсичності відпрацьованих газів може проводитися по таких напрямках: удосконалювання конструкції двигуна, урахування експлуатаційних факторів з корегуванням регульовальних параметрів дизельного двигуна, застосування альтернативних видів палива. Ідентифіковано, що найбільш перспективні рішення в області мінімізації викидів суднових дизельних двигунів можна відобразити наступними напрямками наукових досліджень і технологічних розробок: адаптація конструкції двигуна; оптимізація роботи паливної апаратури; використання каталізаторів виборчої нейтралізації; використання водопаливних емульсій.

Доведено, що найбільш прийнятними методами є удосконалення робочого процесу дизеля (на його користь свідчать наступні показники: низькі початкові витрати, пов'язані в основній своїй масі з модернізацією окремих компонентів двигуна, практично незмінними експлуатаційними витратами і низький рівень технічного ризику) та використання водопаливних емульсій.

Ключові слова: відпрацьовані гази, водний транспорт, водопаливна емульсія, екологічність, конструкція, судовий дизель.

Постановка проблеми. Захист навколишнього середовища останнім часом є глобальною проблемою людства. Постійне збільшення споживання вуглеводних палив і викидів в атмосферу шкідливих речовин від їх використання викликає порушення природного процесу самоочищення біосфери і є загрозу життя людини. Для зупинки даного процесу, підписані міжнародні угоди, прийняті державні постанови і програми захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів.

У країнах Європейського Союзу нормування викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ) автомобільних дизелів здійснюється відповідно до правил Європейської екологічної комісії (ЄЕК) ООН № 49. За минулі роки ці правила неодноразово піддавалися істотному корегуванню, як за переліком нормованих

шкідливих речовин, так і за жорсткістю їх нормативів. Згідно Євро-5 (діють з 2008 року) значення питомих викидів оксидів азоту з ВГ дизельних двигунів не повинне перевищувати 2 г/ (кВт·год) Тобто, у порівнянні з Євро-3 (діють з 2000 року) вимоги до значення питомих викидів оксидів азоту стали більш жорсткими на 250 %.

Завдяки високій енергетичній ефективності дизельні двигуни в даний час витиснули інші типи енергетичних установок на судах морського та річкового флоту і у близькому майбутньому вони збережуть домінуюче положення.

Працюючий дизельний двигун є інтенсивним джерелом акустичного, теплового і хімічного забруднення навколишнього середовища. Проблема скорочення викидів забруднюючих речовин працюючим дизельним двигуном є однією з найважливіших задач, як судноплавства, так і дизелебудування, від рішення якої залежить стан здоров'я людини і збереження оточуючого середовища.

В даний час склалася ситуація, коли розвиток судових дизельних двигунів та їх конкурентоздатність визначаються головним чином розробкою технологічних рішень, що дозволяють знизити викиди шкідливих речовин до рівня зазначених вище екологічних вимог. Ці вимоги можуть бути досягнуті різними засобами.

Найбільш відомі в суднобудівній галузі способи зниження викидів оксидів азоту, такі як селективне каталітичне відновлення і рециркуляція ВГ мають серйозні недоліки – це значне ускладнення конструкції та збільшення витрати палива. Ріст цін на паливо змушує суднобудівні компанії шукати такі методи, що одночасно забезпечують зниження викидів оксидів азоту без помітного погіршення паливної економічності дизельного двигуна.

Серед таких методів заслуговують на особливу увагу ті, які спрямовані на удосконалювання робочого процесу шляхом впливу на термодинаміку горіння палива в циліндрі двигуна внутрішнього згорання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зазначені питання висвітлені в працях таких учених, як: А.С. Лишевский, М.М. Іванченко, А.С. Орлін, А.С. Курников, М.Р. Петриченко, М.О. Іващенко, Н.Ф. Разлейцев, О.Г. Красовський, Г.В. Тринклер, І.І. Вибє, В.І. Гріневецький, Г.В. Кулешов, М.А. Горбанів, В.В. Мержиєвський, І.Л. Захаров, Ю.І. Воржев, В.І. Смайлис та ін.

Незважаючи на значну кількість дослідницьких робіт зі зниження шкідливих викидів відпрацьованих газів (ВГ), дане питання залишається актуальним, при цьому важливими факторами також є вартість обладнання, а також вартість і енерговитрати на його експлуатацію, складність обслуговування в судових (рейсових) умовах. Також гостро стоїть питання про збереження експлуатаційних та економічних показників дизельного двигуна при збільшенні його екологічності.

Метою дослідження є узагальнення підходів та методів зниження вмісту токсичних компонентів відпрацьованих газів судових дизелів.

Основні результати дослідження. Морський транспорт – один з найважливіших компонентів суспільного й економічного розвитку, що поглинає значну кількість ресурсів і робить серйозний вплив на навколишнє середовище [10].

Одним з найбільш важливих вимог, що у даний час пред'являються до судових енергетичних установок – є безумовне виконання Міжнародних екологічних норм. Дана вимога часто ставиться на перше місце в переліку основних напрямках розвитку світового двигунобудування.

Перші Міжнародні норми, що обмежують викиди шкідливих речовин з ВГ судових дизелів були прийняті 26 вересня 1997 року Міжнародної Морської Організації (ІМО) на "Міжнародній Конвенції по запобіганню забруднення із судів" (МАРПОЛ 73/78). Цей директивний документ набрав сили 1 січня 2000 р.

Складовою частиною Додатка VI МАРПОЛ 73/78, є "Технічний Кодекс по викидам окислів азоту від судових двигунів". У цьому документі нормуються питоми середньозважені викиди забруднюючих речовин, які містяться у ВГ.

У США охорону атмосферного повітря здійснює United States Environment Protection Agency (USEPA) – Агентство по захисту навколишнього середовища".

У країнах ЄС, для суднових дизелів річкового флоту, контроль за викидами шкідливих речовин в атмосферне повітря здійснює "Рейнська Комісія" (RCINC). Ця Комісія у свою чергу підпорядковується "Європейському Агентству Навколишнього Середовища" (ЕЕА).

Норми забруднення, встановлені Агентством ЕЕА, також відповідають Міжнародному стандарту ДСТУ ISO 8178-4-2013 «Двигуни внутрішнього згоряння поршневі. Вимір викиду продуктів згоряння».

З 2009 року набрав сили Європейський стандарт "Граничного рівня викидів для Європейських водних шляхів" (Stage III A).

Існують також вимоги технічного Кодексу Додатка VI Матеріалів "Міжнародної Конвенції МАРПОЛ 73/78".

У 2016 р. Правилами МАРПОЛ 73/78 у зонах контрольованих викидів до яких відносяться Північноамериканське узбережжя Канади, США, а з 2021 р. - Балтійське, Північне море і ряд районів Китайського узбережжя вводяться в дію норми Tier 3, що передбачають подальше скорочення викидів оксидів азоту на 80 %.

У перспективі, для світового суднобудування поставлена задача досягти скорочення концентрації шкідливих (забруднюючих) речовин у ВГ дизелів, до таких показників, які характеризуються як "практично нульові викиди".

Проблема скорочення викидів шкідливих речовин від суднових дизельних двигунів цікавить багатьох вітчизняних і закордонних вчених, які ставлять перед собою мету не тільки вивчити причини, але і знайти шляхи її рішення.

Розроблені способи зниження викидів токсичних компонентів ВГ розділяються на первинні і вторинні (рис. 1). Первинні методи пов'язані з організацією процесів сумішоутворення і згоряння, удосконаленням системи впорскування палива, а так само використанням альтернативних видів палива. До вторинних методів відносяться: рециркуляція ВГ газів, каталітичне очищення газів.



Рисунок 1 – Класифікація основних способів зниження викидів токсичних компонентів ВГ судових дизелів

Таким чином, розробка заходів щодо зменшення токсичності ВГ може проводитися по наступних основних напрямках [8]: удосконалювання конструкції двигуна, урахування експлуатаційних факторів з корегуванням регулювальних параметрів дизельного двигуна, застосування альтернативних видів палива.

Удосконалення конструкції двигуна полягає у наступних заходах (рис. 2):

- оптимізація сумішоутворення;
- вибір робочого обсягу і ступеня стиску;
- урахування рівня форсування дизеля;
- вибір параметрів повітряного заряду та системи охолодження;
- оптимізація процесу паливостачання;
- удосконалення систем повітропостачання, газорозподілу, рециркуляції ВГ;
- застосування системи очищення ВГ.

На даний час на задоволення потреб сучасного суднобудування орієнтовані багато дизелебудівних фірм, такі як MAN D & T (Німеччина), Мак, Caterpillar, GME (США), Wartsila (Фінляндія), Iveco (Італія), Mitsubishi, Daihatsu (Японія) і інші. Великі дизелебудівні фірми вже довгий час ведуть розробки в галузі зниження емісії шкідливих речовин ВГ силових установок, морських судів. При цьому найбільш перспективні рішення в області мінімізації викидів судових дизельних двигунів можна відобразити наступними напрямками наукових досліджень і технологічних розробок:

- адаптація конструкції двигуна;
- оптимізація роботи паливної апаратури;
- використання каталізаторів виборчої нейтралізації;
- використання водопаливних емульсій (ВПЕ) [5].



Рисунок 2 – Методи удосконалення конструкції двигуна

До технологічних і технічних заходів, що сприяють зниженню токсичності ВГ дизелів, необхідно віднести наступні:

1. Зменшення кута випередження впорскування палива приводить до зниження окислів азоту, але спричиняє деяке збільшення питомої витрати палива.

2. Збільшення числа соплових отворів розпилювача форсунки з одночасним зменшенням їх діаметра призводить до більш однорідного розпилювання палива та поліпшення сумішоутворення, у результаті чого зміст окислів азоту падає.

3. Зменшення температури надувального повітря з одночасним збільшенням його тиску і коефіцієнта надлишку повітря приводить до зниження викидів оксидів азоту.

4. Застосування рециркуляції (перепуску) частини ВГ, через охолоджувач у впускний трубопровід. Продуктивність використання способу полягає в тому, що в газах утримується водяна пара, яка має більшу теплоємність, ніж повітря. У результаті відбувається зменшення температури полум'я усередині камери згоряння і тим самим зниження викидів окислів азоту.

5. Використання ВПЕ. Вода, яка утримується в паливі, при прогріві в циліндрі перетворюється в парові пухирці, що миттєво дроблять паливні краплі на дрібні частки. Частки палива, перемішуючись з киснем повітряного заряду, прискорено згоряють. Додавання до палива 5-10% води прискорює процес згоряння в 5-6 разів. У результаті скорочується витрата палива і вміст викидів окислів азоту і сірки. Для приготування ВПЕ використовуються змішувачі-диспергатори різної конструкції (дросельні, ультразвукові, кавітаційні, роторно-пульсаційні та інші).

6. Попередня обробка палива. У сучасних системах паливо-підготовки для покращення якісних характеристик важких сортів палива застосовуються гомогенізатори - апарати для одержання однорідних сумішей. У процесі обробки палива в гомогенізаторах негорючі з'єднання (смоли, залізні згущення, механічні домішки), що входять до його складу, розриваються під впливом ультразвукових коливань, подрібнюються та інтенсивно перемішуються в паливі вихровим потоком. Це приводить до зменшення в'язкості палива, температури спалаху, зменшенню нагароутворення, скороченню викидів окислів азоту і сірки.

7. Застосування нейтралізаторів для очищення ВГ. При використанні даного методу ВГ змішуються з аміаком перед пропусканням через каталізатор при температурі близько 400 °С. У каталізаторі окисли азоту перетворюються в N₂ і водяну пару, що дозволяє знизити вміст окислів азоту на 95%.

8. Переведення роботи двигуна на природний газ. Однак даний спосіб вимагає значних витрат на модернізацію двигуна (так, збільшення вартості навіть незначної модифікації дизеля середньої потужності в порівнянні з базовою може досягати до 5 тис долл. США).

9. Використання комплексного пристрою очищення ВГ. На рисунку 3 наведена конструкція пристрою для комплексного очищення ВГ судового дизеля. Спосіб комплексного очищення включає змішування ВГ з озоном у змішувальній камері, де частково відбувається окислювання шкідливих компонентів (NO_x, SO_x, CO_x), очищення від вищезгаданих шкідливих компонентів у камері очищення, де газова суміш проникає через отвори в стінках адсорбційних перфорованих секцій, і контактує з гранулами жувільної пемзи діаметром від 5 до 10 мм, виготовленої з основних металургійних шлаків, очищаючи при цьому від NO_x, SO_x, CO_x. В подальшому очищені до необхідного ступеня ВГ викидаються в атмосферу, а глушіння їх шуму відбувається одночасно з процесом очищення шляхом поглинання звуку високопористою структурою гранул шлаку.

ВГ змішуються з озоном без домішок оксидів азоту, окислювання більшої частини азоту, що утримувався у ВГ, монооксидів азоту (NO) до діоксидів (NO₂), діоксидів сірки (SO₂) до сірчаного ангідриду (SO₃) і монооксиду вуглецю (CO) до діоксида вуглецю (CO₂) здійснюється з витратою всього озону і конденсації деякої частини пари води в закрученому газовому потоці у змішувально-окисній камері, яка охолоджується абсорбентом. Абсорбція окислених шкідливих компонентів і доокислення залишку

відбувається в кільцевій порожнині абсорбційної камери, яка охолоджується зовнішнім повітрям, що омиває зовнішню оребрену поверхню блоку очищення від NO_x , абсорбційною водою зверху з кільцевого розприскувача цього пристрою, абсорбційна вода при контакті з ВГ поглинає утворені оксиди NO_2 , SO_2 , мілкодисперсні частки (сажа та ін.), у результаті чого у ВГ, залишається, в основному, CO_2 .

Після чого очищені від NO_x охолоджені ВГ надходять в адсорбер, де проходять через адсорбційні секції, заповнені гранулами жувільної пемзи та очищуються від більшої частини CO_2 і залишків NO_x у результаті їх адсорбції вищезгаданими гранулами жувільної пемзи з утворенням легкокорозивних у воді NO_2 та SO_3 , що взаємодіють з частками води, які утворюються в порах гранул у результаті капілярної конденсації пари води, що знаходяться в ВГ з утворенням відповідних кислот HNO_3 , H_2SO_4 і H_2CO_3 .

Очищені ВГ проходять через крапельвідбійник, звільняються від води і викидаються в атмосферу, а кислий конденсат та абсорбційна вода з блоку очищення від NO_x , промивна вода з адсорбера, насичені кислотними компонентами і шламом, стікають у колектор кислої води. При цьому одночасно з процесом очищення ВГ відбувається глушіння їх шуму шляхом приміщення змішувально-окисної камери усередину корпусу блоку очищення від NO_x .

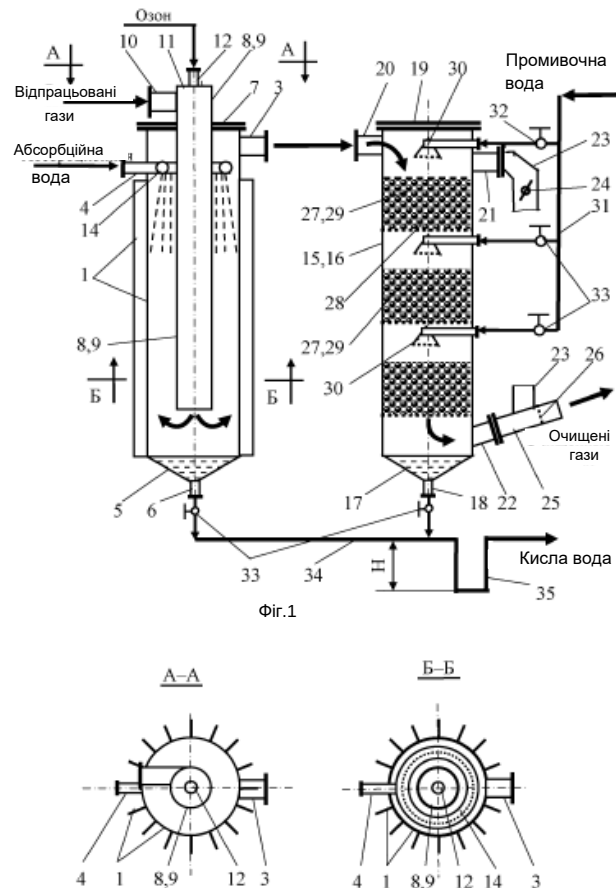


Рисунок 3 - Конструкція пристрою для комплексного очищення ВГ суднового дизельного двигуна

Пристрій для здійснення способу комплексного очищення ВГ суднового двигуна містить корпус, укомплектований кришкою і днищем, газовими патрубками, озоновим патрубком, з'єднаним з розподільником озону, штуцери подачі промивної води, з'єднані з розподільниками промивної води, штуцери зливу забрудненої води, змішувально-окисну камеру, адсорбер, у якому встановлені перфоровані ємності, заповнені

адсорбентом – гранулами пемзи, виготовленої з металургійних шлаків з модулем основності $M > 1$ та діаметром гранул від 5 до 10 мм.

Змішувально-окисна камера розміщена усередині блоку очищення від NO_x , яка виконана з корозійностійкого матеріалу з високою теплопровідністю, що складається з:

- порожнього вертикального циліндричного oreбренного зовні корпусу з патрубком виходу вихлопних газів і штуцером абсорбційної води у своїй верхній частині;
- конічним днищем зі зливальним штуцером;
- знімною верхньою кришкою, через яку пропущена циліндрична труба змішувально-окисної камери з тангенціальним патрубком входу ВГ, розташованим у її верхній частині, закрита зверху заглушкою з озоновим патрубком, з'єднаним з кисневим озонатором, абсорбційної камери, розташованим у кільцевій порожнині, утвореній зовнішніми стінками блоку очищення від NO_x і циліндричної труби змішувально-окисної камери.

Адсорбер складається з вертикального циліндричного корпусу з конічним днищем зі зливальним штуцером і знімною кришкою, патрубком входу ВГ, з'єднаним з патрубком виходу ВГ, очищення від NO_x , байпасним патрубком, розташованим у верхній частині корпусу адсорбера, патрубком виходу очищених ВН, розташованого в нижній частині корпусу адсорбера під кутом, що дорівнює або більше кута природного скосу води α , з'єднаним з байпасним трубопроводом, який комплектується клапаном і трубопроводом виходу очищених ВГ з краплевідбійником.

Усередині корпусу адсорбера поміщені зверху – вниз по ходу ВГ адсорбційні секції, які складаються з горизонтальних опорних ґрат, покладених на опорні куточки і заповнені вищезгаданими гранулами пемзи, виготовленої з металургійних шлаків.

Над кожною адсорбційною секцією встановлені розподільники промивної води, з'єднані з колектором промивної води через вентиля, а зливальні штуцери блоку очищення від NO_x і адсорбера з'єднані з колектором кислої води, поставленим на виході гідрозатвором висотою Н.

Проведені дослідження різних методів зниження емісії шкідливих речовин з ВГ. Результати досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Порівняння різних методів зниження емісії шкідливих у відпрацьованих газах судових дизелів

	Базовий двигун	Удосконалення робочого процесу	Використання ВПЕ	Безпосереднє впорскування води	Каталізатор вибіркової нейтралізації
NO_x	12 г/(кВт год)	8 г/(кВт год)	9 г/(кВт год)	6 г/(кВт год)	2 г/(кВт год)
Сажа	100%	33 %	20 %	11.3 %	100%
Первинна вартість	100%	108%	115%	119%	139%
Вартість експлуатації	100%	100%	103 %	104%	116%
Фактор технічного ризику	Ні	Низький	Середній корозія	Середній корозія	Низький
Ринкова оцінка	-	Добра	Середня	Середня	Погана при морському застосуванні

Аналіз представлених у таблиці даних свідчить, що найбільша перевага може бути віддана рішенню, пов'язаному з удосконаленням робочого процесу. На його користь свідчать наступні показники: низькі початкові витрати, пов'язані в основній своїй масі з модернізацією окремих компонентів двигуна, практично незмінними експлуатаційними витратами і низький рівень технічного ризику.

Суднові дизелі у зв'язку зі специфіку організації робочого процесу, мають свої особливості по складу ВГ у порівнянні з двигунами внутрішнього згоряння інших типів. У ВГ судових дизелів мало продуктів неповного згоряння палива (монооксид вуглецю CO і незгорілих вуглеводнів C_xH_y), але при цьому мається значна кількість окислів азоту NOx і окислів сірки SOx, твердих часток.

Головна особливість ВГ судових дизелів складається в наявності в них окислів азоту NOx і твердих часток, унаслідок того, що утворенню цих токсичних компонентів сприяють антагоністичні фактори – неможливо отримати одночасно абсолютний мінімум емісії та окислів азоту NOx і твердих часток методами узгодження параметрів дизеля, можна говорити тільки про досягнення деякого оптимуму.

При введенні міжнародних норм на викид екологічно шкідливих речовин виникає необхідність вибрати досить ефективний метод їх зниження.

З огляду на викладене вище, боротьбу з викидом нормованих Конвенцією МАРПОЛ токсичних речовин доцільно вести первинними методами, впливаючи на робочі процеси дизельного двигуна таким чином, щоб зменшити кількість шкідливих речовин, які утворюються в циліндрах.

Первинні методи можна розділити на чотири групи:

- потребуючі зміни конструкції дизеля або окремих його елементів,
- реалізовані при розробці нових дизелів (удосконалювання системи впорскування і сумішоутворення дизеля, системи турбонадуву; вибір оптимального газорозподілу ступеня стиску, частоти обертання колінчатого вала; організація вихрового руху заряду в камері згоряння та ін);
- не потребуючої істотної зміни конструкцій, реалізація яких
- можлива при незначній модернізації дизеля (зміна фаз паливоподачі та інші).

Вторинні методи спрямовані на видалення шкідливих викидів з ВГ і здійснюються поза циліндром дизельного двигуна (рециркуляція частини ВГ, зволоження робочої суміші, каталітичне очищення ВГ, очищення від кислотних оксидів).

Висновки. Жорсткість вимог до екологічних показників судових дизельних двигунів, до складу і концентрації шкідливих речовин у викидах ВГ на сьогоднішній день є одним з головних напрямків у системі організаційно-технічних заходів, націлених на мінімізацію шкідливого впливу судових енергетичних установок на навколишнє середовище.

Стандарти і технічні регламенти як України, так і інших країн приймаються, виходячи з вимог захисту навколишнього середовища, специфіки економічних показників, з урахуванням думки вчених, економістів, промисловців і навіть політиків.

Ступінь небезпеки і присутність токсичних і канцерогенних речовин у складі ВГ є одними з основних параметрів при виборі нормованих компонентів шкідливих викидів.

Найбільш небезпечними компонентами ВГ судових дизельних двигунів фахівці більшості країн і співробітники Комітету з захисту морського середовища ІМО вважаються оксиди азоту NOx і оксиди сірки SOx. З огляду на специфіку судових дизельних двигунів більшістю країн нормуються тільки викиди оксидів азоту, що знаходяться в складі ВГ, а так само накладається обмеження на вміст сірки в судових паливах, унаслідок чого відбувається зростання цін на паливо і збільшуються експлуатаційні витрати.

Доведено, що найбільш прийнятними методами є удосконалення робочого процесу дизеля та використання ВПЕ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Варбанец Р.А. Влияние системы VIT на характер рабочего процесса малооборотных дизелей MAN B&W серии MC / Р.А. Варбанец, Ю.Н. Кучеренко, А.И. Головань, Н.И. Александровская // Авиационно-космическая техника и технология. 2013. № 10. С. 161-165.
2. Васькевич Ф.А. Двигатели внутреннего сгорания. Теория, эксплуатация, обслуживание. Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф.Ушакова, 2009. 266 с.
3. Возницкий И.В. Практика использования морских топлив на судах. СПб.: Моркнига, 2006. 124 с.
4. Возницкий И.В. Современные малооборотные двухтактные двигатели. Одесса: Изд-во ООО «Моркнига», 2007. 121 с.
5. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 1 / И.В. Возницкий, А.С. Пунда. Одесса: МОРКНИГА, 2010. 260 с.
6. Возницкий И.В. Топливная аппаратура судовых дизелей: Учебное пособие. Одесса: Изд-во ООО «Моркнига», 2007. 131 с.
7. Воронина Э.И. Лидарная система определения аварийных выбросов углеводородов в атмосферу / Э.И. Воронина, В.Е. Привалов, В.Г. Шеманин // Безопасность жизнедеятельности. 2003. № 9. С. 30-33.
8. Гедгаудас А. Определение выбросов оксидов азота двигателями морского парома в условиях эксплуатации / А. Гедгаудас, В. Смайлис, Р. Страздаускене // Двигателестроение. 2005. №4. С.33-38.
9. Голуб Є.С., Мадорський Є.З., Розенберг Г.Ш. Діагностування суднових технічних засобів: довідник. К.: Транспорт, 1993. 150 с.
10. Голубев І. Р. Навколишнє середовище і транспорт: Навчальний посібник/ І.Р. Голубев, Ю.В. Новиков. К.: Транспорт, 2009. 96 с.

REFERENCES

1. Varbanecz R.A. Vliyanie sistemy VIT na kharakter rabocheho proczessa malooborotnykh dizelej MAN B&W serii MC [Influence of the VIT system on the nature of the working process of low-speed MAN B&W diesel engines of the MC series] / R.A. Varbanecz, Yu.N. Kucherenko, A.I. Golovan, N.I. Aleksandrovskaya // Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. 2013. # 10. S. 161-165.
2. Vaskevich F.A. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Teoriya, ekspluataczija, obsluzhivanie [Internal combustion engines. Theory, operation, maintenance]. Novorossiysk: MGA imeni admirala F.F.Ushakova, 2009. 266 s.
3. Vozniczkij I.V. Praktika ispolzovaniya morskikh topliv na sudakh [The practice of using marine fuels on ships]. SPb.: Morkniga, 2006. 124 s.
4. Vozniczkij I.V. Sovremennye malooborotnye dvukhtaktnye dvigateli [Modern low-speed two-stroke engines]. Odessa: Izd-vo ООО «Morkniga», 2007. 121 s.
5. Vozniczkij I. V. Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniya [Ship internal combustion engines]. Tom 1 / I.V. Vozniczkij, A.S. Punda. Odessa: MORKNIGA, 2010. 260 s.
6. Vozniczkij I.V. Toplivnaya apparatura sudovykh dizelej: Uchebnoe posobie [Fuel equipment of marine diesel engines: Textbook]. Odessa: Izd-vo ООО «Morkniga», 2007. 131 s.
7. Voronina E.I. Lidarnaya sistema opredeleniya avarijnykh vybrosov uglevodorodov v atmosferu [Lidar system for determination of emergency hydrocarbon emissions into the atmosphere] / E.I. Voronina, V.E. Privalov, V.G. Shemanin // Bezopasnost` zhiznedeyatel`nosti. 2003. # 9. S. 30-33.
8. Gedgaudas A. Opredelenie vybrosov oksidov azota dvigatelej morskogo paroma v usloviyakh ekspluataczii [Determination of nitrogen oxide emissions of sea ferry

- engines under operating conditions] / A. Gedgaudas, V. Smajlis, R. Strazdauskene // Dvigatelsestroenie. 2005. #4. S.33-38.
9. Golub Ye.S., Madorskiy Ye.Z., Rozenberg G.Sh. Diagnostuvannya sudnovikh tekhnichnikh zasobiv: dovidnik [Diagnosis of ship technical means: reference book]. K.: Transport, 1993. 150 s.
 10. Golubyev I. R. Navkolishnye seredovishhe i transport: Navchalnij posibnik [Environment and transport: Textbook] / I.R. Golubyev, Yu.V. Novikov. K.: Transport, 2009. 96 s.

Мельник А.В., Сорока В.В., Гаталяк М.Я.

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ СУДОВЫМ ДИЗЕЛЯМ

В статье проведен анализ методов снижения токсичных компонентов отработавших газов судовых дизелей и сформирована обобщенная таблица.

Определено, что защита окружающей среды в последнее время является глобальной проблемой человечества. Постоянное увеличение потребления углеводородных топлив и выбросов в атмосферу вредных веществ от их использования вызывает нарушение естественного процесса самоочищения биосферы и является угрозой жизни человека. Для остановки данного процесса, подписанные международные соглашения, принятые государственные постановления и программы защиты окружающей среды от вредных выбросов.

Наиболее опасными компонентами отработавших газов судовых дизельных двигателей специалисты большинства стран и сотрудники Комитета по защите морской среды ИМО считаются оксиды азота NOx и оксиды серы SOx. Учитывая специфику судовых дизельных двигателей большинством стран нормируются только выбросы оксидов азота, которые находятся в составе отработавших газов, а так же накладывается ограничение на содержание серы в судовых топливах, в результате чего происходит рост цен на топливо и увеличиваются эксплуатационные расходы.

Сделан вывод, что разработка мероприятий по уменьшению токсичности отработавших газов может проводиться по следующим направлениям: совершенствование конструкции двигателя, учета эксплуатационных факторов с корректировкой регулировочных параметров дизельного двигателя, применение альтернативных видов топлива. Идентифицировано, что наиболее перспективные решения в области минимизации выбросов судовых дизельных двигателей можно отобразить следующим направлениям научных исследований и технологических разработок: адаптация конструкции двигателя; оптимизация работы топливной аппаратуры; использование катализаторов избирательной нейтрализации; использование водотопливных эмульсий.

Доказано, что наиболее приемлемыми методами является усовершенствование рабочего процесса дизеля (в его пользу свидетельствуют следующие показатели: низкие первоначальные затраты, связанные в основной своей массе с модернизацией отдельных компонентов двигателя, практически неизменными эксплуатационными затратами и низкий уровень технического риска) и использования водотопливных эмульсий.

Ключевые слова: отработанные газы, водный транспорт, водотопливных эмульсия, экологичность, конструкция, судовой дизель.

Melnik A.V., Soroka V.V., Gatalyak M.Y.

**METHODS FOR REDUCING THE CONTENT OF TOXIC COMPONENTS IN
WASTE GASES MARINE DIESEL**

The article analyzes the methods of reducing the toxic components of the exhaust gases of marine diesels and generates a summary table.

It has been determined that the protection of the environment has recently become a global problem of mankind. The constant increase in the consumption of carbohydrate fuels and emissions of harmful substances from their use causes a violation of the natural process of self-purification of the biosphere and is a threat to human life. To stop this process, international agreements have been signed, state resolutions and programs to protect the environment from harmful emissions have been adopted.

The most dangerous components of the exhaust gases of marine diesel engines are considered to be NO_x nitrogen oxides and SO_x sulfur oxides. Given the specifics of marine diesel engines, most countries regulate only the emissions of nitrogen oxides contained in the exhaust gases, as well as restrictions on the sulfur content in marine fuels, resulting in rising fuel prices and increased operating costs.

It is concluded that the development of measures to reduce the toxicity of exhaust gases can be carried out in the following areas: improving the design of the engine, taking into account operational factors with adjusting the control parameters of the diesel engine, the use of alternative fuels. It is identified that the most promising solutions in the field of minimizing emissions of marine diesel engines can be reflected in the following areas of research and technological development: adaptation of engine design; optimization of fuel equipment; use of catalysts for selective neutralization; use of water-fuel emulsions.

It is proved that the most acceptable methods are to improve the working process of the diesel engine (in its favor the following indicators: low initial costs associated mainly with the modernization of individual engine components, virtually constant operating costs and low technical risk) and the use of water fuel emulsions.

Key words: exhaust gases, water transport, water fuel emulsion, environmental friendliness, construction, marine diesel.

Урум Н.С., Шапіро Г.В., Максименко Л.А., Маларьова Н.О.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЗГОРЯННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА В СУДНОВИХ ДИЗЕЛЯХ

Останнім часом усе більш широке поширення одержують альтернативні біопалива на основі рослинних олій (рапсових, соєвого, соняшникового, арахісового, пальмового) та їх похідних. Інтенсивні роботи з переведення дизелів на біопаливо ведуться як у країнах з обмеженим енергетичним потенціалом, так і в країнах з великими запасами нафтового палива, а також у високорозвинених країнах, що мають фінансову можливість придбання нафтових енергоносіїв.

На даний час у Європі (Німеччина, Франція, Австрія й ін. країни) щорічно виробляється більш 1,5 млн. т біопалива. Це - сумішеве біопаливо, що містить до 10 % складного метилового ефіру, який отримується з рапсової олії.

Аналіз ефективності виробничо-господарської діяльності підприємств водного транспорту свідчить, що середній рівень рентабельності їх основних послуг не високий. Отже, існує необхідність пошуку резервів підвищення ефективності перевезень і роботи транспортного флоту. Одним з напрямків наукового пошуку є економічна оцінка використання ресурсів і, насамперед, палива в компанії для досягнення корисного результату в діяльності. Проблема пошуку та оцінки ресурсозберігаючих технологій роботи транспортних судів є актуальною. Особливу гостроту їй додає ситуація на ринку енергоносіїв за умови постійного коливання цін на паливо. Резерви для зменшення витрат на паливо полягають у нормуванні ходових операцій, виборі оптимальних режимів роботи двигунів на різних ділянках рейсу, виборі швидкості, що з одного боку забезпечить своєчасне виконання транспортної операції – а з іншого дозволить отримати економію у витраті палива. Дослідження полягає у можливості доведення отриманих теоретичних положень до практичних рекомендацій та безпосередньо пристроїв та обладнання, які дозволять використовувати альтернативні види палива з метою підвищення екологічних та енергетичних характеристик судових двигунів.

Ключові слова. *паливо, двигуни, ресурсозберігаючі технології, дизельне паливо, транспортний флот*

Постановка проблеми. Виробництво різних марок дизельного палива (ДП) з більш низькокиплячих фракцій нафти веде до зниження його цетанового числа (ЦЧ), а також до збільшення діапазону в'язкості палива, що у свою чергу впливає на роботу паливної апаратури. Однак ці палива краще з погляду вмісту сірки. З іншого боку, збільшення частки більш висококиплячих сортів нафти в загальному її видобутку може привести до відповідного збільшення вмісту сірки, появи металів (таких як ванадій та ін.) й збільшенню змісту твердих часток і сажі у відпрацьованих газах (ВГ), що вплине на екологічність двигуна. Для двигунів великої розмірності (особливо судових) негативним моментом стає зміна властивостей і підвищення концентрації шкідливих компонентів у залишкових нафтопродуктах.

Між перебудовою виробничих процесів у нафтопереробній промисловості, з одного боку, і обумовленими ними змінами в технічній політиці двигунобудівної промисловості мають численні взаємозв'язки, що вимагають створення єдиної концепції: вихідна сировина - паливо - двигун для отримання оптимального результату,

якого, на жаль, поки не існує. У ряді робіт проблему використання палива в двигунах пропонується розглядати в рамках 4-елементної системи: двигун - паливо - мастило - експлуатація. Раціональне використання палива може бути досягнуто наступними шляхами:

- за рахунок покращення якості палива з метою створення найбільш досконалого двигуна і підвищення ефективності його роботи;
- за рахунок модернізації двигуна з метою використання більш вигідних по вартості і ресурсам сортів палива;
- за рахунок одночасної зміни якості палива і модернізації двигуна.

Отже дослідження процесів згоряння альтернативних видів палива у судовому двигуні є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичної базою дослідження є роботи вітчизняних та закордонних авторів: Аникин С.А., Бажайкин А.Н., Бесчаров Е.Н., Вагнер В.А., Войнов А.Н., Гаврилов Б.Г., Гвоздев, Гладков О.А., Armstrong G., Thorp J. та багато інших [1-10].

Метою дослідження є підвищення екологічності та ефективності судових двигунів за рахунок використання альтернативних видів палива.

Основні результати дослідження. В економічній політиці всіх розвинених країн світу пріоритетним напрямком є різке збільшення обсягу науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт в галузі енергозбереження та екологічної безпеки, що станом на 2020 рік дозволяє створювати принципово нові двигуни та реалізувати ті наукові ідеї, які ще десять років тому вважалися практично фантастичними.

Значна частка виробленої у світі енергії (більш 30%) споживається транспортом. З цих тридцяти відсотків переважна більшість (майже 95%) приходить на енергію, яка отримується при спалюванні нафтових палив.

Одним з основних споживачів рідкого вуглеводного палива є водний транспорт, на якому дизелі є основним джерелом енергії. На судах морського та річкового флоту у дійсний час та на найближчу перспективу дизелі є основним джерелом енергії.

Показником енергетичної ефективності для суднової дизельної установки прийнято вважати питома ефективна витрата палива г/(кВт.год)

Іншим не менш важливою вимогою, що у даний час пред'являються до судових енергетичних установок – є безумовне виконання Міжнародних екологічних норм. Більш того, ця вимога іноді ставиться на перше місце в переліку основних напрямках розвитку світового двигунобудування.

Перші Міжнародні норми, що обмежують викиди шкідливих (забруднюючих) речовин з газами судових дизелів, що відробили, були прийняті 26 вересня 1997 року Міжнародної Морської Організації (ІМО) на "Міжнародній Конвенції по запобіганню забруднення із судів" (МАРПОЛ 73/78). Цей директивний документ набрав сили 1 січня 2000 р. [64-1].

Складовою частиною Додатка VI МАРПОЛ 73/78, є "Технічний Кодекс по викидах окислів азоту від судових двигунів". У цьому документі нормуються питомі середньозважені викиди забруднюючих речовин, що утримуються в газах дизелів, що відробили.

У США охорону атмосферного повітря здійснює "Агентство по Захисту Навколишнього Середовища" (USEPA). У країнах ЄЕС, для судових дизелів річкового флоту, контроль за викидами шкідливих речовин в атмосферне повітря здійснює "Рейнська Комісія" (RCINC). Ця Комісія у свою чергу підкоряється "Європейському Агентству Навколишнього Середовища" (ЕЕА) [47]. Тут також слід зазначити, що норми забруднення, встановлені Агентством ЕЕА, також відповідають Міжнародному стандарту ISO 8178 "ДВЗ. Вимір емісії шкідливих речовин" [1].

З 2009 року набрав сили Європейський стандарт «Граничного Рівня Викидів для Європейських Водних Шляхів» (Stage III A).

Минула в Лондоні з 6 по 10 жовтня 2008 р. 58 сесія Комітету з Захисту Морського Середовища (МЕРС) Міжнародної Морської Організації (ІМО) прийняла нову редакцію "Правил Запобігання Забруднень із Судів", що корегують положення Додатка VI МАРПОЛ 73/78. Відповідно до прийнятого плану до 01 січня 2011 року введена чергова жорсткість кількості шкідливих викидів, що допускається, відповідно до міжнародних норм Tier 2.

У 2016 р. Правилами МАРПОЛ 73/78 у Зонах Контрольованих Викидів до яких відносяться Північноамериканське узбережжя Канади, США, Балтійське, Північне море і ряд районів Китайського узбережжя введені в дію норми Tier 3, що передбачають скорочення викидів оксидів азоту на 80 % [2].

На рис. 1. представлена динаміка жорсткості норм шкідливих викидів судовими дизелями в новій редакції Додатка VI Матеріалів Міжнародної Конвенції МАРПОЛ 73/78.

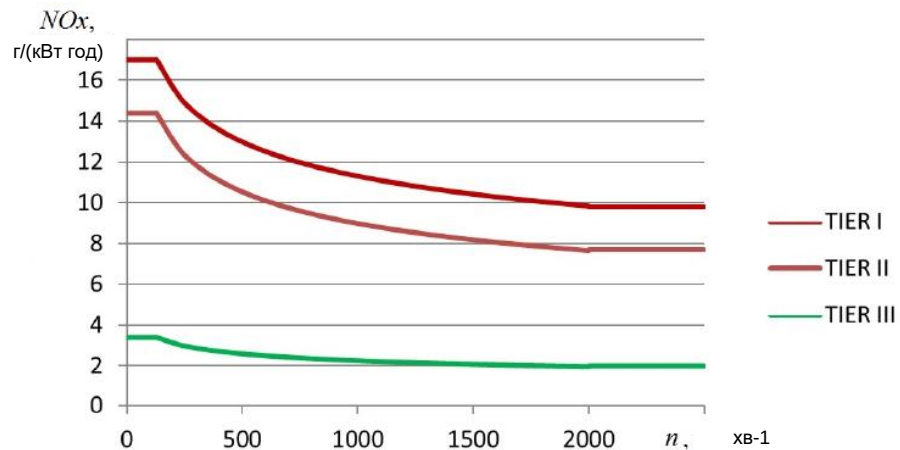


Рисунок 1 - Залежність граничних значень питомих середньозважених викидів оксидів азоту від частоти обертання колінчатого валу

Зменшення витрати палива двигуном лежить в сфері його енергоефективності. Показником енергетичної ефективності судових дизельних енергетичних установок є питома ефективна витрата палива.

Сучасні судові ДВЗ відрізняє велика розмаїтість конструкцій та наявність додаткових механізмів, що у свою чергу збільшують механічні втрати і значно підвищують витрату палива. Для того, щоб при порівнянні енергетичної ефективності ці механічні втрати не враховувати в даному дослідженні будемо використовувати індикаторні показники.

Питома індикаторна витрата палива залежить тільки від якості здійснення робочого процесу і кількості теплових втрат. Робочий процес у дизелі, у загальному випадку, можна представити у виді окремих складових, які нерозривні, взаємозалежні та мають істотний взаємний вплив. До них відносяться процеси паливоподачі, сумішоутворення і згоряння.

Сучасна апаратура, яка подає паливо до транспортних дизелів є дуже складним і високотехнологічним обладнанням. У сучасних дизелях кількість вузлів і агрегатів, вироблених в Україні не перевищує 10-20 %. При цьому частка імпортованих комплектуючих збільшилася до 80-90 %. До них у першу чергу до них відносяться апаратура для подачі палива, агрегати наддування і системи управління. Тому границі даних досліджень обмежимо тільки областю удосконалювання процесів сумішоутворення і згоряння.

Перші кроки в напрямку переведення морського транспорту на більш екологічні види палива світове співтовариство зробило в 2010 р., коли додатком VI МАРПОЛ

73/78 ІМО були встановлені особливі райони контролю викидів сірки - зони SECA (Sulfur Emission Control Areas). У цих зонах, куди на сьогоднішній день входять акваторії Північного і Балтійського морів, проливши Ла-Манш, Карибське море і 200-мильні зони США і Канади, уведена заборона на використання високосернистого палива: з липня 2010 р. рівень вмісту сірки в паливі був обмежений 1 %, а з 1 січня 2020 р. - 0,5 % [3].

Однак ще до настання цього строку Міжнародна конвенція по запобіганню забруднення із судів посилила вимоги з вмісту сірки в судновому паливі до 0,1 % по масі в зоні спеціального екологічного контролю SECA, ввівши в дію обмеження з 1 січня 2015 року.

Розрізняють важкі та легкі суднові палива. Важкі: Residual Fuel; Intermediate Fuel Oil (IFO); флотський мазут марок Ф-5 і Ф-12. Легкі палива (дистиляти): Distillate Fuel, MDO (DMB) - дизельне паливо з вмістом сірки до 0,5-2,0 % (Marine Diesel Oil); суднове малов'язке паливо.

До легких також відносять газомоторне паливо: MGO (DMA) - газойль, дизпаливо з вмістом сірки до 0,1 %, у діапазоні 0,1-0,5 % (Marine GasOil); зріджені вуглеводні гази. У виробництві палив категорії ULSFO, Ultra Low Sulfur Fuel Oil - RMD 80 (RMB 30) використовуються як легкі, так і важкі компоненти. Максимальний вміст сірки - 0,1 % [17].

Загальна витрата палива для бункерування морських судів (мазут, газойль, дизпаливо й інші низькосернисті дистиляти) складає близько 5,3 млн. барелей у добу. До 2021 р. загальний обсяг попиту на морське бункерне паливо досягне 5,8 млн барелей на добу [2-3].

Дослідимо особливості робочого процесу дизеля Ч 10,5/12 зі штатним і дослідним теплоізолюваним профільованим поршнем при роботі на рослинній олії.

Для випробувань була використана доступна харчова соняшникова рослинна олія. Унаслідок підвищення щільності і в'язкості рослинної олії варто очікувати погіршення характеристик розпилювання. Порівняємо характеристики розпилювання, отримані для дизельного палива і рослинної олії. На рис. 2 приведені результати розрахунку сумарної, а на рис. 3. диференціальна характеристика розпилювання. На даних рисунках позначено: Ω – відношення об'єму краплі, що має діаметри від мінімального до даного до сумарного об'єму всіх крапель; dk – діаметр крапель, $d\Omega/dk$ – щільність розподілу імовірності краплі даного діаметра.

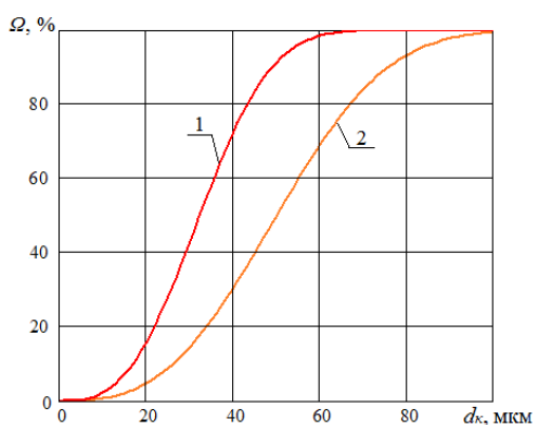
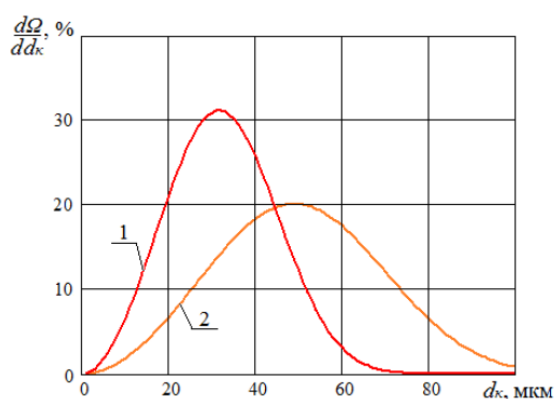


Рисунок 2 – Сумарна характеристика впорскування: 1 - дизельне паливо; 2 - рослинна олія



dk – діаметр крапель

Рисунок 3 – Диференціальна характеристика розпилювання: 1 - дизельне паливо, 2 - рослинна олія

З рис. 2 та 3 видно, що на рослинній олії розпилювання стає більш грубим, діаметр крапель збільшився більш ніж у 1,5 рази. Значить і період дифузійного горіння розпиленої рослинної олії повинен збільшитися.

Це підтверджується результатами випробувань.

На рис. 4 приведені результати порівняльних випробувань дизеля зі штатним поршнем при роботі на дизельному паливі і рослинній олії. З рис. 4 видно, що при переведенні з дизельного палива на рослинну олію спостерігається збільшення питомої індикаторної витрати палива на 13-15 %, концентрації монооксиду вуглецю на 21-37 %, і сумарних вуглеводнів на 8-12%.

Температура ВГ збільшилася на 5-7 градусів. Вміст оксидів азоту зменшилося на 350-450 ppm. Димність ВГ знизилася незначно (у межах помилки виміру приладу).

Збільшення питомої індикаторної витрати палива пояснюється тим, що рослинна олія має меншу теплоту згоряння, ніж дизельне паливо.

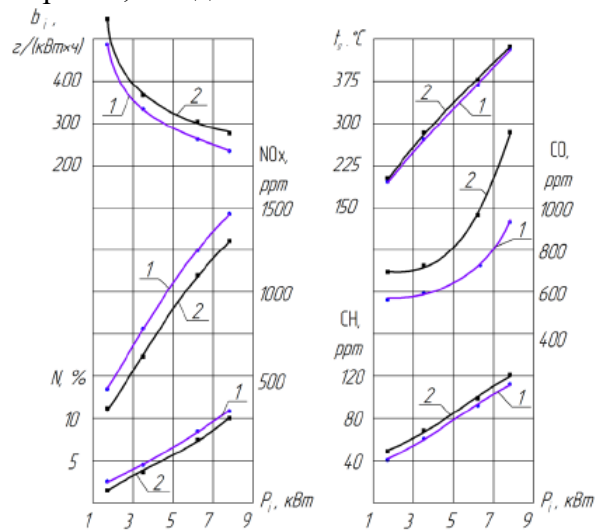


Рисунок 4 – Навантажувальні характеристики дизеля Ч 10,5/12 зі штатним поршнем при роботі на дизельному паливі і соняшниковій олії: 1 - дизельне паливо; 2 - рослинна олія

Збільшення температури ВГ концентрації монооксида вуглецю і сумарних вуглеводнів пояснюється затягуванням процесу згоряння на лінію розширення. Це відбувається внаслідок збільшення періоду затримки запалення та погіршення характеристик розпилювання рослинної олії в порівнянні з дизельним десятирічним паливом.

Тривалість періоду затримки запалення збільшилася в зв'язку з підвищенням температури спалаху рослинної олії на 157 градусів. Час горіння більш великих крапель збільшується, і період дифузійного горіння буде більше. Це підтверджується результатами розрахунків, приведених на малюнках 3.2 та 3.3.

Зменшення концентрації оксидів азоту – зниженням локальних градієнтів температур в об'ємі камери згоряння.

На рис. 3.5 приведені індикаторні діаграми, отримані при роботі на дизельному паливі та рослинній олії. З рис. 3.5 видно, що при перекладі двигуна з дизельного дистильованого палива на рослинну олію тривалість періоду затримки запалення збільшилася, а максимальний тиск згоряння зменшилося на 4,5 Мпа.

На рис. 3.6 приведені характеристики тепловиділення відсіку при роботі на різних паливах.

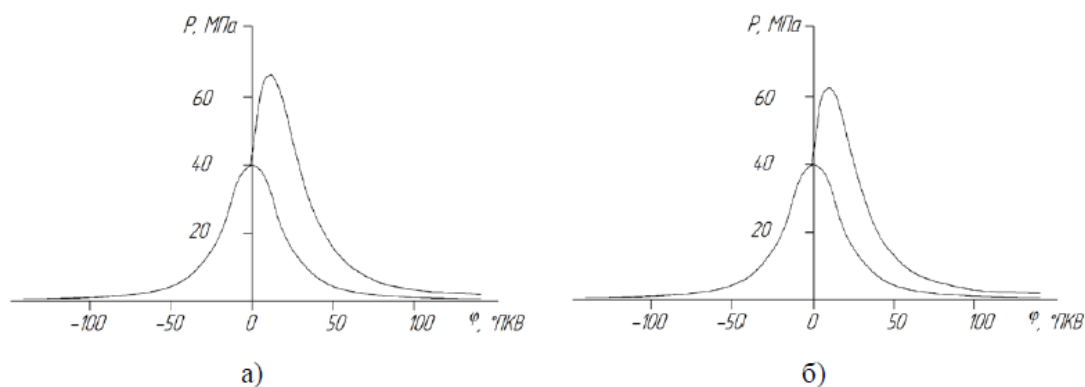


Рисунок 5 – Індикаторні діаграми при роботі на різних паливах:
а) дизельне паливо; б) соняшникова олія

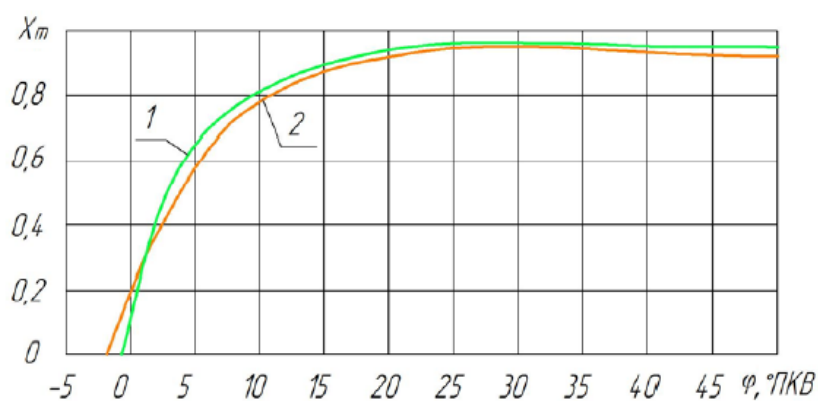


Рисунок 6 – Характеристики тепловиділення дизеля Ч 10,5/12 зі штатним поршнем при роботі на дизельному паливі і рослинній олії:
1 - дизельне паливо; 2 - рослинна олія

З рис. 6 видно, що при роботі на рослинній олії (у порівнянні з дизельним паливом), інтенсивність тепловиділення знизилася, і процес згоряння змістився на лінію розширення. У результаті температура ВГ збільшилася.

Проведемо чисельні дослідження процесу обдуву зважених у пульсуючому повітряному середовищі крапель дизельного палива і рослинної олії, розміри яких приведені на рис. 7 та 8.

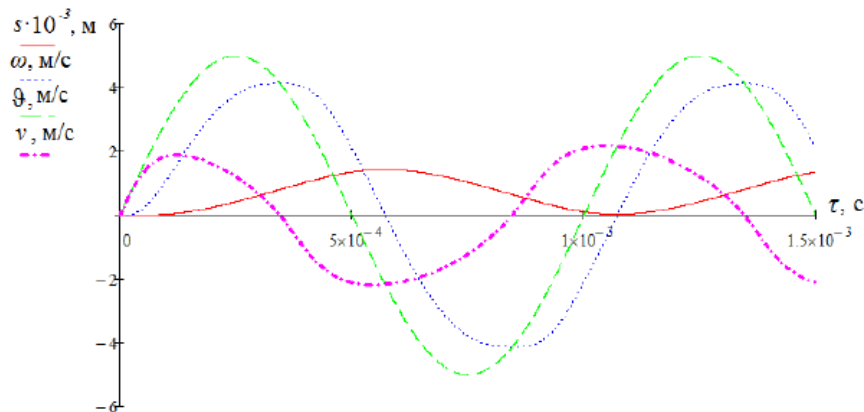


Рисунок 7 – Динаміка переміщення краплі дизельного палива діаметром 32 мкм в осцилюючому повітряному середовищі

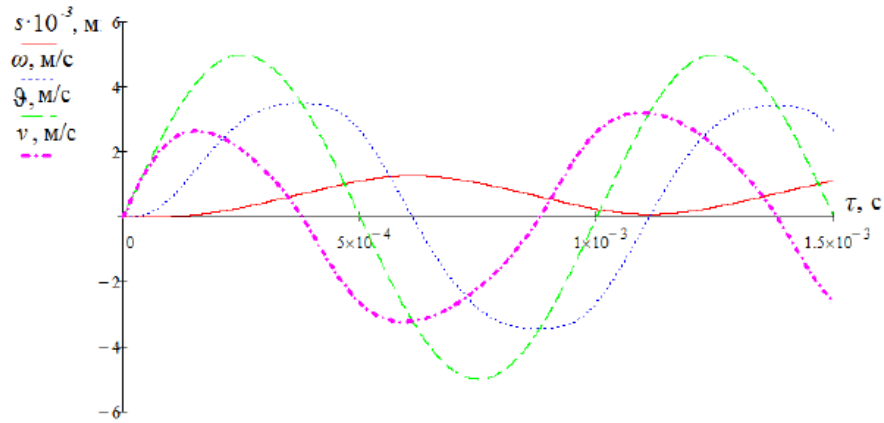


Рисунок 8 - Динаміка переміщення краплі рослинної олії діаметром 50 мкм в осцилюючому повітряному середовищі

На рисунках. 7, 8 позначено:

- переміщення краплі щодо нейтральної осі; S
- швидкість руху краплі палива; ω
- швидкість руху газового середовища; θ
- швидкість обдува краплі палива. $v = \theta - \omega$.

З приведених графіків видно, що для великих крапель рослинної олії процес обдуву їх газовим середовищем стає більш інтенсивним (у порівнянні з дрібними краплями дизельного палива). Отже, ефект від використання пульсацій газового середовища для скорочення періоду дифузійного згоряння на рослинній олії буде більш діючим.

Досліджуємо робочий процес дизеля Ч 10,5/12 на штатному і дослідному теплоізоляційному поршні з профільованою верхньою поверхнею при використанні як паливо рослинної олії.

На рис. 9 наведені результати порівняльних випробувань дизеля на рослинній олії зі штатним і експериментальним поршнем, що має теплоізолювану, профільовану камеру згоряння.

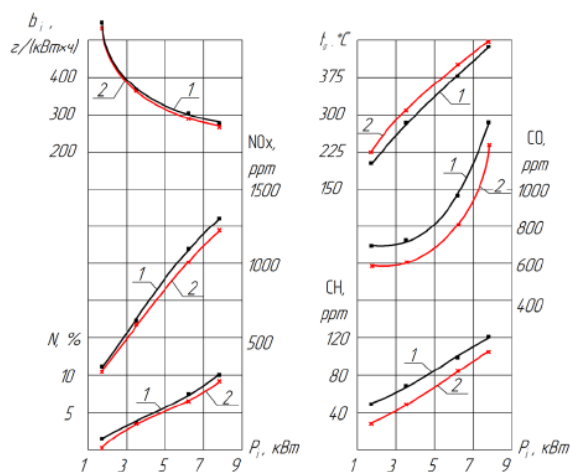


Рисунок .9 – Навантажувальні характеристики дизеля Ч 10,5/12 при частоті обертання колінчатого вала 1500 хв⁻¹, при роботі на рослинній олії:
1 - штатний поршень; 2 - теплоізолюваний поршень із профільованою верхньою поверхнею

З рис. 9 видно, що при роботі на рослинній олії використання теплоізованого профільованого поршня, який генерує у камері згоряння газодинамічні коливання, у порівнянні зі штатним поршнем, покращило економічні та енергетичні характеристики дизеля. Зменшилася витрата палива, викиди газоподібних шкідливих речовин і димність ВГ.

До недоліків дослідницької камери згоряння варто віднести збільшення температури ВГ внаслідок додаткового підігріву повітряного заряду від теплоізованих стінок камери згоряння.

На рис. 10 наведені індикаторні діаграми тиску газів у циліндрі дизеля зі штатним та теплоізованим профільованим поршнем при роботі на соняшниковій олії.

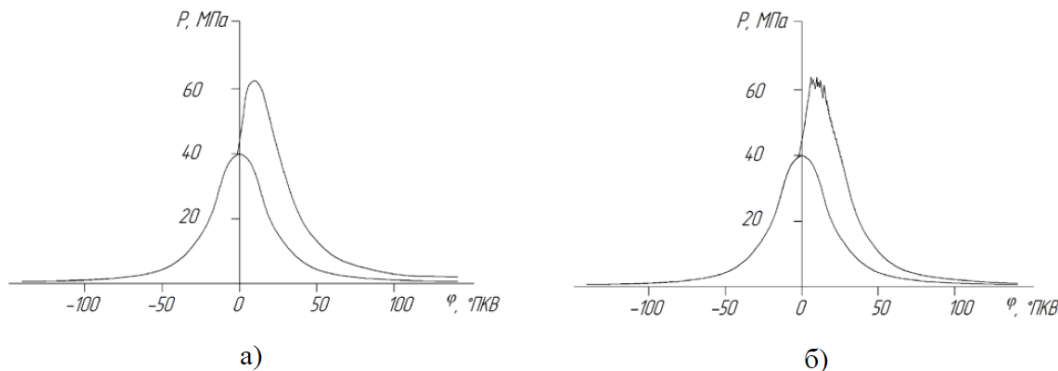


Рисунок 10 - Індикаторні діаграми при роботі на рослинній олії:
а) - штатний поршень б) - теплоізований поршень із профільованою верхньою поверхнею

З наведеного рисунка видно, що на дослідницькому теплоізованому поршні з профільованою верхньою поверхнею, у порівнянні зі штатним поршнем, спостерігаються інтенсивні коливання тиску газу в камері згоряння.

Горіння палива починається раніш на 3 градуси ПКВ через додатковий підігрів повітряного заряду від стінок камери згоряння. Значення максимального тиску згоряння практично не відрізняються, отже, навантаження на деталі ЦПГ не збільшиться.

На рис. 11 наведені характеристики тепловиділення для номінального режиму роботи.

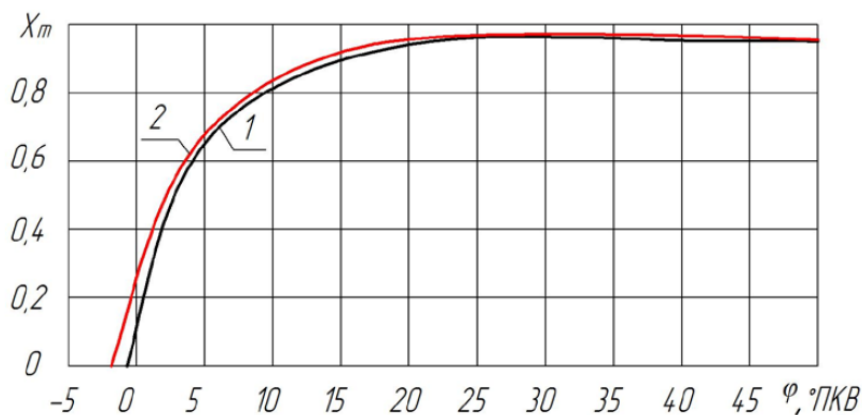


Рисунок 11 - Характеристики тепловиділення дизеля Ч 10,5/12 при роботі на рослинній олії: 1 - штатний поршень; 2 - теплоізований профільований поршень

Порівняльний аналіз характеристик тепловиділення, зображених на рис. 11, підтверджує позитивний вплив пульсацій газового середовища на інтенсифікацію процесу згоряння розпиленого палива і скорочення періоду дифузійного горіння.

Висновки: Використання на транспорті різних альтернативних палив забезпечує рішення проблеми заміщення нафтових палив, значно розширить сировинну базу для одержання моторних палив, полегшить рішення питань постачання паливом транспортних засобів і стаціонарних установок. Можливість одержання альтернативних палив з необхідними фізико-хімічними властивостями дозволить цілеспрямовано удосконалювати робочі процеси дизелів і, тим самим, покращити їх екологічні та економічні показники. При цьому особливу значимість мають альтернативні палива з поновлюваних джерел енергії (рослинні олії, відходи сільськогосподарського виробництва і харчової промисловості, біомаса), що дозволяють вирішити проблему зниження викидів в атмосферу вуглекислого газу. При переведенні дизеля зі штатним поршнем з дизельного палива на рослинну олію, питома індикаторна витрати палива збільшилася на 13-15 %, концентрація монооксиду вуглецю на 21-37 %, і сумарних вуглеводнів на 8-12 %. Температура ВГ, збільшилася на 5 градусів. Вміст оксидів азоту зменшився на 350-450 ppm. Димність ВГ залишилася на колишньому рівні. При переведенні дизеля зі штатного поршня на теплоізолюваний поршень із профільованою верхньою частиною, питома індикаторна витрата рослинної олії зменшився на 5-7 г/(квт.год), концентрація оксидів азоту на 85 ppm, монооксида вуглецю 140 ppm, сумарних вуглеводнів 20 ppm та димність 1 % по шкалі Hartrige. Температура ВГ збільшилася на 10-15 градусів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аникин С.А. Перспективы использования продуктов термохимической конверсии углеводородных топлив в транспортных ДВС / С.А. Аникин, Н.А. Иващенко, Ю.А. Маслов, В.М. Фомин, и др. // Двигатель 97 : материалы междунар. науч.-техн. конф. – М.: МГТУ, 1997. – С. 114 – 115.
2. Бажайкин А.Н. Характеристика воспламенения и горения топливной струи в теплоизолированных камерах сгорания / А.Н. Бажайкин // Двигателестроение, 1992. – № 1–3. С. 7–9.
3. Бесчаров Е.Н. К вопросу о влиянии движения воздуха в цилиндре на индикаторный процесс четырехтактного двигателя / Е.Н. Бесчаров // Двигатель внутреннего сгорания: сб. науч. тр. / Харьковский государственный университет. – Харьков: Издательство Харьковского ордена Трудового Красного Знамени государственного университета имени А.М. Горького, 1967. – Вып. 5. – С. 3–8.
4. Вагнер В.А. Улучшение показателей дизеля путем добавки в топливо диметилового эфира / В.А. Вагнер, А.М. Гвоздев // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2006. – № 4. – С. 32–39.
5. Войнов А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях / А.Н. Войнов. – М.: Машиностроение, 1977. – 277 с.
6. Гаврилов Б.Г. Химические основы термофорсирования двигателя дизеля / Б.Г. Гаврилов, Е.И. Гулин, А.П. Лесников, Т.А. Новикова // Журнал прикладной химии. – 1963. – Т. 36. – Вып. 22. – С. 36–42.
7. Гвоздев А.М. Улучшение экологических показателей дизеля путем добавки в топливо диметилового эфира / А.М. Гвоздев, В.А. Вагнер. – Барнаул: Ползуновский вестник, 2006. – №4. – С. 33–38.
8. Гладков О.А. Создание малотоксичных дизелей речных судов / О.А. Гладков, Е.Ю. Лерман. – Л.: Судостроение, 1990. – 112 с.

9. Грехов Л.В. Аккумуляторные топливные системы двигателей внутреннего сгорания Common Rail: учеб. пособие / Л.В. Грехов. – М.: Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, 2000. – 64 с.
10. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2005. – 344 с.
11. Егоров В.Г. Результаты теплотехнических испытаний дизеля Г 70-5 на водотопливной эмульсии / В.Г. Егоров, В.Д. Сисин, В.С. Шабалин, Б.О. Лебедев // Сб. Совершенствование технической эксплуатации СЭУ и исследование процессов в судовых дизелях. – Новосибирск: Изд-во НИИВТ, 2016. – С. 25–26.
12. Жуков В.А. Экологические нормативы для транспортных дизелей и методы их обеспечения / В.А. Жуков, М.С. Курин // Справочник. Инженерный журнал – М.: Машиностроение, 2017. – № 3. – С 33-36.
13. Калашников С.А. Альтернативные топлива для судовых дизельных энергетических установок / С.А. Калашников, А.Г. Николаев // Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2011. – 90 с.
14. Коньков А.Ю. Моделирование процессов сгорания в тепловозных дизелях при диагностике / А.Ю. Коньков, А.А. Маркелов // Современные технологии – железнодорожному транспорту и промышленности: Труды 43-й Всероссийской научно-практической конференции. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2013. – Т. 1. С. 16–22.
15. Armstrong G. Oil water emulsions as fuel / G. Armstrong, P. Katsoulakos // Mot. Ship. – 2020. – Vol. 60, № 716, P. 37–37.
16. Thompson R.V. The Burning of Emulsified Fuel in Diesel Engines / R.V. Thompson, J. Thorp, G. Armstrong, P. Katsoulakos // Trans. Inst. Mar. Eng. – № 10. – 2011. – P. 19–25.
17. Thorp J. Running diesel on water / J. Thorp, G. Armstrong, P. Kasoulakos // Mar. Week Febr. – 2010. – Vol. 18, № 20. – P. 54–60.

Урум Н.С., Максименко Л.А. Маларьова Н. О., Шапиро Г.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ

В последнее время все более широкое распространение получают альтернативные биотоплива на основе растительных масел (рапсовое, соевого, подсолнечного, арахисового, пальмового) и их производных. Интенсивные работы по переводу дизелей на биотопливо ведутся как в странах с ограниченным энергетическим потенциалом, так и в странах с большими запасами нефтяного топлива, а также в высокоразвитых странах, имеющих финансовую возможность приобретения нефтяных энергоносителей.

В настоящее время в Европе (Германия, Франция, Австрия и др. Страны) ежегодно производится более 1500000. Т биотоплива. Это - смесовое биотопливо, содержащее до 10% сложного метилового эфира, получаемого из рапсового масла.

Анализ производственно-хозяйственной деятельности предприятий водного транспорта свидетельствует, что средний уровень рентабельности их основных услуг не высок. Следовательно, существует необходимость поиска резервов повышения эффективности перевозок и работы транспортного флота. Одним из направлений научного поиска является экономическая оценка использования ресурсов и, прежде всего, топлива в компании для достижения полезного результата в деятельности. Проблема поиска и оценки ресурсосберегающих технологий работы транспортных судов является актуальной. Острые дискуссии ей придает ситуация на рынке энергоносителей при условии постоянного колебания цен на топливо. Резервы для уменьшения расходов на топливо состоят в нормировании ходовых операций, выбора оптимальных режимов работы двигателей на различных участках рейса, выбора

скорости, с одной стороны обеспечит своевременное выполнение транспортной операции - а с другой позволит получить экономию в расходе топлива. Исследования заключается в возможности доведения полученных теоретических положений к практическим рекомендациям и непосредственно устройств и оборудования, которые позволят использовать альтернативные виды топлива с целью повышения экологических и энергетических характеристик судовых двигателей.

Ключевые слова: топливо, двигатели, ресурсосберегающие технологии, дизельное топливо, транспортный флот

Urum N.S., Shapiro G.V., Maksimenko L.A. Malarova N.O.

STUDY OF THE MODEL OF THE COMBUSTION OF ALTERNATIVE FUELS IN SHIP DIESELS

Recently, alternative biofuels based on vegetable oils (rapeseed, soybean, sunflower, peanut, palm) and their derivatives are becoming more widespread. Intensive work on the conversion of diesel to biofuel is carried out both in countries with limited energy potential and in countries with large reserves of petroleum fuels, as well as in highly developed countries that have the financial capacity to purchase petroleum energy.

At present, more than 1.5 million tons of biofuels are produced annually in Europe (Germany, France, Austria, and other countries). It is a blended biofuel containing up to 10% methyl ester derived from rapeseed oil.

Analysis of the efficiency of production and economic activities of water transport enterprises shows that the average level of profitability of their basic services is not high. Therefore, there is a need to find reserves to improve the efficiency of transportation and the work of the transport fleet. One of the areas of scientific research is the economic evaluation of the use of resources and, above all, fuel in the company to achieve a useful result in the activity. The problem of finding and evaluating resource-saving technologies of transport vessels is relevant. The situation on the energy market is especially acute given the constant fluctuations in fuel prices. Reserves for reducing fuel costs are the rationing of running operations, the choice of optimal modes of operation of engines on different sections of the flight, the choice of speed, which on the one hand will ensure timely transport operations - and on the other allow fuel savings. The research consists in the possibility of bringing the obtained theoretical provisions to practical recommendations and directly to devices and equipment that will allow the use of alternative fuels in order to improve the environmental and energy performance of marine engines.

Keywords: fuel, engines, resource-saving technologies, diesel fuel, transport fleet

МЕТОДИКА НАВЧАННЯ

УДК 621.436:629.122:662.61

doi.org/10.33298/2226-8553/2021.1.32.10

Найденов І.В., Смирнова І.М., Бліндарук О.М., Кравчук Ю.О.

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТА ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗАСОБІВ РІЧКОВОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

З огляду на те, що на сьогодні середній вік суден українського Дунайського пароплавства біля 40 років, і беручи до уваги їх частку в флоті що працюють в басейні річки Дунай, слід очікувати, що велика частина суден під українським прапором може виявитися в групі поза стандартних, якщо не будуть вжиті необхідні заходи для відновлення або модифікації флоту. Основними напрямками досліджень можна вважати пошук конструктивних змін або нових рішень, пов'язаних із судновими технічними засобами або рішеннями, пов'язаними з модифікацією палива та застосуванням нових його типів та пов'язаних із охороною навколишнього середовища від шкідливого впливу засобів транспорту на всіх етапах життєвого циклу

Вищезазначене вимагає вирішення актуального науково-технічного завдання, яке полягає в розробленні нового підходу функціонування паливної системи, що забезпечить істотне підвищення якості експлуатації за рахунок використання гомогенізованого палива і зниження шкідливих викидів, пов'язаних із експлуатацією судна в умовах посилення міжнародних вимог до скорочення шкідливих викидів в атмосферу.

Наведено методи, що забезпечують підвищення паливної економічності та поліпшення екологічних показників засобів річкового транспорту в умовах експлуатації.

Наведено можливості удосконалення та випробувано удосконалений мембранний диспергатор для виготовлення емульсій палива і води.

Наведено результати дослідження енергетичних та екологічних характеристик дизеля на річковому штовхачі при роботі на безводному паливі і водопаливній емульсії.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження на морських та річкових суднах свідчить про значні підвищення екологічності річкового транспорту, а саме зменшення концентрації оксидів азоту на 29 %, оксиду вуглецю на 35%; температури вихідних газів на 2,2 %; димності на 38 %.

Ключові слова: двигун, засоби річкового транспорту, діагностування технічного стану, екологічні показники, охорона навколишнього середовища.

Обґрунтування вибору теми дослідження. Всі судові дизельні енергетичні установки, що експлуатуються на території України повинні відповідати міжнародним нормам щодо забруднення атмосферного повітря.

Регламент (ЄС) 2015/757 Європейського Парламенту і Ради від 29 квітня 2015 року про моніторинг, повідомлення та перевірку викидів вуглекислого газу з морського транспорту встановлює правила для точного моніторингу, звітності, верифікації та

іншої відповідної інформації стосовно викидів двоокису вуглецю (CO₂) з суден, що прибувають або виходять з портів.

Цей Регламент застосовується до суден, валова місткість яких перевищує 5 тис. тон, та відповідно до кількості викидів CO₂, що здійснюються під час курсування цих суден з їх останнього порту заходу в порт прибуття, що знаходиться під юрисдикцією держави-члена, та на території між портами прибуття, що знаходяться під юрисдикцією держави-члена [1].

Працюючий дизель є інтенсивним джерелом хімічного забруднення атмосферного повітря токсичними речовинами, що містяться у відпрацьованих газах.

Тому тема статті, а саме розроблення методів поліпшення екологічних показників засобів річкового транспорту в умовах експлуатації є дуже актуальною.

1. Дослідження робочого процесу дизеля за допомогою характеристик тепловиділення

Характеристиками тепловиділення називаються залежності зміни кількості теплоти, що виділяється при згорянні палива, від часу (кута повороту колінчастого вала).

Вони є одними з важливих показників робочого процесу ДВЗ, що відображають швидкість, повноту і своєчасність процесу згоряння палива.

Характеристики тепловиділення знайшли своє застосування при вдосконаленні і розробці нових турбопоршневих дизелів з прогресивними техніко-економічними показниками.

Наразі характеристики тепловиділення визначаються розрахунково-експериментальним методом. Основою цього методу є розв'язок рівняння першого закону термодинаміки при допущенні, що процес згоряння буде представлений як оборотний термодинамічний процес. Відокремлюючи з теплоти отриманої при згорянні палива, теплоту втрачену при теплопередачі в стінці циліндра, вважають, що підведення теплоти до робочого тіла є оборотним. Інші фактори незворотності (наприклад, температурної неоднорідності за обсягом камери згоряння) не враховуються.

Розрахунок характеристик тепловиділення будемо проводити за методикою, що розробив професор С. А. Калашников [1, 2, 4, 5].

Розрахунки характеристик тепловиділення проводяться при таких припущеннях як: робоче тіло є ідеальним газом; питома газова стала робочого тіла приймається постійною; газ у циліндрі дизеля є закритою термодинамічною системою, що перебуває в рівновазі; маса газу змінюється тільки за рахунок здійснення процесу згоряння палива; маса палива, що впорскується і його пари не враховується.

Тоді при повороті вала на кут $d\phi$ енергетичний баланс системи буде визначатися рівнянням 1-го закону термодинаміки

$$\frac{dU}{d\phi} = \frac{\delta Q_w}{d\phi} + \frac{\delta Q_f}{d\phi} - \frac{pdV}{d\phi}, \quad (1)$$

де U – внутрішня енергія системи, кДж;

Q_w – теплота, що підводиться до газу від стінок, кДж;

Q_f – теплота, що виділяється при згорянні палива, кДж;

p – тиск газу, кПа;

V – об'єм циліндра, м^3 .

Елементарна теплота, що виділяється в результаті згоряння палива при повороті вала на кут $d\phi$,

$$\frac{\delta Q_f}{d\phi} = Q_H b_{\text{ц}} \frac{dx}{d\phi}, \quad (2)$$

де Q_H – питома теплота згоряння палива, кДж/кг ;

$b_{\text{ц}}$ – циклова подача палива (якщо впорскується водопаливна емульсія, то значення $b_{\text{ц}}$ дається для безводного палива, тобто без урахування впорскування води), кг ;

$\frac{dx}{d\phi}$ – відносна швидкість згоряння палива, $1/^\circ\text{ПКВ}$.

Чисельна величина питомої теплоти згорання палива визначається експериментально. Крім цього, її можна прийняти стандартною (для дизельного палива $Q_H = 42700 \text{ кДж/кг}$), або визначити за формулою Д. І. Менделєєва [3, 6]

$$Q_H = 100[339C + 1256H - 109(O - S)] - 2512 \cdot H \cdot 9, \quad (3)$$

де C – вміст вуглецю в паливі, $\text{кг} / (\text{кг палива})$;

H – вміст водню в паливі, $\text{кг} / (\text{кг палива})$;

O – вміст кисню в паливі, $\text{кг} / (\text{кг палива})$;

S – вміст сірки в паливі, $\text{кг} / (\text{кг палива})$.

Зміст елементів можна прийняти: для дизельного палива середнього складу $C=0,87$, $H=0,126$, $O=0,004$.

Елементарна теплота, що підводиться до газу від стінок при повороті вала на кут $d\phi$, визначається рівнянням

$$\frac{\delta Q_W}{d\phi} = \alpha_{\Sigma} (T_W - T) F_W \frac{d\tau}{d\phi}, \quad (4)$$

де α_{Σ} – коефіцієнт тепловіддачі від стінок до газу, $\text{кВт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

T_W – умовна середня температура стінок, К ;

T – температура газу, К ;

F_W – площа стінок, що омиваються газом, м^2 ;

τ – час, с .

Коефіцієнт тепловіддачі визначаємо за формулою Хохенберга [5, 9, 10], $\text{кВт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$,

$$\alpha_{\Sigma} = 0,130V^{-0,06} \left(\frac{p}{100}\right)^{0,8} \cdot T^{-0,4} \cdot \left(\frac{sn}{30} + 1,4\right)^{0,8}, \quad (5)$$

де V – поточний обсяг циліндра, м^3 ;

p – тиск газу в циліндрі, кПа ;

T – температура газу в циліндрі, К ;

s – хід поршня, м ;

n – частота обертання колінчастого вала, $\text{об} / \text{хв}$.

Поточну ступінь стиснення знаходимо їх рівняння

$$\varepsilon_x = 1 + \frac{\varepsilon_c - 1}{s} H_x = 1 + \frac{\varepsilon_c - 1}{2} \left[1 - \cos \phi + \frac{\lambda_{III}}{4} (1 - \cos 2\phi) \right], \quad (6)$$

де ε_c – номінальна ступінь стиснення;
 H_x – переміщення поршня від ВМТ, м;
 λ_{III} – відношення радіуса кривошипа до довжини шатуна;
 ϕ – кут повороту вала, °ПКВ.

При використанні формули Хохенберга [1, 7, 8] теплообмін зі стінками розраховується за рівнянням

$$\frac{\delta Q_W}{d\phi} = k_1 (1 + k_2 \varepsilon_x) (T_W - T) \frac{\rho^{0,8}}{\varepsilon_c^{0,06} T^{0,4}}, \quad (7)$$

де k_1, k_2 – постійні для цього двигуна і цієї частоти обертання колінчастого вала.

$$k_1 = 0,003313 \frac{\pi d \left(\frac{sn}{30} + 1,4 \right)^{0,8}}{12n \left(\frac{d^2 s}{\varepsilon_c - 1} \right)^{0,06}}; \quad (8)$$

$$k_2 = \frac{s}{d(\varepsilon_c - 1)}. \quad (9)$$

Температура газу за рівнянням стану

$$T = \frac{pV}{mR} = \frac{p}{mR} \frac{\pi d^2 s}{4(\varepsilon_c - 1)} \varepsilon_x = \frac{p}{m} k_3 \varepsilon_x, \quad (10)$$

де R – питома газова стала, що береться за рівну питомій газовій постійній повітря, тобто $R = R_{air} = 0,28699$ кДж / (кг · К);
 k_3 – коефіцієнт, який визначається за виразом

$$k_3 = \frac{\pi d^2 s}{4R(\varepsilon_c - 1)}. \quad (11)$$

Похідна обсягу циліндра по куту повороту вала, тобто швидкість зміни обсягу, знаходиться за формулою [6, 7, 9]

$$\begin{aligned} \frac{dV}{d\phi} &= \frac{\pi d^2}{4} \frac{dH_x}{d\phi} = \frac{\pi d^2}{4} \frac{d}{d\phi} \left\{ \frac{s}{2} \left[1 - \cos \phi + \frac{\lambda_{III}}{4} (1 - \cos 2\phi) \right] \right\} = \\ &= \frac{\pi d^2 s}{4} \frac{1}{2} \left(\sin \phi + \frac{\lambda_{III}}{2} \sin 2\phi \right) \frac{\pi}{180} = \\ &= \frac{\pi d^2 s}{8} \frac{\pi}{180} \left(\sin \phi + \frac{\lambda_{III}}{2} 2 \sin \phi \cos \phi \right) = \\ &= \frac{\pi d^2 s}{8} \frac{\pi}{180} \sin \phi (1 + \lambda_{III} \cos \phi) = k_4 b, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{де } k_4 = \frac{\pi d^2 s}{8} \frac{\pi}{180}, \quad (13)$$

$$b = \sin \phi (1 + \lambda_{III} \cos \phi). \quad (14)$$

Швидкість зміни внутрішньої енергії системи залежно від куту повороту колінчастого вала визначиться залежністю [5]

$$\frac{dU}{d\phi} = \frac{d(mu)}{d\phi} = m \frac{du}{d\phi} + u \frac{dm}{d\phi} = mc_V \frac{dT}{d\phi} + u \frac{dm}{d\phi}, \quad (15)$$

де u – питома внутрішня енергія газу, кДж / кг;
 c_V – справжня питома ізохронна теплоємність газу, кДж / (кг · К).

Після перетворень в роботі [6] отримано остаточне рівняння для визначення відносної швидкості згоряння за кутом повороту колінчастого валу.

$$\frac{dx}{d\phi} = \frac{c_V k_3 \varepsilon_x \frac{dp}{d\phi} + \left(1 + \frac{c_V}{R}\right) p k_4 b - \frac{\delta Q_W}{d\phi}}{\left[Q_H - \frac{(u - c_V T)}{1 - \xi_W}\right] b_{Ц}}. \quad (16)$$

Відносна швидкість згоряння знаходиться чисельним методом. Величину тиску газу в циліндрі дизеля визначаємо з індикаторної діаграми.

Диференціальне рівняння (16) представляється у вигляді

$$\frac{dx}{d\phi} = f(x, \phi). \quad (17)$$

Прийmemo наступні початкові умови:

$$\begin{aligned} x_{H.G.} &= 0; \\ \phi &= \phi_{H.G.} \end{aligned} \quad (18)$$

Послідовні значення x_i частки згорілого палива визначаються виразом

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i, \quad (19)$$

де x_{i+1} – частка згорілого палива в кінці i -го кроку рахунку;

x_i – частка згорілого палива на початку i -го кроку рахунку;

Δx_i – приріст частки згорілого палива на i -му кроці рахунку. Приріст частки згорілого палива на i -му кроці рахунку визначається за методом Рунге-Кутта 4-го порядку.

$$\Delta x_i = \frac{1}{6} (K_1^i + 2K_2^i + 2K_3^i + K_4^i), \quad (20)$$

де $K_1^i, K_2^i, K_3^i, K_4^i$ – кутові коефіцієнти, які обчислюють за формулами

$$K_1^i = \Delta\phi \cdot f(x_i, \phi_i), \quad (21)$$

$$K_2^i = \Delta\phi \cdot f\left(x_i + K_1^i/2, \phi_i + \Delta\phi/2\right), \quad (22)$$

$$K_3^i = \Delta\phi \cdot f\left(x_i + K_2^i/2, \phi_i + \Delta\phi/2\right), \quad (23)$$

$$K_4^i = \Delta\phi \cdot f(x_i + K_3^i, \phi_i + \Delta\phi), \quad (24)$$

де $\phi\Delta$ – крок рахунку;

$f(x_i, \phi_i)$ – права частина диференціального рівняння (4.18), підрахована при значеннях змінних x_i і ϕ_i

У зв'язку з тим, що тиск за кутом повороту колінчастого вала вимірюється з деякою випадковою похибкою, то необхідно провести дії по попередній підготовці отриманих індикаторних діаграм. Згладжування проводилося "скользящим" середнім за методикою викладеною в роботі [6, 8, 9]. Арифметичне ковзне середнє чисельно дорівнює середньому арифметичному значень вихідної функції за встановлений період (вікно згладжування)

$$SMA_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p_{t-i}, \quad (25)$$

де SMA_t – значення простого ковзного середнього в точці t (в середині вікна згладжування);

n – кількість значень вихідної функції для розрахунку ковзаючого середнього (на згладжуючому інтервалі, або в вікні згладжування). Чим ширше згладжує інтервал, тим більше гладким виходить графік функції. Число n повинно бути непарним, а ширина вікна згладжування підбирається досвідченим шляхом;

p_{t-i} – значення вихідної функції в точці $t-i$.

Результати згладжування можуть вважатися достовірними, тобто такими, що не вносять перекручувань в індикаторну діаграму, якщо різниця згладженого і вимірюного тиску знаходиться в межах середнього відхилення (зазвичай дорівнює 100 кПа). Якщо зазначена умова не дотримується, то необхідно відмовитися від згладжування діаграми на цій ділянці.

На рис. 1–3 представлені індикаторні діаграми, отримані на відсіку дизеля при роботі на дизельному паливі, грубій і мікрогетерогенній емульсії з вмістом води 15 % на номінальному режимі після їх згладжування.

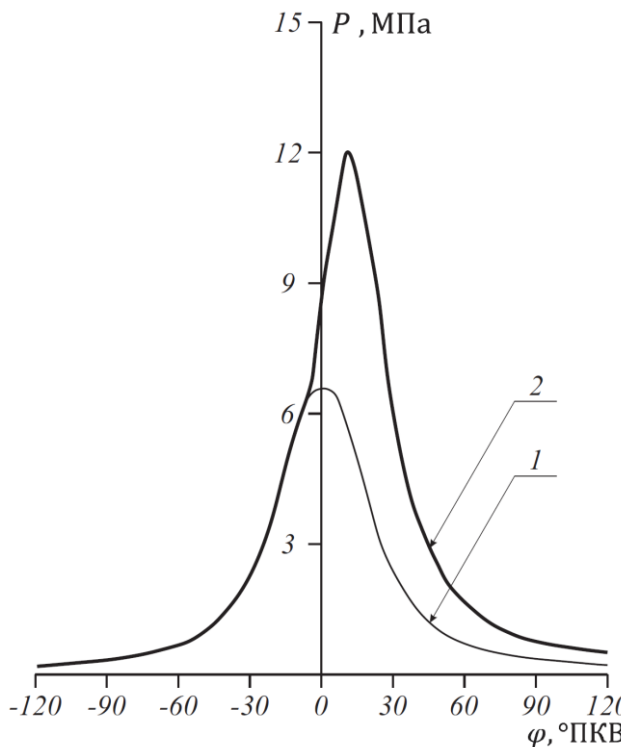


Рисунок 1 – Індикаторна діаграма дизеля SBY 6M628 при роботі на безводному паливі: 1) діаграма чистого стиснення; 2) діаграма горіння

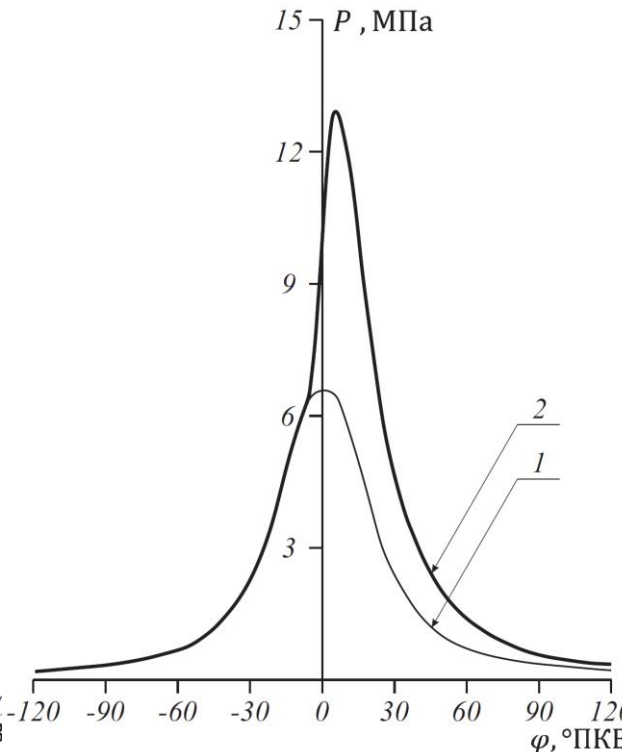


Рисунок 2 – Індикаторна діаграма дизеля SBY 6M628 при роботі на грубій емульсії: 1) діаграма чистого стиснення; 2) діаграма горіння

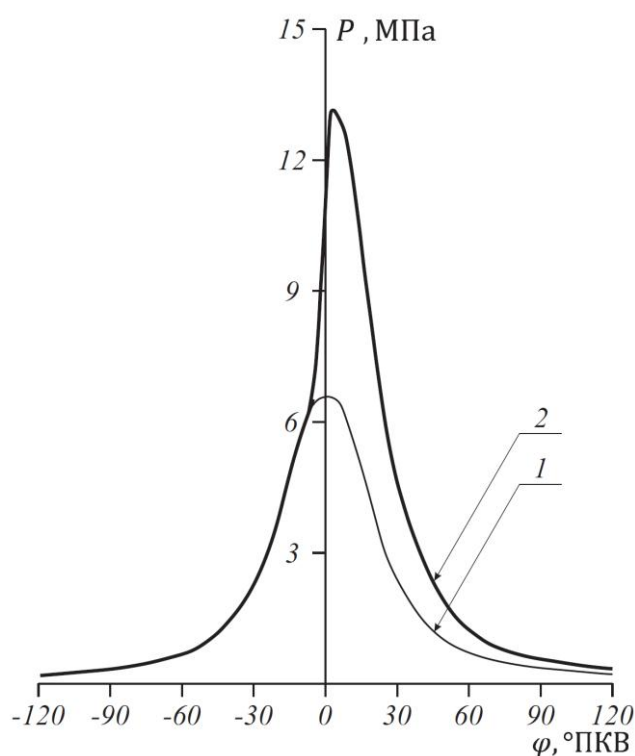


Рисунок 3 – Індикаторна діаграма дизеля SBY 6M628 при роботі на мікрогетерогенній емульсії: 1) діаграма чистого стиснення; 2) діаграма горіння

У таблиці 1 представлені результати, отримані після попередньої обробки індикаторних діаграм.

Таблиця 1– Значення параметрів робочого процесу досліджуваного дизеля при роботі на дизельному паливі і водопаливній емульсії на номінальному режимі

№ п/п	Вид палива	Початок процесу згорання, ПКВ	Завершення процесу згорання, ПКВ	Максимальний тиск згорання, P_z , МПа	Тривалість періоду горіння, ПКВ
1	Дизельне безводне	-5	25	73,0	30
2	Груба емульсія $C_w = 5\%$	-4	18	75,2	22
3	Груба емульсія $C_w = 15\%$	-4	27	79,0	31
4	Мікрогетерогенна ВПЕ $C_w = 5\%$	-4	25	79,0	29
5	Мікрогетерогенна ВПЕ $C_w = 15\%$	-4,5	35	80,0	39,5

На рис. 4 наведені результати чисельного дослідження характеристик тепловиділення при роботі дизеля на безводному паливі, грубій і мікрогетерогенній емульсії з вмістом води 15 %.

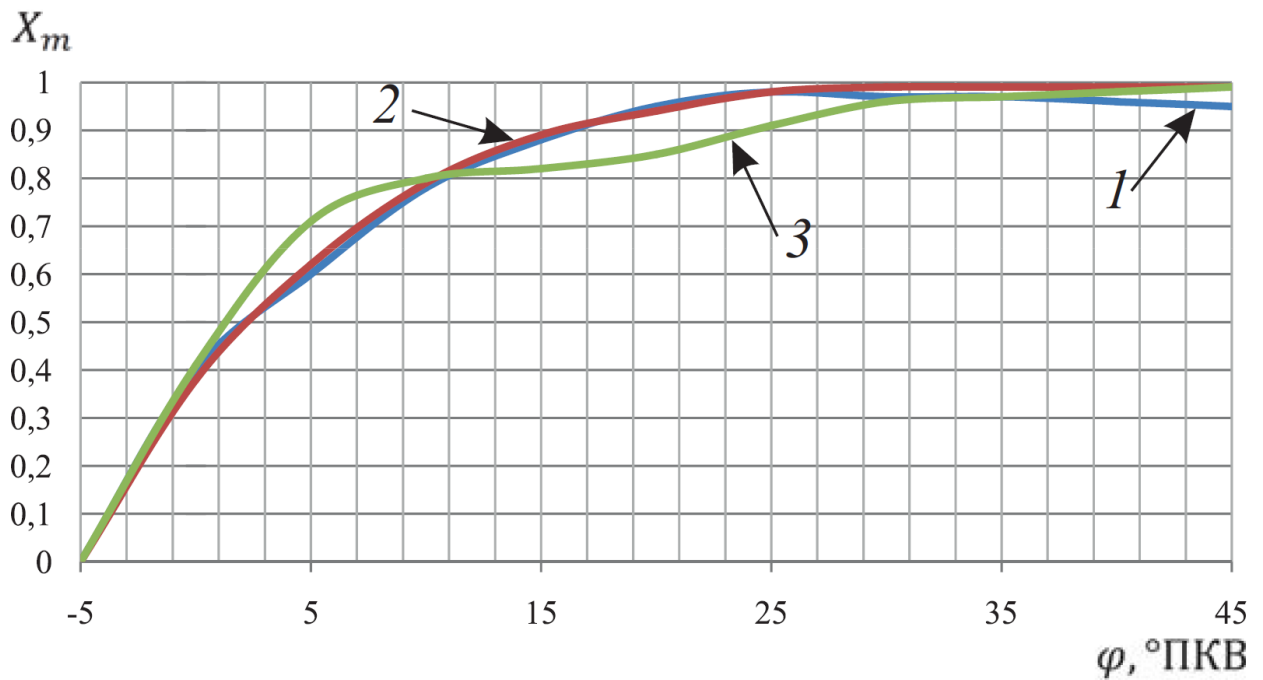


Рисунок 4 – Характеристики тепловиділення дизеля SBY 6M628 при роботі на безводному дизельному топливі, грубій і гетерогенній ВПЕ

1) дизельне паливо; 2) груба водопаливна емульсія; 3) гетерогенна водопаливна емульсія

З рис. 4. видно, що швидкість тепловиділення при використанні дизельного палива і грубої емульсії протягом 25 °ПКВ від моменту початку горіння палива не розрізняються. Потім, швидкість тепловиділення на грубій емульсії, в порівнянні з дизельним паливом, починає знижуватися. В результаті, при роботі на грубій емульсії питома ефективна витрата палива збільшується.

При роботі на мікрогетерогенній емульсії, в порівнянні з дизельним паливом, можна відзначити три характерних періоди.

У першому періоді, тривалістю від -1 до 4 °ПКВ швидкість тепловиділення збільшується.

Потім, у другому періоді, швидкість тепловиділення починає повільно, до 24 °ПКВ, знижуватися.

У третьому періоді знову відбувається деяке збільшення швидкості тепловиділення, і після 35 °ПКВ крива тепловиділення на мікрогетерогенній емульсії збігається з кривою тепловиділення для дизельного палива. В результаті питома ефективна витрата палива наблизився до витрати при роботі на безводному паливі.

Збільшення швидкості тепловиділення в першому періоді пояснюється підвищенням тонкості розпилювання емульсії, поданої за період затримки займання.

Зменшення швидкості тепловиділення в другому періоді пояснюється зменшенням розміру частинок води, відбувається уповільнення швидкості росту парогазових утворень. Теплота, що утворюється в процесі горіння, витрачається на прогрів і випаровування води міститься всередині краплі ВПЕ.

У відповідності з результатами виконаного в [5–7]. чисельного дослідження, в грубій емульсії великі краплі води вибухають раніше дрібних крапель, відбувається вторинне дроблення крапель ВПЕ і підвищення швидкості згорання в другому періоді.

Збільшення швидкості згоряння в третьому періоді при роботі на мікрогетерогенній ВПЕ пояснюється підвищенням ролі хімічної і каталітичної дії парів води на процес горіння.

Таким чином, в результаті, зменшення розмірів частинок води в емульсії і більш рівномірного розподілу часток у внутрішньо краплі палива відбувається оптимізація процесу використання теплоти за кутом ПКВ. Це сприяє скороченню витрати палива при одночасному зменшенні викидів оксидів азоту з відпрацьованими газами.

Висновки: 1. При роботі дизеля на мікрогетерогенній емульсії, в порівнянні з дизельним паливом, можна виділити три характерних періоди.

У першому періоді (від -1 до 4 °ПКВ) швидкість тепловиділення збільшується, у другому – (від 4 до 24 °ПКВ) починає зменшуватися; у третьому – (після 24 °ПКВ) знову відбувається збільшення швидкості тепловиділення, і після 35 °ПКВ крива тепловиділення збігається з кривою тепловиділення для дизельного палива. Підтвердженням цього є однакова (порівняно з дизельним паливом) питома індикаторна витрата палива.

Збільшення швидкості тепловиділення в першому періоді пояснюється підвищенням тонкості розпилювання мікрогетерогенної емульсії, поданої за період затримки запалення.

Зменшення швидкості тепловиділення в другому періоді пояснюється тим, що, як показали результати чисельного моделювання, при уповільненому зростанні парогазових утворень всередині дрібних частинок води, теплота, отримана в процесі горіння палива, витрачається на прогрів і випаровування води, що знаходиться всередині краплі ВПЕ.

Збільшення швидкості тепловиділення в третьому періоді пояснюється підвищенням ролі хімічної і каталітичної дії парів води на процес горіння [1, 2, 11, 12].

2. Проведено порівняльні випробування відсіку на безводному дизельному паливі, грубій і мікрогетерогенній водопаливній емульсії. Випробування проводилися за гвинтовою і навантажувальною характеристиками.

За результатами випробувань зазначено наступне:

2.1. Зі збільшенням концентрації води в грубій емульсії спостерігається зниження викидів шкідливих (забруднюючих) речовин, зменшення температури відпрацьованих газів і збільшення питомої ефективної витрати палива. Згідно з опублікованими рекомендаціями для проведення подальших досліджень прийнято вміст води в емульсії, що дорівнює 15 % об.

2.2. При роботі дизеля за навантажувальною характеристикою на номінальному навантаженні:

– при переведенні дизеля з безводного палива на грубу емульсію, спостерігається скорочення концентрації оксидів азоту в 1,3 рази, димності відпрацьованих газів з 12 до 7,5 % при збільшенні питомої ефективної витрати палива на 43 г / (кВт · год).

– при переведенні дизеля на отриману нами мікрогетерогенну емульсію кількість NO_x скоротилася в 1,4 рази, димність зменшилася з 12 до 7 %, а витрата палива збільшилася (порівняно з роботою на дизельному паливі) всього на 4-5 г / (кВт · ч), що не виходить за межі помилки вимірювань.

2.3. При роботі дизеля за гвинтовими характеристиками:

– зі зменшенням дисперсності водної фази на всіх режимах роботи дизеля скорочуються викиди газоподібних і твердих речовин з відпрацьованими газами, а також знижується температура відпрацьованих газів;

- при роботі на грубій емульсії витрата палива збільшується на (24–43 г / (кВт · год);
- при роботі на мікрогетерогенній емульсії витрата палива збільшується на (4–5) г / (кВт · год).

ЛІТЕРАТУРА

1. Богом'я В.І., Єлєазаров О.П., Павленко М. А., Тимочко О. І., Тимощук О.М. за заг. ред О.М. Тимощук. Основи технічної експлуатації автоматизованої системи управління судном: підручник. Київ, 2018. 305 с.
2. Богом'я В.І., Горбань А.В., Павленко М.А., Тимочко О.І., Тимощук О.М.. За заг. ред. О. М. Тимощук. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання: підручник. Київ, 2018. 305 с.
3. Лихогляд К.А., Маслов І.З., Разінкін Р.О., Найдьонов А.І. Устрій судових котельних установок та їхня безпечна експлуатація. Навчальний посібник з дисципліни «Суднові парові котли» за спеціальністю 271 «Річковий та морський транспорт». Одеса: НУ «ОМА», 2018. 166 с.
4. Богаевский А. Б. Совершенствование управления топливоподачей транспортных дизельных установок. / Богаевский А. Б. // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». Х. : НТУ «ХПИ». – 2005. – № 54. – С. 8-87.
5. Данилян А.Г., Чимшир В.И., Разинкин Р.А., Найденов А.И. Совершенствование систем технического диагностирования малооборотных судовых дизелей. «Молодой учёный». № 2 (82. Технические науки). ООО «Издательство Молодой ученый». Казань, 2015 г. С. 138-142. (наукометрична база РИНЦ).
6. Лещев В.А., Найденов А.И. Влияния переходных процессов на величину коэффициента дымности отработанных газов дизеля. *Научный взгляд в будущее. – Выпуск 13. Том 1.* – Одесса: Куприенко СВ, 2019 – С.34-45. (наукометричні бази РИНЦ, IndexCopernicus).
7. Лещев В.А., Найденов А.И. Уменьшение выброса токсичных компонентов отработанных газов при пуске дизеля устройством формирования оптимального пуска. *Modern Science: scientific publications journal. – № 07, Vol. I, (July) / Scientific-information publishing center «Strategic Studies Institute»; Editor-in-chief – A.N. Zotin.* – Moscow, 2019. С.233–239. (наукометричні бази РИНЦ, IndexCopernicus).
8. Орловский И. А. Математические модели дизеля и синхронного генератора тягового электропривода дизель-поезда на нейронной сети / И. А. Орловский // *Технічна електродинаміка.* – 2010. – № 2. – С. 62-72.
9. Темирев А. П. Теория и практика разработки судовых систем электроснабжения и бортовых блоков управления электродвигателей / Темирев А.П. – Ростов- 411 на-Дону : изд-во Ростовского университета, 2004. – 250 с.
10. Басов Г. Г. Методика оцінки технічного рівня дизель-поїздів / Г. Г. Басов // *Підвищення експлуатаційної ефективності тягового рухомого складу.* – Х. : ХарДАЗТ. – 2000. – № 41. – С. 5-8.
11. Шафи Надери Али Асгар. Современные дизель-поезда / Али Асгар Шафи Надери // *Железные дороги мира.* – 2003. – № 12. – С. 22-33.
12. Дизель-поезда с механической передачей // *Железные дороги мира.* – 2006. – № 10. – С. 25-27.

Naidenov I.V., Smirnova I.M., Blindaruk O.M., Kravchuk Y.O.

DESIGN OF METHODS OF IMPROVING ENVIRONMENTAL INDICATORS OF RIVER TRANSPORT IN CONDITIONS OF OPERATION

On the basis of the Recommendations developed and adopted within the framework of the UNECE, the Resolution of the Sixty-eighth Session of the Danube Commission (SC) of 15 May 2007 (DC / SEC 68/7) adopted "Recommendations concerning Technical Requirements for Inland Navigation Vessels". as minimum technical requirements for ships of the member states of the DC sailing on the Danube, taking into account the recommendations previously adopted by the SC on certain technical issues. This Resolution recommends that the member states of the SC put them into effect as soon as possible and inform the SC about it.

Given that today the average age of Ukrainian Danube Shipping vessels is 38 years, and taking into account their share in the fleet operating in the Danube River Basin, it should be expected that most vessels flying the Ukrainian flag may be in the non-standard group if the necessary measures will not be taken to restore or modify the fleet. The main areas of research can be considered the search for design changes or new solutions related to marine technology or solutions related to the modification of fuel and the use of new types and related to the protection of the environment from the harmful effects of vehicles at all stages of life. cycle

One of the effective low-cost and simple ways to reduce emissions from the exhaust gases of marine diesels is the use of water additives to the fuel in the form of an emulsion. A significant contribution in this area has been made by domestic and foreign scientists A. Savchenko, V. Solodovnikov, I. Parsadanov, I. Karyagin, Abuzaid M., Armas O., Hountalas D., Kadodta T., Leug P., Maria R.B., Morozumi Y., Yoshimoto Y. and many others.

The above requires solving the current scientific and technical problem, which is to develop a new approach to the fuel system, which will significantly improve the quality of operation through the use of homogenized fuel and reduce emissions associated with the operation of the vessel in terms of strengthening international requirements for emissions into the atmosphere.

Key words: engine, means of river transport, diagnostics of technical condition, ecological indicators, environmental protection.

Найденев И.В., Смирнова И.М., Блиндарук А.Н., Кравчук Ю.А.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СРЕДСТВ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Учитывая то, что сегодня средний возраст судов украинской Дунайского пароходства около 40 лет, и принимая во внимание их долю в флоте работающих в бассейне реки Дунай, следует ожидать, что большая часть судов под украинским флагом может оказаться в группе вне стандартных, если не будут приняты необходимые меры для восстановления или модификации флота. Основными направлениями исследований можно считать поиск конструктивных изменения или новых решений, связанных с судовыми техническими средствами или решениями, связанными с модификацией топлива и применением новых его типов и связанных с охраной окружающей среды от вредного воздействия средств транспорта на всех этапах жизненного цикла

Вышеупомянутое требует решения актуального научно-технического задания, которое заключается в разработке нового подхода функционирования топливной системы, что обеспечит существенное повышение качества эксплуатации за счет использования гомогенизированный топлива и снижение вредных выбросов, связанных с эксплуатацией судна в условиях усиления международных требований к сокращению вредных выбросов в атмосферу.

Приведены методы, обеспечивающие повышение топливной экономичности и улучшения экологических показателей средств речного транспорта в условиях эксплуатации.

Приведены возможности усовершенствования и испытан усовершенствованный мембранный диспергатор для изготовления эмульсий топлива и воды.

Приведены результаты исследования энергетических и экологических характеристик дизеля на речном толкатели при работе на безводной топливе и водотопливных эмульсии.

Внедрение результатов диссертационного исследования на морских и речных судах свидетельствует о значительных повышении экологичности речного транспорта, а именно уменьшение концентрации оксидов азота на 29%, оксида углерода на 35%; температуры выпускных газов на 2,2%; дымности на 38% ..

Ключевые слова: *двигатель, средства речного транспорта, диагностирования технического состояния, экологические показатели, охрана окружающей среды.*

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 629.62

doi.org/10.33298/2226-8553/2021.1.32.11

Мельник О.В., Шапран Ю.Є., Матюхов А.Т., Бойко О. А.

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ

Стаття присвячена дослідженню системи підтримки прийняття рішення безпеки судноводіння. На сьогоднішній день існують складні інтелектуальні системи, які допомагають моделювати об'єкти та навколишнє середовище; високоточні системи позиціонування водного транспорту; швидкодіючі обчислювальні комплекси, які здатні виконувати необхідні розрахунки в стислі терміни. Однак, незважаючи на наділення людини новими ресурсними можливостями для забезпечення безпеки в людино-машинних системах, очікуваний рівень аварійності та загибелі після впровадження нової техніки суттєво не змінився. Причину таких невдач, насамперед, варто шукати в методах та підходах прийняття рішень. У складних технічних системах, до яких відноситься і водний транспорт, особа, яка приймає рішення на етапах вибору і прогнозування є не тільки самою ненадійною, але і самою непередбачуваною ланкою. У ході дослідження були вирішені такі завдання: проведено змістовний опис організації безпеки на морі та формалізацію даного завдання; аналіз методів прийняття рішень в умовах невизначеності та методів побудови систем підтримки прийняття рішення; - розроблено об'єктно-орієнтовану технологію проектування системи підтримки прийняття рішення з безпеки судноводіння; проведено синтез системи підтримки прийняття рішення безпеки судноводіння, окремих її елементів та розробити алгоритми функціонування її взаємодії.

Для досягнення поставлених цілей об'єктно-орієнтованого функціонування складних активних судових технічних систем запропонована і реалізована ООМ інформаційно-управляючого судового комплексу з використанням методів аналізу та синтезу підсистем, із застосуванням принципу функціональної декомпозиції, що здійснює циклічне рішення послідовності задач безпеки: підтримки внутрішніх параметрів судна в безпечних межах, забезпечення навігаційної безпеки плавання та попередження зіткнень суден.

Ключові слова: судноводіння, безпеки, технічні системи, судовий комплекс, технічні системи.

Постановка проблеми: Підвищення рівня автономності в сучасних людино-машинних системах (ЛМС), спроектованих за типом великих складних технічних об'єктів, призводить до розподілу центрів прийняття рішень. Це пов'язано з такими напрямками еволюції складних технічних систем, як децентралізація, прагнення до створення більш автономних за статусом об'єктів. На теперішній час для підвищення ефективності управляючої діяльності людини значні зміни відбулися в технічній підтримці прийняття рішень. З'явилися складні інтелектуальні системи, які допомагають моделювати об'єкти та навколишнє середовище; високоточні системи позиціонування водного транспорту; швидкодіючі обчислювальні комплекси, які здатні виконувати необхідні розрахунки в стислі терміни.

Проте, незважаючи на наділення людини новими ресурсними можливостями для забезпечення безпеки ЛМС, очікуваний рівень аварійності та загибелі після впровадження нової техніки суттєво не зменшився. Причину таких невдач, насамперед, варто шукати в методах та підходах прийняття рішень. У складних технічних системах, до яких відноситься і водний транспорт, особа, яка приймає рішення на етапах вибору і прогнозування є не тільки самою ненадійною, але і самою непередбачуваною ланкою. Таким чином, основним шляхом у підвищенні ефективності прийнятих рішень людиною, на сучасному етапі розвитку техніки, є розробка та впровадження технологій підтримки прийняття рішень при управлінні водним транспортом, як складними активними технічними системами (АТС).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення ступеня розробленості теми дослідження показало, що велика кількість активних систем (АС) відносяться до слабоформалізованих. Аналізу, моделюванню та управлінню АС присвячений значне число робіт вітчизняних і закордонних авторів, таких як Antoniou P., Baryam Yaneer, Boccara N., Chan S., Fiona A., Gareth W Parry, Haken H., Helton J., Holland J., Jennings N., Jing H., Koulouriotis D., Magee C., Scott A. DeLoach, Thunnissen D., Zhang D., Бусленко Н.П., Поспелов Д.А., Володін В.В., Гриф М.Г., Дубов В.М., Каляєв І.А., Колісников О.О., Макаров І.М., Павлов В.В., Савін Г.І., Сафронов В.В., Сілов В.Б., Новіков Д.А., Губко М.В., Максимов В.І., Кулініч А.А., та інших, у яких відображені питання формалізації знань, опису організаційних структур, побудови когнітивних моделей і розробки різних підходів, що забезпечують необхідні показники якості управління даним класом систем. Загальне представлення про проблематику АС зводиться до урахування прояву активності систем, тобто волі вибору свого стану.

Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності системи безпеки судноводіння за рахунок розроблення та впровадження системи підтримки прийняття рішень, яка ґрунтується на формалізованих та слабоформалізованих знаннях.

Виклад основного матеріалу. Для рішення проблем аварійності на флоті ІМО, розробила Систему управління безпекою (СУБ). СУБ – це структурована і документована система, яка дає можливість персоналу проводити політику судноплавної Компанії в області безпечного управління і захисту навколишнього середовища. СУБ – це "гуманітарний" спосіб рішення проблеми аварійності флоту, запропонований психологами, соціологами, лікарями, фахівцями з організації праці. Основна ідея рішення проблеми аварійності флоту полягає в створенні "захисних бар'єрів" на шляху помилок людини. Помилки людини повинні "розбиватися об захисні бар'єри" різних Процедур Компанії в області безпеки і захисту навколишнього середовища (рис. 1), сформованих за наступними основних напрямках:

- забезпечення безпеки судноводіння;
- попередження забруднення навколишнього середовища;
- забезпечення належного технічного стану судна;
- забезпечення безпечного перевезення вантажів;
- забезпечення особистої безпеки;
- структурно-управлінська політика.

Таким чином, існуюча СУБ побудована на кодексах, конвенціях, постановах і ін. законодавчих актах, які містять ряд методологічних формулювань, дозволили побудувати механізм підтримки безпеки мореплавання. Вважається, чим більше бар'єрів на шляху помилок судноводя, тим менше імовірність виникнення аварії або інциденту. Наскільки послідовно та ефективно реалізуються процедури Компанії, залежить успіх або невдача СУБ.

У зв'язку з цим буде цікавий аналіз аварійності флоту після введення СУБ у 1995 році. Найбільш частими були аварійні події (у світі) через посадку суден на міліну (32%), пожежі (22%), ушкодження герметичності корпусу (13%), штормові ушкодження (12%) і зіткнення суден (10%).

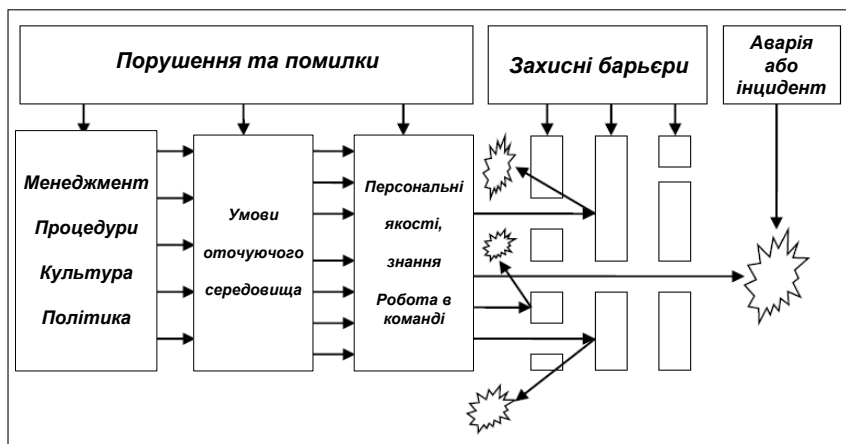


Рисунок 1 – Традиційна схема запобігання аваріям та інцидентам

Проблема безпеки на морі, і зокрема, - попередження зіткнень суден є однією з найважливіших на морському транспорті. Принципи розходження суден засновані на Міжнародних правилах попередження зіткнень суден у морі 1972 року (МППЗС-72). Останні правила були прийняті в Лондоні в жовтні 1972 року, що діють у даний час і обов'язкові для всіх моряків.

"Помилки судноводіїв" в існуючих процедурах управління судном, як правило, є суб'єктивними і представляють "ланцюг помилок", викликаних психічним, фізіологічним станом судноводія, недоліками в навчанні і т.д.

В основі другої причини невиконання МППЗС-72, а саме, змушеного відступу від Правил, лежать фактори, що не дозволили судноводію з ряду причин виробити рішення з попередження зіткнення суден за Правилами (відповідно до МППЗС-72).

Остання, третя, причина невиконання МППЗС-72 полягає в ігноруванні Правил (дії за домовленістю). Судноводій ігнорує дії (відмовляється виконувати Правила) МППЗС-72 і домовляється з іншим судном про маневр не запропонованому МППЗС-72. Це відбувається в тому випадку, коли судноводій у випадку небезпеки зіткнення суден зневажає принципами МППЗС-72, підмінюючи їх на комерційні, технічні, технологічні та інші цілі.

Виходячи з розглянутого аналізу проблем забезпечення безпеки судноводіння, можна зробити висновок, що сучасна СУБ, носить декларативний характер, залишаючи широке поле діяльності для конкретизації висунутих положень. У зв'язку з цим виникає потреба в проведенні даного дослідження в галузі безпеки на морі та розробці системи, яка здатна підвищити ефективність безпеки судноводіння.

Вирішенням проблеми безпеки на судні, відповідно до вектора розвитку техніки позначеним у резолюціях ІМО, є підвищення ефективності прийнятих рішень, зокрема створення Систем підтримки прийняття рішення (СППР) судноводієм. При дослідженні функціональних можливостей розроблювальної СППР безпеки судноводіння (СППР БС) пропонується використовувати принцип функціональної декомпозиції. Функціонування СППР БС повинне здійснюватися в режимі реального часу, що вимагає її інтеграції з наявними на судні засобами контролю руху і навігаційної ситуації. Процес функціонування СППР БС допускає циклічне рішення наступної послідовності завдань (рис. 2):

- завдання підтримки внутрішніх параметрів судна в безпечних межах (ЗПР_{ВП});
- завдання забезпечення безпеки навігаційної плавання (ЗПР_{НБП});
- завдання попередження зіткнень суден (ЗПР_{ПЗС}).

Отже проблематика та методи рішення завдань забезпечення безпеки судноводіння та АС будуть однаковими, а це значить, що розроблена СППР БС допоможе покращити ефективність прийнятих рішень судноводієм, де недоліки судноводія при обробці та прийнятті рішень, будуть компенсуватися СППР БС - призначеної для автоматичного одержання, аналізу, обробки інформації та представлення рішення судноводію, зв'язаної множиною системоутворюючих відносин з об'єднанням пристроїв управління інформаційними каналами в інформаційно-обчислювальну мережу.

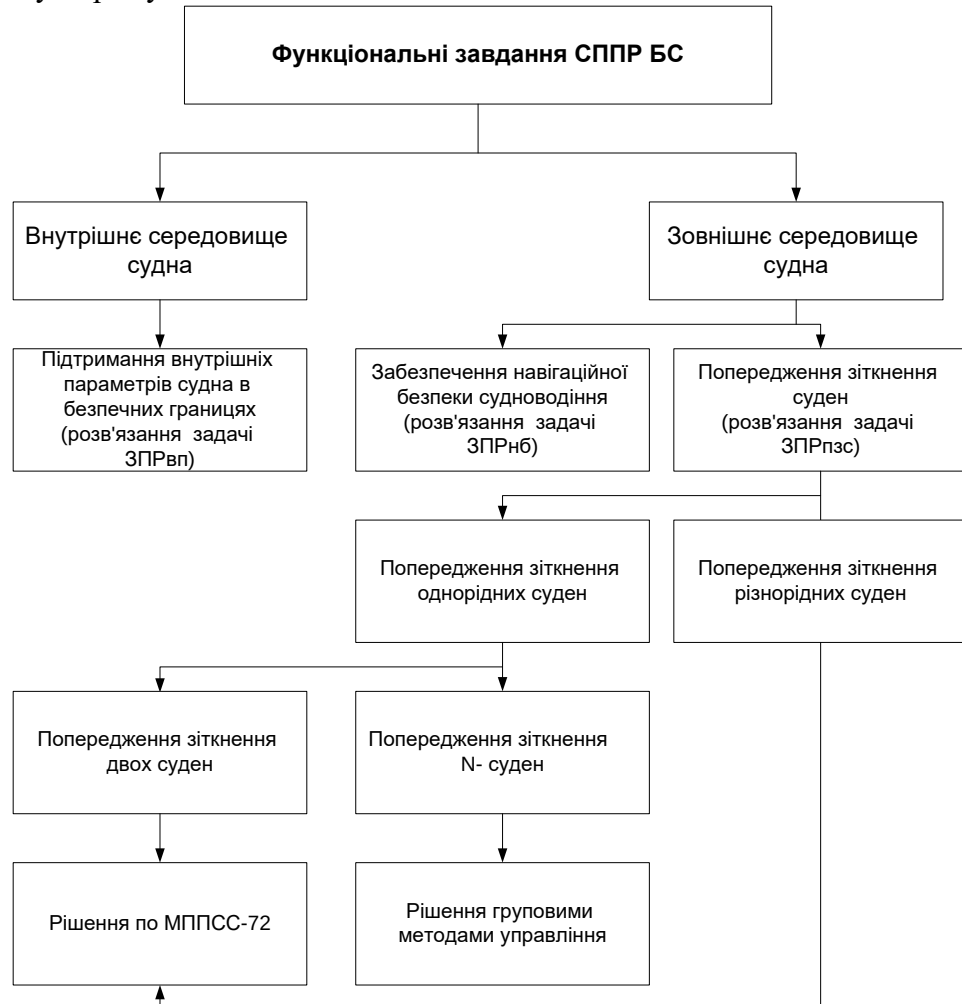


Рисунок 2 – Декомпозиція функціональних завдань СППР БС

Система безпеки судноводіння є ієрархічною слабоформалізуємою системою, яка є результатом взаємодії часто суперечних один одному по цілям функціонування елементів, і має множину неявних прямих і зворотних зв'язків. Для роботи в таких умовах проєктуєма СППР БС повинна містити ряд інформаційних баз знань (БЗ): нормативну, експертну та прецедентну.

Відмітимо, що реалізація процесу забезпечення БС представляє собою складну задачу кооперативної неантагоністичної взаємодії з розподіленим прийняттям рішень, для якої критично важливим стає забезпечення координації такої взаємодії в умовах цілеспрямованої поведінки учасників, що намагаються забезпечити безпеку руху. Рішення даного завдання в СППР БС може бути реалізоване з використанням принципів траєкторно-цільового підходу до прогнозування руху суден у рамках спільного управління інтелектуальними логіко-динамічними об'єктами. Сутність

даного підходу складається у формуванні СППР БС прогнозних траєкторій руху суден виходячи з заданих цільових позицій, а також критеріїв і зон безпеки руху. Кожне судно представляється у виді взаємодіючого логіко-динамічного об'єкта, що володіє цілеспрямованою поведінкою і реалізує траєкторію свого руху виходячи з принципів безпеки в умовах виконання вимог МППЗС-72. Для моделювання даних процесів доцільно використовувати агентноорієнтований підхід. Кожен агент (як інформаційна сутність) буде представляти судно, а система взаємодії агентів стане основою для формування правил СППР.

Процес функціонування СППР БС складається з циклічного рішення наступної послідовності завдань:

- ідентифікація суден, що знаходяться в зоні можливого зіткнення;
- моніторинг параметрів руху суден та динаміки їх зміни;
- оцінка погрішності отриманих параметрів руху;
- класифікація суден за ступенем небезпеки;
- визначення множини взаємодіючих суден, для яких формуються можливі сценарії руху;
- визначення областей взаємних обов'язків суден, їх відповідність МППЗС-72 і границь зони безпеки власного судна;
- формування множини можливих сценаріїв (стратегій) руху суден;
- визначення стратегій руху, що відповідають заданим критеріям безпеки;
- моделювання можливих сценаріїв розвитку навігаційної ситуації на основі принципів траєкторно-цільового управління;
- вироблення можливих альтернатив по управлінню судном і надання їх капітану.

Судно виключається з розгляду СППР БС при формуванні сценаріїв групової взаємодії у випадку ідентифікації його як безпечного, але моніторинг параметрів руху такого судна продовжується при перебуванні його в межах зони дії автоматизованої системи. Для небезпечних і потенційно небезпечних суден СППР формує багатокрокову стратегію розходження на весь прогнозований період їх перебування в зоні взаємних обов'язків, з наступною корекцією стратегії у випадку, якщо поточний розвиток ситуації буде відрізнятися від прогнозованого. У процесі формування стратегії розходження враховується передбачувана зміна параметрів руху суден, обумовлене їх взаємодією один з одним відповідно до МППЗС-72 [11].

Результатом роботи СППР БС капітана є графічна візуалізація ситуації з вказівкою змін рекомендуємих параметрів руху власного судна [22].

Для побудови агентоорієнтованої моделі СППР БС проведемо аналіз підсистем і дослідимо зміни в її компонентах, які необхідні для організації взаємодії між ними в локальних вузлах обробки інформації.

Основним завданням при побудові СППР БС є створення середовища для рішення складних завдань БС, використовуючи механізм узгодження/консультацій між судами розподіленими в деякому географічному районі. Такий тип СППР БС можна віднести до СППР із розподіленим механізмом пошуку рішень. Елементом СППР БС є інтелектуальний агент. Приведемо таке визначення агента: “під агентом розуміється інформаційна сутність, наділена штучним інтелектом, здатна приймати рішення і обирати відповідно до нього свою поведінку в зовнішньому середовищі”. Дослідження організації СППР БС охоплюють весь спектр можливих взаємодій між судами-агентами, що, як правило, здатні до організації спільних дій для рішення конкретного завдання БС. На сучасному рівні формалізації системи БС, впровадження нових інформаційних, обчислювальних систем і технологічних рішень можна домогтися побудови СППР БС на принципах кооперації мультиагентних систем (МАС) [13, 18].

Найбільш цікавою, з погляду застосування МАС, є задача прийняття рішення з попередження зіткнення суден. Для розв'язання ЗПР ПЗС виникає необхідність узгодження дій (траєкторій розходження) двох або більш суден, причому з

урахуванням стану внутрішньої структури кожного із суден і впливу зовнішнього середовища який позначається на кожному із суден по-різному.

При цьому модель логічного виведення СППР БС, що представлена на рис. 3, відображає наступні етапи реагування [25]:

- якщо ситуація типова, то вироблення рекомендацій з управління за стандартним (формалізованим) шляхом – перехід судна в безпечний стан на основі інформації зворотного зв'язку про ступінь успішності управління (адаптація моделі);

- якщо ситуація якісно-нова, то здійснюється неформалізований пошук нового нестандартного рішення, а саме рішення формалізується і стає типовим (синтез моделі), тобто передається в майбутні стани.

Необхідними умовами реалізації СППР БС виступають датчики інформації і технічних систем, що безпосередньо сприймають впливи зовнішнього середовища, виконавчі органи судна, а також процесор - блок переробки інформації і пам'ять. Під пам'яттю тут розуміється здатність СППР БС зберігати інформацію про стан судна і стан середовища.

Рівень інтелектуальності судна залежить від його технічної забезпеченості. А відносини між суднами можуть будуватися за принципом “ведучий-ведений”. Нехай судно “А” – типу може приймати функції “ведучого” за наявністю інтегрованої мостикової системи (IBS). Такі судна завдяки технічним можливостям представлення зовнішнього середовища і можливостям бази знань та логічному висновку, можуть запам'ятовувати та аналізувати різні ситуації, передбачати можливі реакції на свої дії, робити з цього висновки, корисні для подальших дій і планувати свою поведінку. Саме розвиті когнітивні здібності дозволяють таким судам будувати “віртуальні світи”, працюючи в яких вони формують плани дій. Інтелектуальні судна володіють добре розвинутою і поповнюваною символічною моделлю зовнішнього середовища, що досягається завдяки наявності в них бази знань, механізмів рішення й аналізу дій.

Для цілей організації МАС, що не володіють такого рівня інтелектуальністю, на маломірних суднах можливе використання Персональних систем навігації та моніторингу (СНМ). Така система має вбудований GPS - приймач і високоякісну електронну картографію, що дозволяє легко орієнтуватися в морі при будь-яких погодних умовах. Даний виріб може бути сполучений з захищеною радіолінією передачі даних про місце розташування маломірного судна, а також необхідною системою передачі інформації для організації кооперативної взаємодії між судами. У технічному забезпеченні маломірні судна на відміну від інтелектуального судна можуть не мати РЛС, САРП, гірокомпаса, датчиків кутової швидкості, метеостанції і т.д. У силу вищевказаних недоліків, такі маломірні судна мають обмежене бачення навколишнього середовища і діапазоном прогнозування. Зазначений тип суден можна віднести до комунікативного “веденого” судна-агента – “В” – типу. У комунікативних суден модель зовнішнього середовища перетворюється головним чином у модель комунікації, що складається з моделей учасників процесу БС і бажаної мети.

Судно “А” – типу не тільки спостерігає і визначає за допомогою своїх інформаційних і фізичних датчиків параметри зустрічного судна, але і координує дії суден по каналах взаємного обміну інформацією. У результаті рівень невизначеності системи БС знижується і формується спільний план дій розходження суден. Цей план допускає “краще рішення” - сумісне рішення для всіх суден [7].

Розглянемо формування спільного плану розходження на безпечну відстані двох суден “А” – типу. Взаємна “домовленість” суден допускає обов'язок виконувати дії спільно. Однак колективні дії не можуть початися доти, поки між судами не буде досягнуто згоди, що конкретно буде робити кожне судно. Для вироблення такої угоди служить стадія формування спільного плану. Переговори є механізмом вироблення такої угоди. Протокол переговорів є розподіленим алгоритмом пошуку угоди. На стадії формування спільного плану судна здійснюють спільні спроби домогтися такого стану

кожного судна, у якому всі судна “А” – типу виробили б спільний план, згодні з ним, і мають намір діяти по ньому.

Викладені принципи формалізації процесу розходження на безпечну відстань суден приводять до розгляду СППР БС як класу багаторівневих багатоцільових систем. Клас багаторівневих багатоцільових систем характеризується наявністю ієрархічних відносин між органом, який приймає рішення та елементами даної системи. Існування Координатора, у даному випадку, – відмінна риса такої системи. Проблема прийняття рішення на рівні Координатора є основною проблемою при створенні СППР БС на принципах МАС.

Реалізація кооперативного рішення проблеми попередження зіткнення N – суден можлива з застосуванням мультиагентного підходу [18]. Для представлення цілісності процесу розходження суден будь-яких типів на принципах МАС потрібно:

- встановити ієрархічність “А”– типу, “В”– типу або “А” + “В”);
- виявити і формалізувати взаємозв'язок між внутрішніми і зовнішніми елементами.

В основі проекрованої СППР БС розроблений підхід, в основі якого лежать принципи “ефективної і звичайної морської практики” і досвід застосування МППЗС-72 [19], що мають широкі можливості у виборі ефективних дій відповідно до стану судна і зовнішнього середовища. При проектуванні СППР БС пропонується керуватися базовими засадами попередження зіткнення суден по МППЗС-72, що полягають: судно здатне відслідковувати (Правило 5 Спостереження) “ту частину світу, що сприймається ним у сучасний момент”, визначати “існування небезпеки зіткнення” (Правило 7 Небезпека зіткнення) і приймати рішення, виходячи з внутрішнього стану судна (п. “b” Правило 2 Відповідальність) у виді простих логічних схем для попередження зіткнення суден (Правило 8 Дії для попередження зіткнення суден). Разом з тим судну потрібно не тільки опис існуючої ситуації, але так само інформація про мету дій, для попередження зіткнення з іншим суднами. “Дія ... повинна бути такою, щоб привести до розходження на безпечній відстані” (п. “d” Правило 8 Дії для попередження зіткнення суден), тобто потрібна інформація про те, на якій мінімальній відстані між судами (D_i) може забезпечуватися безпечне розходження суден у тих або інших “обставинах та умовах плавання”. Якщо системи ПЗС відповідає встановленим стандартам поведінки самого судна та зовнішнього середовища за умови виконання МППЗС-72, то функціональність даної моделі цілком підтверджується досягненням поставленої мети – розходження суден на (D_i). При виробленні послідовності дій, судно повинне керуватися пошуком і плануванням своїх дій, для того щоб знання, на які спираються його рішення, могли бути модифіковані відповідно до конкретної ситуації зближення судів.

З іншої сторони на ПЗС значно впливають умови плавання, наприклад, якщо видимість стає обмеженою, то судно повинне оновити свої знання про те, наскільки небезпечною стає ситуація зустрічі суден і які дії є кращими, виходячи з досвіду “ефективної морської практики”. Фактор “обмежена видимість” автоматично викликає скасування Правил 11-18 - Плавання суден на у видимості один одного і пропонує судну використовувати Правило 19 - Плавання при обмеженій видимості. У той же час Правила частини А – Плавання суден при будь-яких умовах видимості залишаються незмінними.

Таким чином, ПЗС представляє собою чергування ситуацій/періодів, протягом яких система поводить себе то як детерміновано, то як невизначена. Тому особливе значення має завдання розробки адаптивної моделі вироблення рішень, тобто моделі, яка здатна легко перебудовуватися і зберігати високий ступінь адекватності як при зміні цільових і оцінних установок, так і стану судна і зовнішнього середовища.

Формалізація системи БС дозволяє реалізувати методологію побудови інтелектуального судна “А” – типу на принципах МАС. Основними структурними

елементами судна “А” – типу є: зовнішнє середовище, корпус судна, система управління та інтелектуальні системи. Розглянемо ці елементи і їхні взаємозв'язки.

Зовнішнє середовище. Описувану модель зовнішнього середовища можна представити, як єдиний інформаційний простір

$$EIS = \langle X_i, K_i, G_{ij}, S \rangle \quad (1)$$

де X_i – судно; K_i – когнітивна модель i -го судна про зовнішнє середовище та самого себе, що реалізоване у вигляді інформаційного ресурсу; G_{ij} – характер інформаційної взаємодії X_i та X_j суден, де $i, j \in (1 \dots N)$, N – кількість суден в просторі; S – модель простору.

Сукупне відображення сприйняття зовнішнього середовища та підсистем самого судна здійснюється за допомогою Інтерфейсу, що є основою взаємодії всіх інформаційних підсистем СППР БС. Вхідна інформація Інтерфейсу формується на підставі технічних засобів судноводіння (рис. 2) відповідно до вимог конвенції SOLAS [70] у Главі V Правил 19 “Вимоги до оснащення суден навігаційними системами та обладнанням”.

З метою отримання, обробки і обміну інформацією повинні використовуватися дані існуючих радіотехнічних систем, як на судах, так і на берегових радіолокаційних станціях, що здійснюють моніторинг руху судів, і що мають обчислювальні пристрої для прогнозування дій по попередженню зіткнень. На рис. 3 наведено два типа обміну інформацією між судами для попередження зіткнення суден:

- достатній (суцільна подвійна стрілка);
- обмежений (пунктирна стрілка).

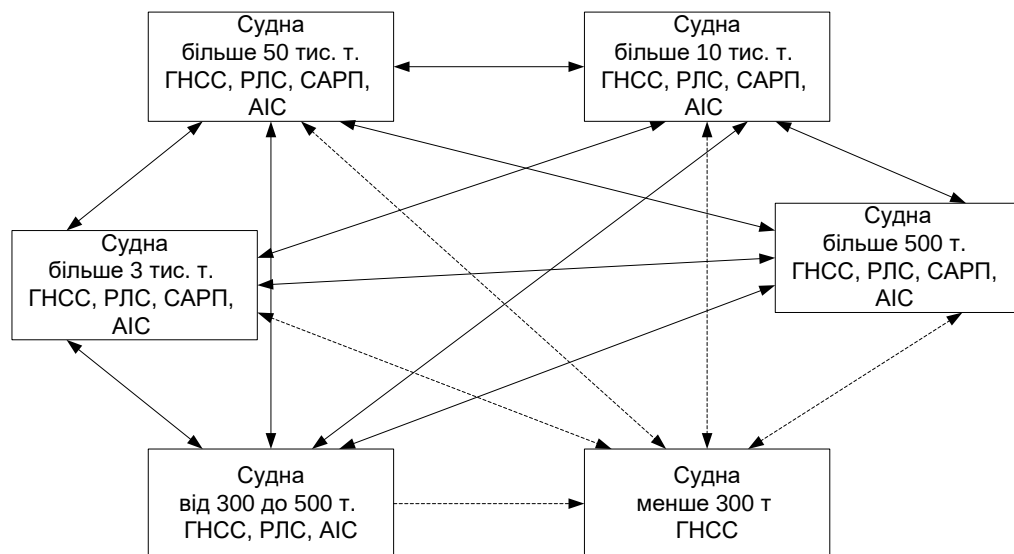


Рисунок 3 – Порядок обміну інформацією між судами різних типів

На рис. 3 позначено: ГНСС – глобальна навігаційна супутникова система; РЛС – радіолокаційна станція; САРП – система автоматизованої радіолокаційної прокладки трас; АІС – автоматична ідентифікація судна.

Математична модель руху судна, як управляємої динамічної системи $S(t)$ може бути представлена так:

$$S(t) = F(t, C, S(0), U(t), L(t), E(t)) \quad (2)$$

де F – оператор, який характеризує конкретну математичну модель судна; C – вектор постійних параметрів стану судна; $S(0)$ – сукупність змінних параметрів, які описують стан судна в нульовий момент часу; $U(t)$ – управляюча дія на судно в різні моменти часу; $L(t)$ – функція завантаженості судна; $E(t)$ – функція зовнішнього середовища та його впливу на судно (глибини в районі, швидкість вітру та течії, амплітудний та фазовий спектр хвилювання поверхні, спектр розповсюдження хвиль по акваторії за всіма частотами у часі, тощо).

Основними аспектами функціонування СППР БС, насамперед, є: цілеполювання, прогнозування, планування і узагальнення досвіду. Для опису стану судна з метою попередження зіткнення суден особливе значення має завдання прогнозування і побудови алгоритму руху судна на предмет необхідного маневру розходження суден $U(t)$ при відомих $C, F, S(t), L(t), E(t)$.

Підсистема обробки інформації та підсистема генерування рішень (процесор) виконує безпосередній та явно виражений локальний вплив на підсистеми, забезпечуючи безпеку плавання і маневрування. При цьому одним з найбільш важливих аспектів є сполучення цілеполюючої і реактивної функцій, що здійснює діяльність у динамічному нечіткому середовищі. Сполучення цих двох функцій здійснюється через динамічну зміну ситуації, сформованої судном “А” – типу для розходження N – суден на заданій відстані D_i . Дана структура відповідає ідеї агента, заснованого на принципах Переконавання-Бажання-Намір (Belief-Desire-Intention) (BDI) [8], що використовує точне представлення картини світу в символічній формі, а рішення приймаються на основі формальних міркувань та використання методів порівняння за зразком (деліберативні агенти).

У випадку існування небезпеки зіткнення однорідної групи суден “А” – типу (якщо $N > 2$) пропонується використовувати методи координації за допомогою протоколу обміну інформацією. Судна обмінюються один з одним інформацією за допомогою переговорів. Протокол взаємодії групи суден визначає схему (розподілений алгоритм), по якій ведуться такі переговори. Якщо позначити множину сприйняття – P , множину станів зовнішнього середовища E , а множину дій судна – A , то правила для судна з метою попередження зіткнення матиме вигляд:

$$des \subseteq Target(P, E, A) \quad (3)$$

Судно, що реалізує принципи BDI, вибирає специфічні дії з доступної множини можливих дій невизначеності ситуації $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ та намагається знайти та виконати кращий план π , що є серією дій, виконаних в деякому порядку.

Однією з відмітних властивостей даної моделі є здатність судна “А” – типу до побудови планів взаємодії з навколишнім середовищем. Плани являють собою визначені дії судна, що зберігаються в бібліотеці дій планів, що воно запускає для пошуку більшої кількості планів, щоб досягти розходження на безпечній відстані D_i . У залежності від поточної ситуації вибирається відповідний план дії для виконання. Якщо специфічний план досягнення мети зазнає невдачі, то вибирається інший план досягнення мети з усіх можливих планів. Процес пошуку закінчується знаходженням допустимого плану.

Для розв’язання конфліктів у “існуючих обставинах і умовах плавання” необхідно визначити міру сумісності дій для попередження зіткнення N – суден на всіх рівнях ієрархії. Процес оновлення $des' \subseteq Target(P, E, A)$ можна змоделювати відповідною функцією (*drf* – *desires revision function*). Функція перегляду переконань (*brf*) модифікує поточні переконання судна “А” – типу на основі множини всіх переконань *Bel* (як внутрішніх, так і зовнішніх), а також поточних результатів пізнавального процесу (перцепції *Per*):

$$brf: (Bel) \times Per \rightarrow Bel \quad (4)$$

“Інтерпретатор дій” здійснює перерахунок (ітерування) керуючих впливів, що задовольняє всіх учасників ПЗС, по ходу взаємного обміну інформацією про виконання управляючих дій для розходження з іншими судами за формулою (2.2) для досягнення на виході стану судна за формулою (2.3), що будуть задовольняти всіх учасників ПЗС і можуть бути безпосередньо реалізовані виконавчими механізмами судна.

Для реалізації об’єктно-орієнтованого підходу, розглянутого в дослідженні та переходу до більш ефективного управління безпекою судна, потрібні інтелектуальні системи нового класу. Такі системи повинні працювати в реальному часі, реагувати на події, виробляти рішення, оптимізувати ці рішення і постійно взаємодіяти з іншими судами в деякому районі плавання для вироблення й узгодження прийнятих рішень, після чого вести моніторинг і контролювати виконання спільно прийнятого колективного рішення.

Зазначені задачі повинні вирішуватися в інформаційно - управляючому судновому комплексі, структура якого показана на рис. 2.2.

У інформаційно - управляючому судновому комплексі можна виділити ряд рівнів управління (рис. 2.2). На кожному вищестоящому рівні задачі управління вирішуються з більшою точністю і кращою якістю при зменшенні ступеня участі судноводія в основному контурі управління. Даний підхід має важливе значення, оскільки в цьому випадку забезпечується зниження стомлюваності судноводія, і виключає суб’єктивні помилки. Розглянемо рівні автоматизації управління “інтелектуальним судном”. На рис. 2.2 прийняті наступні позначення: АНК - автоматизований навігаційний комплекс; АЕП - автоматизований електропривод; ОП - обчислювальний пристрій; ДЗВ - датчики збурюючих впливів; ДНІ - датчики навігаційної інформації; ДС - датчики станів; ДУО - датчики управляючих органів; МПУ - місцева пост управління; ПДУ - пост дистанційного управління; ПСП - пульт стежного пристрою; ПРУ – підрулюючий пристрій; РЛУ – рульовий пристрій; СЗОІ - система збору і обробки інформації; СК - схема контролю; СОНІ - система обробки навігаційної інформації; СОІ - система обробки інформації; СПІ - система представлення інформації; ССУ - система стежного управління; УО - управляємий об’єкт; ПС- пристрій сполучення; УП - управляючий пристрій; ЦПУ - центральний пульт управління.

Виконання плану переходу системою СУК полягає в підтримці відповідності між кінематичними параметрами судна та функціями часу, що задаються попередньою прокладкою траси судна. У цьому процесі управління виділяють водіння за маршрутом (СВМ) та регулювання швидкості бортовими системами водіння за маршрутом, які отримали офіційну назву Track Control Systems (TCS). СВМ керують курсом та бічним відхиленням від заданої лінії шляху, зводячи останнє до нульового значення.

Попередня прокладка, розрахована САП задається в пам’яті СВМ координатами точок повороту (WP - way points). Їм система надає порядкові номери, початкова точка маршруту вважається нульовою або першою. Частина шляху по локсодромії між двома сусідніми WP називається прямолінійним відрізком маршруту, а напрямок руху по ньому - курсом по відрітку маршруту (CUR - course under route). Відрізок маршруту, за яким в даний момент рухається судно, і шляхова точка, до якої воно йде, називають активними.

Згідно запропонованим до планування шляху вимогам, маршрут, крім прямих відрізків, повинний включати і задані радіусом криволінійні ділянки поворотів з одного прямолінійного відрізка на інший. При провідці судна за наміченою траєкторією СВМ використовує інформацію про положення, курс та швидкість судна, отримані від позиційного датчика, гірокомпаса та лага. Датчиком координат судна звичайно є

приймач координат GPS або DGPS. Ним також може бути приймач інших електронних позиційних систем та РЛС.

Для покращення якості проводки СВМ може використовувати інформацію додаткових датчиків: показчика швидкості повороту, датчика параметрів вітру, вимірювача параметрів хитами і т.д.

Висновок: Для досягнення цілей об'єктно-орієнтованого функціонування складних активних суднових технічних систем запропонована і реалізована ООМ інформаційно-управляючого суднового комплексу з використанням методів аналізу та синтезу підсистем, із застосуванням принципу функціональної декомпозиції, що здійснює циклічне рішення послідовності задач безпеки: підтримки внутрішніх параметрів судна в безпечних межах, забезпечення навігаційної безпеки плавання та попередження зіткнень судів.

Як технічний інструментарій підвищення ефективності системи складних технічних систем пропонується СППР - інтегрована інтелектуальна система семіотичного типу, що сполучає строги, формальні методи і моделі пошуку рішень з нестрогими, евристичними методами й моделями, які базуються на знаннях експертів, моделях людських міркувань, імітаційних моделях, неklasичних логіках та накопиченому досвіді.

Теоретичні положення та методи розробленої СППР реалізовані на прикладі задач прийняття рішень з підтримки внутрішньої та зовнішньої цілісності судна для рішення комплексу задач безпеки судноводіння наявними ресурсами судна, що можна кваліфікувати як нові підходи до побудови систем обробки інформації та прийняття рішень в управлінні рухом та судноводінні. Це дозволяє розширити можливості інформаційно-графічного моделювання і підвищити безпека судноводіння.

У ході дослідження отримано формалізований опис підсистем розроблювальної архітектури інтегрованої СППР, розроблено інтегрований підхід представлення і використання інформації для побудови інтегрованої СППР, що включає основні технологічні вимоги, вимоги до моделей даних та знань, до вибору інструментальних засобів і стратегій функціонування інтегрованої СППР, запропоновано метод синтезу структур й практична реалізація СППР безпеки судноводіння, як об'єктно-орієнтована реалізація запропонованих моделей і методів для створення програмних систем, що дозволяють виконувати підтримку прийняття рішень комплексом задач управління інформацією, базами даних і базою моделей, запропоновано алгоритми управління задачами системи безпеки судноводіння на основі СППР, ядро якої складає експертна система, що забезпечує побудову модулів СППР із метою ефективного аналізу слабоструктурованих проблем, запропоновано структуру інтерфейсу СППР, що забезпечує зв'язок між базами моделей, знань і даними, орієнтованого на людський фактор засобами та методами інтерфейсу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алиев, Р. А. Производственные системы с искусственным интеллектом / Р.А. Алиев, Н.М. Абдикеев, М.М. Шахназаров. М: Радио и связь. 1990. - 264 с.
2. Алтуни, А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях/А.Е. Алтуни, М.В. Семухин. – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. - 352 с.
3. Астанин, С. В. Поиск нечетких правил на основе анализа базы данных / С.В. Астанин, Н.К.Жуковская, Э.В.Чепиков // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. сб. науч.тр. – Таганрог.: Таганрог. радио тех. университет, 2000. – С. 232 - 239.
4. Астреин, В.В. Идентификация состояния судов / В.В.Астреин // Материалы научно-технической конференции. Стратегия развития транспортно-

- логистической системы Азово-черноморского бассейна. Новороссийск. РИО МГА им. адм. Ф.Ф.Ушакова, 2007.
5. Астреин, В.В. Когнитивная концепция системы поддержки принятия решений предупреждения столкновения судов / В.В.Астреин // Известия Вузов. Северо-Кавказский Регион. Технические науки. Спецвыпуск. Ростов-на-Дону, Ростовский Государственный Университет, 2008.
 6. Астреин, В.В. Формирование информационной модели состояния судна / В.В.Астреин // Спутник+, Естественные и технические науки №187(5), Москва, "ООО Издательство Спутник +", 2010.
 7. Астреин, В.В. Формальная модель гибридной системы логического вывода предупреждения столкновений судов / В.В. Астреин // Эксплуатация морского транспорта № 4(82), Новороссийск, РИО ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2016.
 8. Астреин, В.В. Процедура и схема согласования действий группы судов для предупреждения столкновений / В.В. Астреин // Эксплуатация морского транспорта № 1(83), Новороссийск, РИО ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2017
 9. Астреин, В.В. Методика решения задачи выбора структуры СППР безопасности судовождения / В.В. Астреин // Эксплуатация морского транспорта № 1(83), Новороссийск, РИО ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2017
 10. Атанс, М. Оптимальное управление / М. Атанс, П. Фалб. М.:Машиностроение, 1968.
 11. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде - В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений.- М.: Мир, 1976. - С. 172-215.
 12. Брайсон, А. Прикладная теория оптимального управления. Оптимизация, оценка и управление /А. Брайсон, Ю. Ши. М.: Мир, 1975.
 13. Бредихин К.Н. Распределенный вывод на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Теория и практика системного анализа : I Всерос. науч. конф. молодых ученых / К.Н.Бредихин, П.Р. Варшавский. - Рыбинск: РГАТА им. П.А. Соловьева, 2010. Т. 1. С. 57–62.1.
 14. Бугайченко, Д. Ю. Материалы диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей» / Д.Ю. Бугайченко. - Спб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 2007. -259 с.
 15. Бурков, В.Н. Теория активных систем: состояние и перспективы / Бурков В.Н., Новиков Д.А. - М.: Синтег, 1999. – 128 с.
 16. Бурмака, И. А. Поликритериальное управление процессом судовождения / И.А. Бурмака, С.А. Дудник // Судовождение. – 2006. – Вып. 12. – С. 26-30.
 17. Быков, А. Ю. Модели и алгоритмы построения распределенных систем поддержки принятия решений: дис. канд. тех.наук: 05.13.01 / Быков Андрей Юрьевич. М., 2003. – 148 с.
 18. Вагущенко, Л.Л. Повышение информативности судовых систем предупреждения столкновений / Л.Л. Вагущенко, А.Л. Вагущенко. // Судовождение: Вып. 16. – Одесса: «ИздатИнформ», 2009. — С. 18-26.
 19. Вагущенко, Л. Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко. - Одесса: Феникс, 2010. - 229 с.
 20. Городецкий, В.И. Многоагентные системы (обзор) / В.И. Городецкий, М.С. Грушинский, А.В.Хабалов // Новости искусственного интеллекта, - 1998. - № 2. - С. 64-116.
 21. Городецкий, В.И. Программная инфраструктура для поддержки концепции повсеместных вычислений в многоагентных P2P системах / В.И. Городецкий,

- О.В. Карсаев, В.В. Самойлов // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2008. - №4. - С. 51-56.
22. Городецкий, В.И. Прикладные многоагентные системы группового управления / В.И. Городецкий, О.В. Карсаев // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2009. - №2. - 24 с. .
23. Mastellone, S. Formation Control and Collision Avoidance for Multi-agent Non-holonomic Systems: Theory and Experiments / Silvia Mastellone, Dusan M. Stipanovic, Christopher R. Graunke, Koji A. Intlekofer and Mark W. Spong // The International Journal of Robotics Research Coordinated Science Laboratory, University of Illinois, Vol 27. No. 1, Janyary 2008. – P. 107-126.
24. Perepa, L.P. Fuzzy logic based decision making system for collision avoidance of ocean navigation under critical collision conditions / L.P.Perera, J.P. Cavalho, C. Guedes Soares. Lisbon: 2011. Centre for Marine Technology and Engineering (CENTEC), Technical University of Lisbon. p. 84-99/
25. SOLAS : Consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, and its Protocol of 1988: articles, annexes and certificates : IMO : 2004 edition – London.: IMO publication, 2005.- 565 p. ISBN 92-801-4183-X.
26. STCW : International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, as amended in 1995 and 1997: IMO : 2001 edition – London.: IMO publication, 2001.- 277 p. ISBN 978-92-801-5108-4.
27. Swift, A. J. Bridge team management [second edition] / Capt. A. J. Swift. London.: The Nautical Institute, 2004. – 118 p. ISBN 1-870077-66-0.
28. Wu Lee Gilbert Managing collision avoidance at sea / Capt. Gilbert Wu Lee C.J. Parker: A practical Guide. – First edition - London: The Nautical Institute, 2007. -181 p. ISBN 1 870077 86 5/

REFERENCES

1. Alyev, R. A. Production systems with artificial intelligence / R.A. Alyev, N.M. Abdykeev, M.M. Shakhnazarov. M: Radyo y sviaz. 1990. - 264 s.
2. Altunyn, A. E. Models and algorithms for decision making in fuzzy conditions /A.E. Altunyn, M.V. Semukhyn. – Tiumen: Yzd-vo Tiumenskoho hosudarstvennoho unyversyteta, 2000. - 352 s.
3. Astanyn, S. V. Models and algorithms for decision making in fuzzy conditions / S.V. Astanyn, N.K.Zhukovskaia, Э.В.Чепыков // Perspektivnye ynformatsyonnye tekhnolohyy y yntellektualnye systemy. sb. nauch.tr. – Tahanroh.: Tahanroh. radyo tekhn. unyversytet, 2000. – S. 232 - 239.
4. Astreyn, V.V. Identification of the condition of ships / V.V.Astreyn // Materyaly nauchno-tekhnycheskoi konferentsyy. Stratehya razvytyia transportno-lohystycheskoi systemy Azovo-chernomorskoho basseina. Novorossyisk. RYO MHA ym. adm. F.F.Ushakova, 2007.
5. Astreyn, V.V. Cognitive concept of ship collision prevention decision support system / V.V.Astreyn // Yzvestyia Vuzov. Severo-Kavkazskiy Rehyon. Tekhnycheskiye nauky. Spetsvypusk. Rostov-na-Donu, Rostovskiy Hosuniversityet, 2008.
6. Astreyn, V.V. Formation of an information model of the state of the vessel / V.V.Astreyn // Sputnik+, Estestvennyye y tekhnnycheskiye nauky №187(5), Moskva, "OOO Yzdatelstvo Sputnik +", 2010.
7. Astreyn, V.V. Formal model of a hybrid system of logical inference of collision prevention of ships / V.V. Astreyn // Эkspluatatsiya morskoho transporta № 4(82), Novorossyisk, RYO HMU ym. adm. F.F. Ushakova, 2016.

8. Astreyn, V.V. Procedure and scheme for coordinating the actions of a group of vessels to prevent collisions / V.V. Astreyn // *Eksploatatsiya morskoho transporta* № 1(83), Novorossyisk, RYO HMU ym. adm. F.F. Ushakova, 2017
9. Astreyn, V.V. Methods for solving the problem of choosing the structure of DSS navigation safety / V.V. Astreyn // *Eksploatatsiya morskoho transporta* № 1(83), Novorossyisk, RYO HMU ym. adm. F.F. Ushakova, 2017
10. Atans, M. Optimal management / M. Atans, P. Falb. M.: Mashynostroenye, 1968.
11. Bellman, R. Decision making in vague conditions / R. Belman, L. Zade - V kn.: *Voprosy analiza y protsedury pryniatyia reshenyi.* - M.: Myr, 1976. - S. 172-215.
12. Braison, A. Applied theory of optimal control. Optimization, evaluation and management/A. Braison, Yu. Shy. M.: Myr, 1975.
13. Bredykhyn K.N. Distributed conclusion based on precedents in intelligent decision support systems // *Teoriya y praktyka systemnoho analiza : I Vseros. nauch. konf. molodykh uchennykh* / K.N.Bredykhyn, P.R. Varshavskiy. - Rybinsk: RHATA ym. P.A. Soloveva, 2010. T. 1. S. 57–62.1.
14. Buhaichenko, D. Yu. Materials of the dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of physical and mathematical sciences on a specialty "Mathematical and software of computers, complexes and computer networks"/ D.Iu. Buhaichenko. - Spb.: Sankt-Peterburhskiy gosudarstvennyi unyversytet, 2007. - 259 s.
15. Burkov, V.N. Theory of active systems: state and prospects / Burkov V.N., Novykov D.A. - M.: Synteh, 1999. – 128 s.
16. Burmaka, Y. A. Multicriteria management of the navigation process / Y.A. Burmaka, S.A. Dudnyk // *Sudovozhdenye.* – 2006. – Выр. 12. – S. 26-30.
17. Быков, А. Ю. Models and algorithms for building distributed decision support systems: 05.13.01 / Быков Andrei Yurevych. M., 2003. – 148 s.
18. Vahushchenko, L.L. Improving the informativeness of ship collision avoidance systems / L.L. Vahushchenko, A.L. Vahushchenko. // *Sudovozhdenye: Выр. 16.* – Odessa: «YzdatYnform», 2009. — S. 18-26.
19. Vahushchenko, L. L. Support for decisions on disagreement with the courts / L. L. Vahushchenko, A. L. Vahushchenko. - Odessa: Fenyks, 2010. - 229 s.
20. Horodetskyi, V.Y. Multi-agent systems (overview)/ V.Y. Horodetskyi, M.S. Hrushynskiy, A.V.Khabalov // *Novosty yskusstvennoho yntellekta*, - 1998. - № 2. - S. 64-116.
21. Horodetskyi, V.Y. Software infrastructure to support the concept of ubiquitous computing in multi-agent P2P systems / V.Y. Horodetskyi, O.V. Karsaev, V.V. Samoilov // *Ynformatsyonnye tekhnolohyy y vychyslytelnye systemy.* - 2008. - №4. - S. 51-56.
22. Horodetskyi, V.Y. Applied multi-agent group control systems / V.Y. Horodetskyi, O.V. Karsaev // *Yskusstvennyi yntellekt y pryniatyie reshenyi.* - 2009. - №2. - 24 s.
23. Mastellone, S. Formation Control and Collision Avoidance for Multi-agent Non-holonomic Systems: Theory and Experiments / Silvia Mastellone, Dusan M. Stipanovic, Christopher R. Graunke, Koji A. Intlekofer and Mark W. Spong // *The International Journal of Robotics Research Coordinated Science Laboratory, University of Illinois*, Vol 27. No. 1, Janyary 2008. – P. 107-126.
24. Perepa, L.P. Fuzzy logic based decision making system for collision avoidance of ocean navigation under critical collision conditions / L.P.Perera, J.P. Cavalho, C. Guedes Soares. Lisbon: 2011. Centre for Marine Technology and Engineering (CENTEC), Technical University of Lisbon. p. 84-99/
25. SOLAS : Consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, and its Protocol of 1988: articles, annexes and certificates : IMO : 2004 edition – London.: IMO publication, 2005.- 565 p. ISBN 92-801-4183-X.

26. STCW : International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, as amended in 1995 and 1997: IMO : 2001 edition – London.: IMO publication, 2001.- 277 p. ISBN 978-92-801-5108-4.
27. Swift, A. J. Bridge team management [second edition] / Capt. A. J. Swift. London.: The Nautical Institute, 2004. – 118 p. ISBN 1-870077-66-0.
28. Wu Lee Gilbert Managing collision avoidance at sea / Capt. Gilbert Wu Lee C.J. Parker: A practical Guide. – First edition - London: The Nautical Institute, 2007. -181 p. ISBN 1 870077 86 5/

Мельник О.В., Шапран Ю.Є., Матюхов А.Т., Бойко О. А.

RESEARCH OF THE SYSTEM OF SUPPORTING THE DECISION-MAKING OF SAFETY SAFETY

The article is devoted to the study of the decision support system for navigation. Today, there are sophisticated intelligent systems that help model objects and the environment; high-precision positioning systems for water transport; high-speed computing systems that are able to perform the necessary calculations in a short time. However, despite the endowment of man with new resource opportunities to ensure safety in human-machine systems, the expected level of accidents and deaths after the introduction of new equipment has not decreased significantly. The reason for such failures, first of all, should be sought in the methods and approaches of decision making. In complex technical systems, which include water transport, the decision-maker at the stages of selection and forecasting is not only the most unreliable, but also the most unpredictable link. During the study, the following tasks were solved: a meaningful description of the organization of safety at sea and the formalization of this task; analysis of decision-making methods in conditions of uncertainty and methods of building decision support systems; - developed object-oriented technology for designing a decision support system for navigation safety; synthesis of the system of decision support of navigation safety of its navigation, its separate elements is carried out and algorithms of functioning and interaction are developed.

To achieve the goals of object-oriented operation of complex active ship technical systems proposed and implemented OOM information and control ship complex using methods of analysis and synthesis of subsystems, using the principle of functional decomposition, which provides a cyclical solution to the sequence of safety tasks: maintaining internal parameters of the vessel within safe limits, ensuring navigational safety of navigation and prevention of collisions of vessels.

Key words: navigation, safety, technical systems, ship complex, technical systems.

Мельник О.В., Шапран Ю.Е., Матюхов А.Т., Бойко О. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СУДОВОЖДЕНИЯ

Статья посвящена исследованию системы поддержки принятия решения безопасности судоходства. На сегодняшний день существуют сложные интеллектуальные системы, которые помогают моделировать объекты и окружающую среду; высокоточные системы позиционирования водного транспорта; быстродействующие вычислительные комплексы, которые способны выполнять необходимые расчеты в сжатые сроки. Однако, несмотря на наделение человека новыми ресурсными возможностями для обеспечения безопасности в человеко-машинных системах, ожидаемый уровень аварийности и гибели после внедрения новой техники существенно не уменьшился. Причину таких неудач, прежде всего, следует искать в методах и подходах принятия решений. В сложных технических системах, к которым относится и водный транспорт, лицо, принимающее решение на этапах

выбора и прогнозирования является не только самой ненадежной, но и самой непредсказуемой звеном. В ходе исследования были решены следующие задачи: проведен содержательный анализ организации безопасности на море и формализацию данной задачи; анализ методов принятия решений в условиях неопределенности и методов построения систем поддержки принятия решения; - разработан объектно-ориентированную технологию проектирования системы поддержки принятия решения по безопасности судоходства; проведен синтез системы поддержки принятия решения безопасности судоходства, отдельных ее элементов и разработать алгоритмы функционирования и взаимодействия.

Для достижения поставленных целей объектно-ориентированного функционирования сложных активных судовых технических систем предложена и реализована ООМ информационно-управляющего судового комплекса с использованием методов анализа и синтеза подсистем, с применением принципа функциональной декомпозиции, осуществляет циклическое решение последовательности задач безопасности: поддержки внутренних параметров судна в безопасных пределах, обеспечения навигационной безопасности плавания и предупреждения столкновений судов.

Ключевые слова: судоходства, безопасности, технические системы, судовой комплекс, технические системы.

Горбань А.В., Маранов О.В., Клочков Ю.П., Дорофєєва З.Я.

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДЕН З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ

У статті досліджена можливість інформаційного забезпечення для моніторингу та управління рухом суден з використанням даних супутникової навігації. Розглянуті елементи системи безпеки судноводіння. Вирішення завдань, пов'язаних з безпекою судноводіння і своєчасною доставкою вантажів, екологічним захистом прибережної зони, вимагає чіткого моніторингу руху суден і управління швидкостями потоків судів або окремих суден. Для цієї мети необхідне впровадження нових сучасних радіотехнічних засобів на базі високоточних супутникових навігаційних технологій та застосування систем, які забезпечують безпеку плавання судів. Дані обставини вимагають створення в регіонах систем керування судноплавством з таким навігаційним забезпеченням, яке б у максимальному ступені знижувало ризик аварій судів при плаванні в прибережних водах, на підходах до портів, у портових водах, у вузкостях, на внутрішніх водних шляхах, де свобода маневрування обмежена. У дослідженні представлено рішення актуальної наукової задачі з розробки математичного забезпечення формування високоточних полів місцевизначення, річкової диференціальної підсистеми GPS, для створення суцільних високоточних телекомунікаційних полів у СХ та ПХ діапазонах з урахуванням впливу полі компонентної підстилаючої поверхні, параметрів приймально-передаючого обладнання та урахування загоризонтної рефракції, яка має важливе значення для водного транспорту.

Ключові слова:

Постановка проблеми. Однією з найважливіших проблем сучасного внутрішнього водного транспорту є забезпечення потрібного рівня безпеки плавання при навігації, як у морських районах, так і на внутрішніх водних шляхах (ВВШ) при відповідному рівні організації транспортного процесу в цілому. Це пояснюється збільшенням інтенсивності судноплавства на ВВШ (особливо на р. Дніпро та портах Одеса, Південний, Маріуполь), впровадженням сучасних, більш швидкісних, збільшеної вантажопідйомності річкових суден та суден "ріка-море" плавання. Сучасне ефективне конструктивне рішення завдань навігації полягає у переході від лоцманського до інструментального методу судноплавства на ВВШ, що базується на використанні електронно-картографічних систем, систем високоточного позиціонування на основі супутникових радіонавігаційні системи GPS і з впровадженням у процес управління та моніторингу інфокомунікаційних систем.

Впровадження даних систем неможливо без сформованого в їх зоні дії суцільного поля диференціальної поправки. В акваторіях ВВШ України таке поле може бути сформоване у середньохвильовому (СХ) діапазоні контрольно-коригувальними станціями (ККС) локальної диференціальної підсистеми (ЛДПС) GPS. У такий спосіб для забезпечення більш високого рівня безпеки судноплавства, повноцінного моніторингу та управління транспортним процесом на ВВШ однією з найбільш актуальних завдань є створення топології зон дії ККС ЛДПС, які використовуються для передачі коригувальної інформації у СХ діапазоні. Реалізація даного завдання безпосередньо пов'язана з урахуванням впливу підстилаючих поверхонь, загоризонтної рефракції та параметрів інфокомунікаційного обладнання на процес передачі

коригувальної інформації поверхневою хвилею СХ діапазону. Отже при побудові практично будь-яких інфокомунікаційних систем та їх функціональних доповнень існує необхідність якісного визначення топології комплексного радіонавігаційного поля високоточного позиціонування з урахуванням часткових варіацій зон дії всіх ККС ЛДПС, які приймають участь у створенні даного поля, у тому числі визначити дальність передачі диференціальних виправлень у СВ та проміжно хвильовому (ПХ) діапазоні. Це безпосередньо пов'язано із забезпеченням безпеки судноплавства та оптимізацію планування транспортного процесу на ВВШ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Супутниковій навігації присвячена значна кількість наукових робіт, проте поза увагою лишається моніторинг та управління судном з використанням даних супутникової навігації.

Метою статті є підвищення безпеки судноплавства на ВВШ шляхом обґрунтування створення суцільних високоточних телекомунікаційних полів у СХ з урахуванням впливу полікомпонентної підстилаючої поверхні, параметрів прийомопередаючого обладнання та урахування загоризонтної рефракції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Система безпеки судноводіння (СБС) складається з таких аспектів безпеки як забезпечення внутрішньої і зовнішньої цілісності судна, навігаційної безпеки та попередження зіткнень суден (рисунок 1).

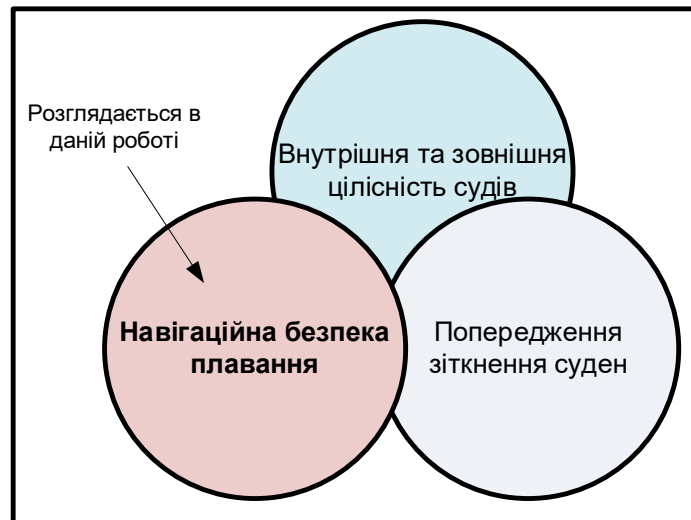


Рисунок 1 – Елементи системи безпеки судноводіння

Навігаційна безпека плавання (НБП) – стан судна в конкретних обставинах та умовах, коли забезпечується мінімальний ризик посадки судна на мілину, торкання ґрунту, зіткнення зі штучною або природною перешкодою, виходу судна в результаті навігаційних помилок за межі встановленої зони або акваторії. Судно означає кожен описаний плавучий засіб, який використовується або здатний використовуватися як засіб пересування по воді. Крім як мати здатність пересуватися по воді, судно повинне позначати свою присутність і характер дій, виконувати запропоновані МППЗС-72 вимоги в частині несення вогнів, знаків, подачі звукових сигналів, організації спостереження і дій, необхідних для забезпечення безпеки.

Судноводій є управляючою ланкою в структурі судна. На 65-ій сесії Комітету з безпеки на морі (вересень 1995 р.) ІМО судноводій був представлений як об'єкт впливу ряду різних факторів: "середовища", придбаних навичок та здібностей. Під елементом "навколишнє середовище" розуміється сукупність факторів, які мають різну природу, виконують впливаючі дії, у тому числі і негативний вплив на судно та судноводія, а також можуть призводити до небезпеки зіткнення або загибелі людей.

Взаємозв'язок елементів судно, судноводій і навколишнє середовище, що

представляють деяку структуру, призначену для прогнозування виникнення небезпечних ситуацій, що мають наслідком руйнування судна, і здатну вживати заходів щодо їх запобігання називається Системою безпеки судноводіння (рисунок 2).

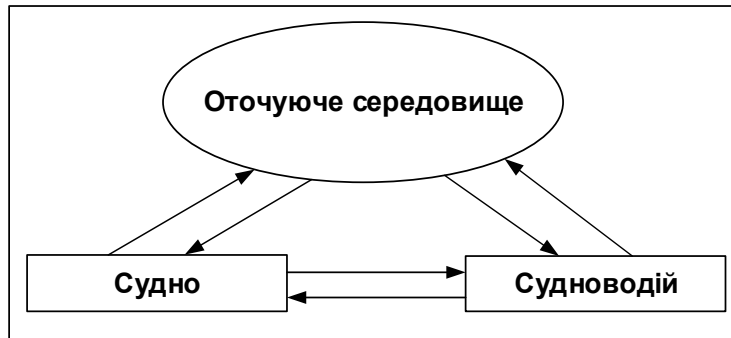


Рисунок 2 – Система безпеки судноводіння

Для рішення проблем аварійності на флоті ІМО розробила Систему управління безпекою (СУБ) – структуровану і документовану систему, яка дає можливість персоналу проводити політику судноплавної Компанії в області безпечного управління і захисту навколишнього середовища.

Таким чином, існуюча СУБ побудована на кодексах, конвенціях, постановах та інших законодавчих актах, які містять ряд методологічних формулювань, дозволили побудувати механізм підтримки безпеки мореплавання. Вважається, чим більше бар'єрів на шляху помилок судноводія, тим менше імовірність виникнення аварії або інциденту.

Рішення завдань, пов'язаних з безпекою судноводіння (БС) і своєчасною доставкою вантажів, екологічним захистом прибережної зони, вимагає чіткого моніторингу руху суден і управління швидкостями потоків суден або окремих суден. Для цієї мети необхідне впровадження нових сучасних радіотехнічних засобів на базі високоточних супутникових навігаційних технологій та застосування систем, які забезпечують безпеку плавання судів.

Дані обставини вимагають створення в регіонах систем керування судноплаванням з таким навігаційним забезпеченням, яке б у максимальному ступені знижувало ризик аварій суден при плаванні в прибережних водах, на підходах до портів, у портових водах, у вузькостях, на внутрішніх водних шляхах, де свобода маневрування обмежена.

Технічно це реалізується шляхом будівництва ланцюга контрольно-коригувальних станцій глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС), які забезпечують високоточне навігаційне перекриття судноплавних шляхів, ланцюгів системи управління рухом суден (СУРС), що дозволяють контролювати рух суден у всіх проблемних, з погляду навігації, акваторіях, і ланцюгів базових станцій автоматизованих ідентифікаційних систем (АІС), які забезпечують моніторинг морського району уздовж всього узбережжя.

Вимоги до точності місцевизначення судна визначені Резолюцією ІМО А.953 (23). Для надійного навігаційного забезпечення суден, безпеки їх плавання, підвищення ефективності їх експлуатації і запобігання екологічних нещасть у прибережних водах, на підходах до портів та внутрішніх водних шляхах похибка місця розташування судна не повинна перевищувати 10 м для $P=95\%$. Найбільше повно міжнародним та національним вимогам до навігаційного забезпечення морських і річкових й споживачів задовольняють ГНСС при роботі в диференційному режимі.

Для забезпечення безпеки судноплавання використовуються контрольні коригувальні станції (ККС). ККС ГНСС GPS призначена для забезпечення безперервного високоточного визначення координат у межах заявленої робочої зони.

Склад обладнання ККС наведений на рисунку 3.



Рисунок 3 – Склад обладнання контрольної коригувальної станції

Основні технічні характеристики елементів, які входять до типового ККС GPS:

- точність виміру псевдодальності: 0,3 м (1 СКП);
- точність виміру псевдошвидкості, м/с: 0,04 (1 СКП);
- інтервал відновлення і видачі даних - < 1 с.

Розподіл супутників на орбітах і структура їх сигналів визначають два основних обмеження при виборі місця для розміщення супутникових антен. Опорна станція формує диференціальні поправки для супутників, кути, узвишся яких над обрієм від $7,5^\circ$. Різні будівлі й інші об'єкти можуть викликати затінення антен у горизонтальній площині. Отже, супутникові антени повинні розташовуватися в такому місці, щоб мінімізувати вплив навколишніх об'єктів у горизонтальній площині діаграми спрямованості антен. Другим фактором є ефект багатопроменевості прийнятих сигналів. Ефект виникає за рахунок відображення супутникових сигналів від близько розташованих до антени металевих об'єктів, будівель, що мають добру відбиваючу здатність. Отже, металеві конструкції, щогли та інші предмети, що знаходяться поблизу супутникових прийомних антен, повинні бути вилучені.

У процесі розробки логіко-інформативної моделі системи радіонавігаційного забезпечення безпеки плавання на внутрішніх судноплавних шляхах (ВСШ) необхідно виділити три основні підсистеми: судно, як об'єкт керування; засоби позиціонування, які забезпечують зовнішній зворотний зв'язок, і внутрішні водні шляхи.

Траскторію руху судна можна розглядати як сукупність прямолінійних і криволінійних ділянок, які характеризуються довжиною, радіусом циркуляції та кутом повороту. При цьому смуга водного шляху B_{xn} , займана судном при його русі, є функцією як власних параметрів судна:

- габаритних розмірів (довжина, ширина, осідання);
- лінійної швидкості руху;
- статичної характеристики керованості;
- динамічних характеристик керованості;
- якості і виду керування (ручного або автоматичне),

так і зовнішніх факторів навколишнього середовища:

- сили та курсового кута вітру;
- швидкості і напрямки плину;
- хвилювання водної поверхні.

Зсув центра ваги (ЦВ) судна з лінії заданого шляху (ЛЗШ), викликане похибками управління і зносом від течії та вітру, визначається величиною Y , що залежить від методів позиціонування. Зміщення Y визначається за даними від зовнішніх джерел інформації, наприклад, по зміщенню судна з лінії лінійного створу, або за результатами обробки радіонавігаційних параметрів, або за даними засобів збереження інформації про рух судна.

З іншого боку, БС конкретного судна визначається характеристиками водного шляху, такими як:

- ширина суднового ходу ($2 B_{cx}$)

- радіус судового ходу (R_{cx});
- кут повороту (КП);
- глибина;
- характер ґрунта;
- характер руху (одно-, двосторонній);
- напрямком та швидкістю течії.

У свою чергу співвідношення характеристик водного шляху та судна, як об'єкта управління, дозволяє зробити розрахунок зони навігаційної безпеки - Δ виходячи з наступного співвідношення (рис. 4):

$$\Delta = (B_{cx} - B_{\delta}). \quad (1)$$

При розрахунку ширини ходової смуги, займаної судном при проведенні з урахуванням дрейфу (вітрового і на циркуляції) приймався найбільш несприятливий варіант, коли судно випливає в баласті, а курсовий кут удаваного вітру такий, що викликає максимальний вітровий дрейф β_B , який, у свою чергу, співпадає за напрямком з дрейфом судна на циркуляції - β_{Δ} .

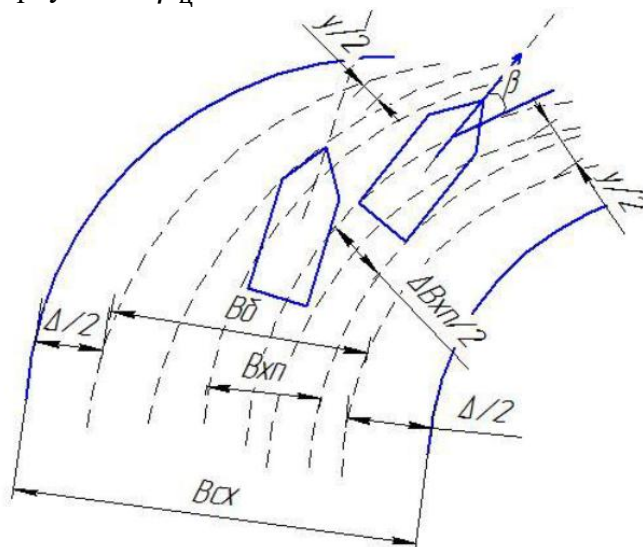


Рисунок 4 – Розрахунок зони навігаційної безпеки

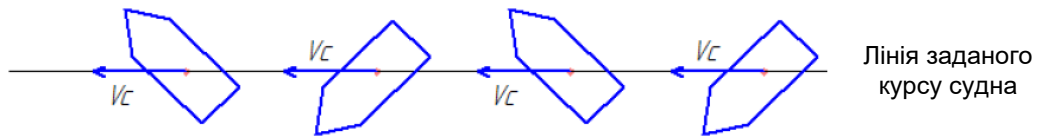
Високочастотна складова похибок управління, коли вектор швидкості судна збігається з лінією заданого шляху (рисунок 5, а), призводить до збільшення кута дрейфу судна.

У цьому випадку допустимо приймати значення кута дрейфу, що дорівнює куту ризику судна. Низькочастотна складова похибок управління, коли вектор швидкості судна не співпадає з лінією заданого шляху (рисунок 5, б) призводить до зміщення ЦВ судна на величину Y .

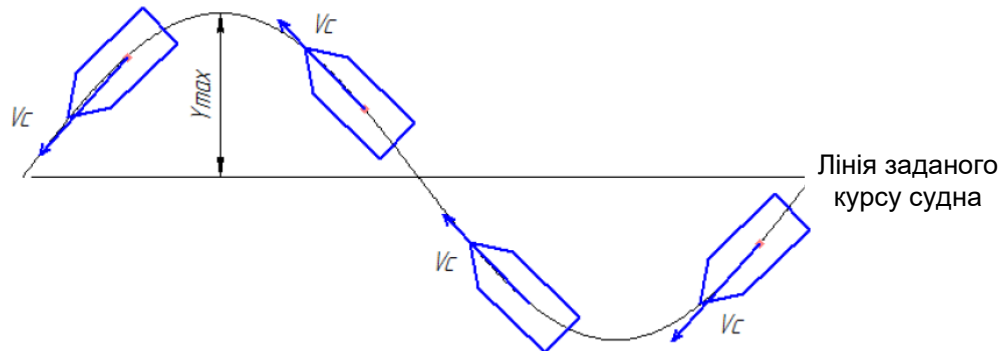
Таким чином, відношення характеристик водного шляху та судна дозволяє провести розрахунок зон навігаційної безпеки A та провести оцінку ймовірності відсутності навігаційної події.

При двосторонньому русі по основних судноплавних шляхах припустима СКП при безперервному позиціонуванні складе 3 м при самих несприятливих умовах. Вона представляється деякою мірою завищеною, оскільки похибки управління U_{np} отримані при ручному управлінні судном та традиційному методі візуального орієнтування по знаках шляхової обстановки. При необхідності уточнення похибки управління з урахуванням допустимої СКП місця судна можна використовувати рівняння руху

системи автоматичного управління судном на траєкторії з використанням в якості датчика зовнішнього зворотного зв'язку показника швидкості повороту (ПШП) та інформації про відхилення ЦВ судна від осі фарватеру.



а) Високочастотна складова шляху судна



б) Низькочастотна складова похибки управління
Рисунок 5 – Похибки управління

На рисунку 6 наведена структурна схема логіко-інформаційної моделі управління з урахуванням інерційних характеристик судна та регулятора τ_c , τ_p , τ_z , коефіцієнтів передачі судна K_c за керуючим впливом, K_p – регуляторів K_1 , K_3 , K_6 та K_7 – відповідно блоків формування закону керування. Таким чином, можна визначити необхідну точність і дискретність позиціонування, тобто сформулювати основні вимоги до радіонавігаційних систем.

При розгортанні диференціальних систем необхідно вирішити три основні проблеми:

- забезпечити задану точність визначення координат у робочій зоні з урахуванням можливого росту похибок у залежності від видалення від контрольної точки, для якої вони були визначені;
- оцінити зміни виправлень у часовій області, що дозволить сформулювати вимоги до "часу" виправлень, виходячи з умов точності;
- забезпечити безперервну передачу даних, включаючи диференціальні виправлення, інформацію про цілісність та іншу необхідну інформацію з заданою швидкістю і вірогідністю.

Рішення зазначеного вище блоку проблем дозволяє сформулювати концепцію радіонавігаційного забезпечення безпеки плавання судів на ВСШ, включаючи пропозиції з топології системи ККС.

Характерною рисою при русі річкових суден в умовах обмеженої видимості, в системах автоматичного управління курсом (річкових авторулевих) є застосування показників швидкості повороту (ПШП). Отже, для плавання по обчисленню на ВСШ використовується інформація про кутову та лінійну швидкості судна.

На відміну від морських умов, на ВСШ при русі на криволінійних ділянках інформація тільки від засобів числення не забезпечує безпеки плавання. Також апроксимація маршруту відрізками прямих ліній на ВСШ недостатня. У формат шляхових точок повинен закладатися радіус повороту, кут повороту та маршрутні

координати X початку повороту. У випадках, коли поворот судна буде зроблений з погрішністю за часом Δt , це приведе до зсуву точки повороту уздовж осі суднового ходу.

Результати досліджень, виконані з використанням логіко-інформаційної моделі представлені в таблиці 1.

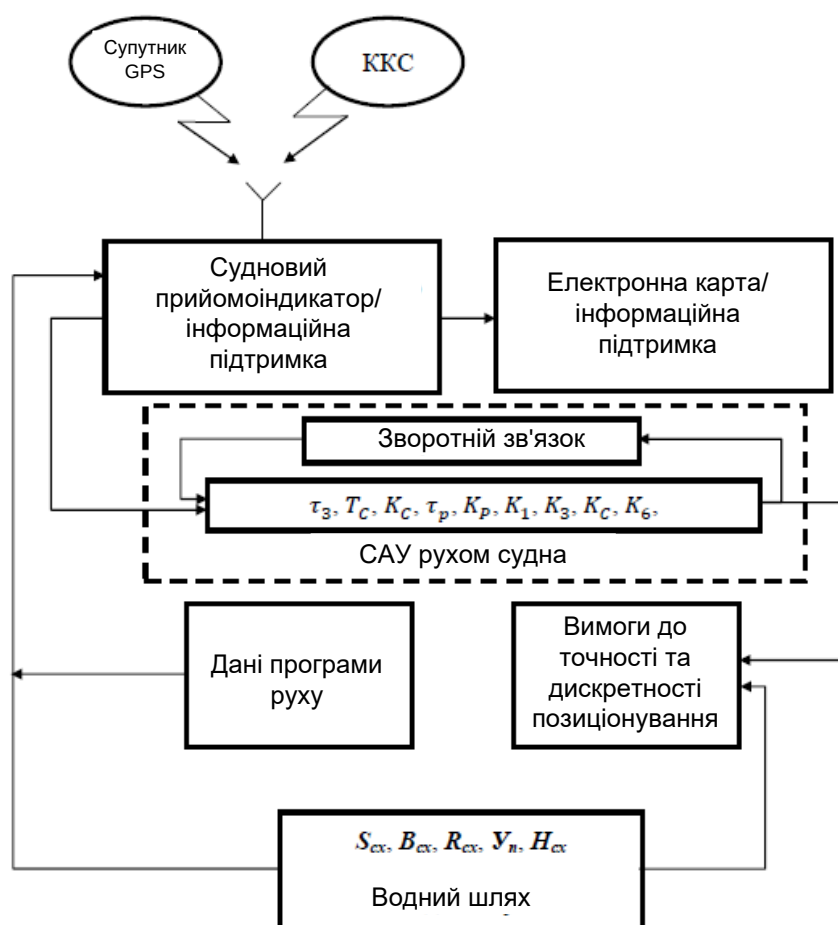


Рисунок 6 – Логіко-інформаційна модель управління рухом судна

Таблиця 1 – Результати досліджень, виконані з використанням логіко-інформаційної моделі

Завдання, які вирішуються	Райони плавання	Радіальна похибка позиціонування, м ($P=0,95$)
Рух судна по внутрішніх водних шляхах	1. Озера та водоймища	25,0-45,0
	2. Річки	5,0-10,0
	3. Канали	2,0-5,0
Розміщення знаків судноплавної обстановки і визначення габаритів ВВП	1. Озера и водоймища	2,5-4,5
	2. Річки	0,5-1,0
	3. Канали	0,3-0,5

Таким чином, для забезпечення безпеки плавання на ВВП, за винятком особливо скрутних для судноплавства ділянок, радіальна похибка позиціонування не повинна перевищувати 10 м (з $P = 0,95$) при дискретності обсервації 5-10 с з використанням засобів числення і 1-2 с при безпосередньому керуванні судном по сигналах ГНСС (індикаторний режим).

При ширині суднового ходу більш 80-100 м, коли забезпечення імовірності відсутності навігаційної події значно більш, ніж 0,997, тобто коли критерій безпеки руху виконаний, варто брати до уваги так званий економічний критерій, який мінімізує пропульсивні втрати судна на ділянці маршруту в залежності від точності позиціонування та методів управління.

Природно, що на основі аналізу результатів натурних іспитів у реальних умовах плавання розроблена дана модель забезпечення безпеки буде уточнюватися та вдосконалюватися.

При використанні диференціальних методів позиціонування виключаються систематичні похибки. Тому точність виправлень у робочій зоні буде визначатися:

- випадковими похибками у контрольній точці та у місці прийому на судні;
- ростом похибки у залежності від дистанції до контрольної точки, у якій вони були визначені;
- змінами похибок у часовій області.

Перераховані вище випадкові похибки призводять до еквівалентної похибки виміру псевдодальності 3,97 м (1σ) і до результуючої похибки визначення координат (у горизонтальній площині) у 4 м при геометричному факторі, що дорівнює трьом.

Найбільший вплив на похибку буде робити зміна кута піднесення супутника – E . Ця зміна буде максимальною при розташуванні судна, контрольної точки та супутника в одній площині (рис. 7).

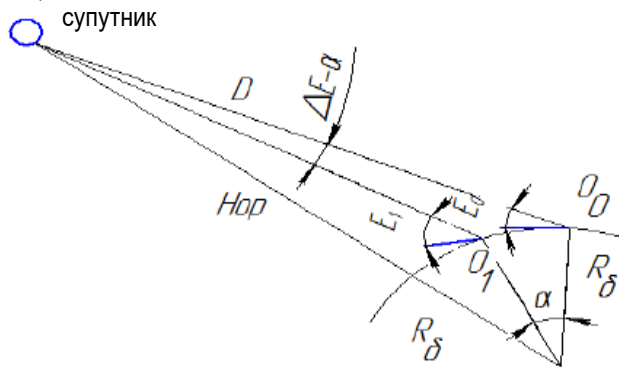


Рисунок 7 – Вплив на похибку зміни кута піднесення супутника

Аналіз результатів розрахунку показує, щоб дотримати порядку точності системи при видаленні понад 500-700 км від контрольної точки варто обмежити використання супутників з кутами піднесення більше за 10° . Отримані результати мають потребу в експериментальній перевірці з урахуванням часу доби, географічної широти, часу року та фази циклу сонячної активності, забезпечення в робочій зоні потрібну точність з ймовірністю 0,95.

При часі дифпоправки до 10...15 с зміна швидкості іоносферної та тропосферної затримок істотного значення на точність позиціонування не має. Деградація похибки при віддаленні від контрольної точки з 100 км до 500 км збільшується в 5 разів при кутах підвищення супутників.

Одним з найважливіших експлуатаційних параметрів локальних диференціальних підсистем системи зв'язку та радіонавігації, що працюють у СХ діапазоні, є форма периметра зони дії. Як правило, її визначають шляхом розрахунку дальності поширення сигналу ККС, що містить коригувальну інформацію з урахуванням параметрів приймально-передаючого обладнання.

На процеси поширення поверхневих радіохвиль, особливо у СХ діапазоні, значно впливає підстилаюча поверхня, над якою здійснюється поширення таких радіохвиль. Підстилаюча поверхня володіє неоднорідними електромагнітними властивостями. Однак таку поверхню можна представити у виді кусочно-однорідної поверхні, де кожна з ділянок має достатню довжину в порівнянні з довжиною радіохвилі λ . У такому

випадку будемо вважати перехідні області між ділянками досить малими в порівнянні з довжиною хвилі.

Ефективні значення параметрів підстилаючої поверхні визначаються не тільки характером ґрунту, але й вмістом у ній води, температурою ґрунту, робочою частотою, загальною геологічною структурою земної поверхні, ефективною глибиною проникнення радіохвилі в ґрунт та бічний розкид хвиль. Крім того, поглинання електромагнітної енергії може бути досить значним при поширенні радіохвилі над поверхнею заповненою рослинністю (ліс, чагарник, тощо), будинками, а також іншими особливостями рельєфу.

Вміст води в землі, безсумнівно, є досить значним фактором, що визначає її електричні параметри (рисунк 8).

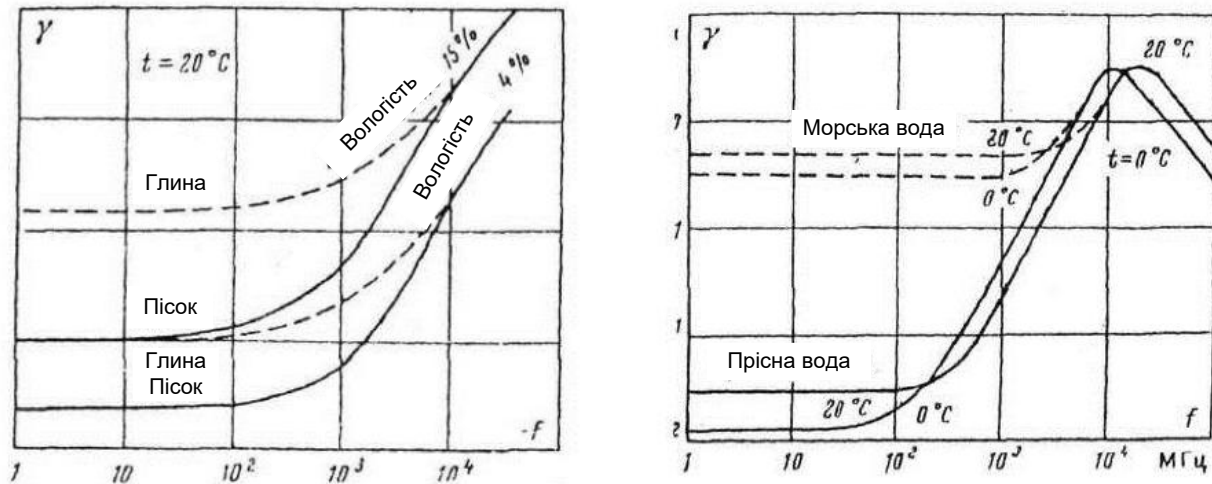


Рисунок 8 – Частотні залежності електричних параметрів ґрунтів різної вологості

По мірі збільшення вмісту води від малої величини параметри провідності ґрунту покращувалися і досить швидко можуть досягати максимальних значень. На глибині більше метра має місце значна вологість ґрунту, причому це значення в основному стабільно.

Температурний коефіцієнт провідності зразків ґрунту різного типу є величиною порядку 2% на градус шкали Цельсія.

Геологічна структура. Ефективні параметри зони, району або радіотраси, як правило, визначаються не тільки характером поверхневого шару ґрунту, але і шаруватістю поверхні по глибині.

Вплив непрямих радіотрас. Радіосигнал, прийнятий у точці прийому, як правило, поширюється по декількох радіотрасах. Таким чином, при розрахунку радіолінії необхідно враховувати параметри підстилаючої поверхні не тільки уздовж основної траси, але також і в зоні проходження непрямих радіотрас.

Предмети, розташовані на поверхні землі, не роблять безпосереднього впливу на електромагнітні властивості підстилаючої поверхні, однак такі перешкоди можуть помітно послабляти радіохвилі, які перетинають їх або поширюються в безпосередній близькості.

Таким чином, проведено аналіз факторів, які впливають на розповсюдження радіохвиль.

Розглянемо алгоритми визначення вертикальної складової напруженості диференціального радіонавігаційного поля.

За допомогою моделі М.В. Шулейкіна – В. Ван-дер-Поля представляється можливим розраховувати амплітуду E_{m1B} (вертикального електричного компонента електромагнітного поля) безпосередньо в поверхні землі в точці прийому, коли

випромінювачем є вібратор розташований поблизу напівпровідної поверхні.

Залежність множника ослаблення від чисельної відстані для різних значень $\operatorname{tg} \delta = 60\gamma\lambda$ / наведена на рисунку 9 для значень $\rho < 25$, при значеннях чисельної відстані, що перевищує 25.

Очевидно, що модель М.В. Шулейкіна – В. Ван-дер-Поля застосовується для малих відстаней, коли поширення відбувається над однорідною підстилаючою поверхнею та малих значеннях загоризонтної рефракції.

Модель академіка В.А. Фока використовується при великих відстанях, коли поширення радіохвиль відбувається над однорідною підстилаючою поверхнею та за значною загоризонтною дифракцією. У випадку, якщо довжина радіолінії і висоти приймальної та передавальної антен такі, що область, істотна при поширенні радіохвиль (перша зона Френеля), частково або цілком перекриваються опуклістю земної поверхні, то незакрита частина 1-й зони Френеля або зон наступних номерів, які представляють сукупність джерел сферичних хвиль, створюють випромінювання не тільки в напрямку первісного напрямку руху хвилі, але і за опуклістю земної поверхні.

Відстані близькі до межі прямої видимості, коли перша зона Френеля закрыта тільки частково, називаються областю півтіні. Відстані, при яких перша зона Френеля перекрита цілком, називаються областю тіні.

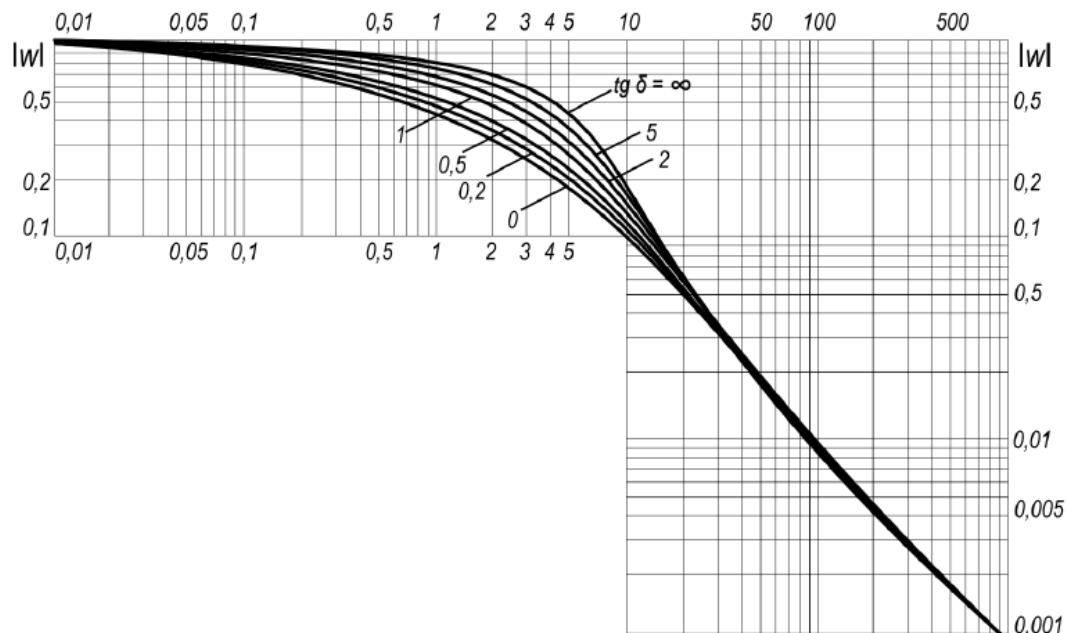


Рисунок 9 – Залежність множника ослаблення від чисельної відстані

Залежність напруженості електромагнітного поля від відстані для різних довжин хвиль та різних електричних параметрів підстилаючої поверхні при потужності передавача 1 кВт наведена на рисунку 10.

Існує модель для розрахунків структури ККС при визначенні радіуса дії цих станцій по допущеннях Шулейкіна та Б. Ван-дер-Поля з урахуванням параметрів прийомопередаючих трактів ККС та суднового транспондера.

Для розрахунку дальності дії річкової диференціальної підсистеми ГНСС GPS з урахуванням параметрів приймально-передаючого обладнання використаємо співвідношення

$$r_c = 0,6 \frac{\lambda^4}{\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{вип.}}}{\alpha \cdot P_{\text{пр. min}}} \cdot D_{\text{пр}} \cdot D_{\text{пер}} \cdot \frac{((\epsilon - 1)^2 + (60\gamma\lambda)^2)^2}{\epsilon^2 + (60\gamma\lambda)^2}}. \quad (2)$$

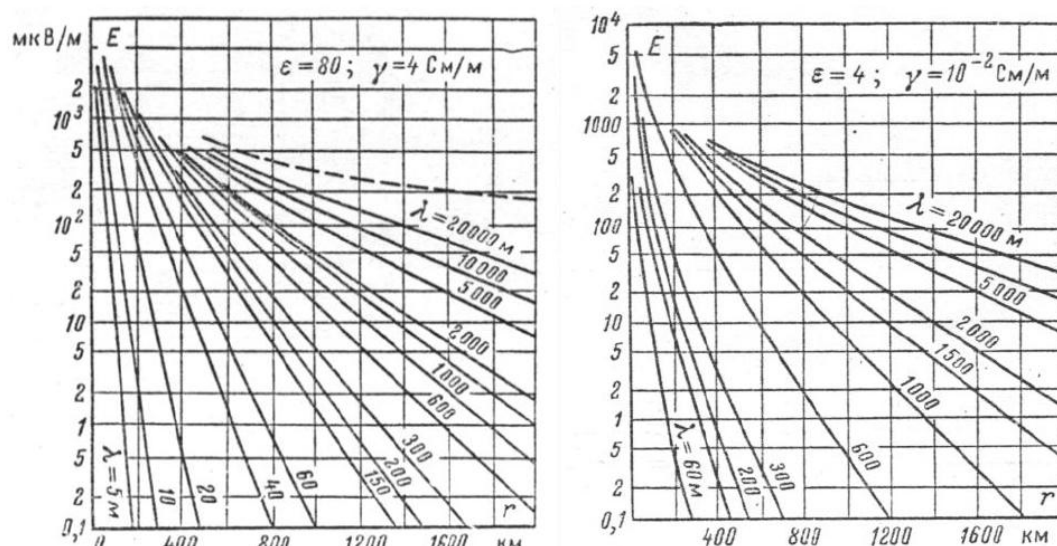


Рисунок 10 – Графіки для визначення напруженості поля поверхневої хвилі, ліворуч – при поширенні над морем, праворуч – при поширенні над суходолом

Дане співвідношення може бути покладене в основу розрахунку зони дії в азимутальній площині кожної ККС, оскільки тут враховується зміна властивостей місцевості за напрямком випромінювання поверхневої хвилі за рахунок зміни значень ε та γ .

Висновки. У ході дослідження розроблено структуру логіко-інформаційної моделі системи радіонавігаційного забезпечення безпеки плавання на ВВШ.4. Визначено вимоги до точності і дискретності навігаційного місцезнаходження за сигналами річкової диференціальної підсистеми ГНСС GPS на ВВШ та розроблено алгоритм розрахунку форми периметра зони дії річкової диференціальної підсистеми ГНСС GPS. Визначено особливості впливу властивостей провідності підстилаючої поверхні на дальність передачі коригувальної інформації річковий диференційної підсистеми ГНСС GPS у діапазонах СХ та ПХ та особливості точності передачі коригувальної інформації в діапазоні УКХ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Каретников, В.В. Топология дифференциальных полей и дальность действия контрольно-корректирующих станций высокоточного местоопределения на внутренних водных путях /В.В. Каретников, А.А. Сикарев// – СПб.: СПГУВК, 2008. – 352 с.
2. Соловьев, Ю.А. Системы спутниковой навигации /Ю.А. Соловьев. – М.: Эко-Тренд, 2000. – 267 с.
3. Каретников, В.В. Архитектура зон действия локальных дифференциальных подсистем работающих для нужд внутреннего водного транспорта / В.В. Каретников, СПб.: СПГПУ, 2010. – 184 с.
4. Андрюшечкин, Ю.Л. Особенности передачи корректирующей информации в локальных дифференциальных подсистемах/Ю.Н. Андрюшечкин, С.В. Рудых, В.В. Каретников// Журнал «Морская радиоэлектроника Вып. 1(43). –СПб Типография Феникс, 2014. –С 32-34.
5. Сикарев, А.А. Принципы построения функциональных дифференциальных дополнений спутниковых навигационных систем второго и третьего поколений /А.А. Сикарев, А.И. Чернюк// Межвуз. сб. науч. трудов «Технические средства судовождения и связи на морских и внутренних путях». Вып. 5 /под ред. А.А.

- Сикарева. – СПб.: СПГУВК, 2004. – С. 94–100.
6. Андрюшечкин, Ю.Н. Моделирование топологической структуры зон действия контрольно корректирующих станций дифференциальной системы GPS, установлены на реке Обь /Ю.Н. Андрюшечкин, В.В. Каретников // Журнал «Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова» Вып 1.- СПб.: ГУМРФ .2013 – С 86-89.
 7. Соловьев, Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения /Ю.А. Соловьев. – М.: Эко-Тренд, 2003. – 325 с.
 8. Ассоциация Электронной Промышленности. Интерфейс между терминальным оборудованием данных и оборудованием передачи данных, применяющий последовательный двоичный обмен данными (EIA RS-232-C), 2001, Ай Стрит, Нью-Йорк, штат Вашингтон, D. C. 2006. 125 с.
 9. Vice President Gore Announces. New Global Positioning System Modernization Initiative. The White House, Office of the Vice President, January 25. 1999.
 10. Каретников, В. В. К вопросу определения вертикальной составляющей напряженности электромагнитного поля радиоволны в точке приема /В. В. Каретников, А. А. Сикарев// Информационные технологии в транспортных системах: Сб. науч. трудов Рос. акад. транспорта / под ред. А. С. Бутова. – СПб.: СПГУВК, 2002. – С. 46–59.
 11. Никитин, М.М. Модель непосредственного расчета дальности действия и зоны покрытия контрольно-корректирующих станций /М.М. Никитин, А.А. Сикарев// Труды Рос.-Польск. НТК «Анализ, прогнозирование и управление в сложных системах». – СПб.: СПГУВК, 2002. – С. 162–167.
 12. Никитин, М. М. Алгоритмическое обеспечение расчета параметров радионавигационного электромагнитного поля дифференциальных поправок /М.М. Никитин, А.А. Сикарев// Информационные проблемы транспортных систем: Сб. науч. трудов Рос. акад. транспорта/ под ред. А. С. Бутова. – СПб.: СПГУВК, 2000. – С. 130–133.
 13. Каретников, В. В. К вопросу построения зон дифференциальных поправок для подсистемы GPS ГНСС /В. В. Каретников// Технические средства судовождения и связи на морских и внутренних водных путях: Межвуз. сб. науч. трудов / под ред. А.А. Сикарева. – СПб.: СПГУВК, 2002. – Вып. 3. – С. 27–31.
 14. Каретников, В. В. Исследование характера нелинейных переходов для вертикальной составляющей дифференциального поля в зависимости от электромагнитных свойств участков подстилающей поверхности /В. В. Каретников// Технические средства судовождения и связи на морских и внутренних водных путях: Межвуз. сб. науч. трудов/ под ред. А. А. Сикарева. – СПб.: СПГУВК, 2003. – Вып. 4. – С. 94–100.
 15. Каретников, В. В. Обзор возможных методов расчета радиуса действия контрольно-корректирующих станций (ККС) /В. В. Каретников// Технические средства судовождения и связи на морских и внутренних водных путях: Межвуз. сб. науч. трудов/ под ред. А.А. Сикарева. – СПб.: СПГУВК, 2003. – Вып. 4. – С. 115–120.

REFERENCES

1. Karetnykov, V.V. Topologiya differentsyalnykh polei y dálnost deistviya kontrolno-korrektiruyushchikh stantsiy vysokotochnogo mestoopredeleniya na vnutrennykh vodnykh putiyakh /V.V. Karetnykov, A.A. Sykarev// – SPb.: SPHUVK, 2008. – 352 s.
2. Solovev, Yu.A. Systemy sputnykovoi navyhatsyy /Yu.A. Solovev. – M.: Эко-Тренд, 2000. – 267 s.
3. Karetnykov, V.V. Arkhitektura zon deistviya lokalnykh differentsyalnykh podsystem rabotaiushchikh dlia nuzhd vnutrenneho vodnoho transporta / V.V. Karetnykov, SPb.:

- SPHPU, 2010. – 184 s.
4. Andriushechkyn, Yu.L. Osobennosti peredachy korrektyruiushchei ynformatsyy v lokalnykh dyfferentsyalnykh podsystemakh/Iu.N. Andriushechkyn, S.V. Rudykh, V.V. Karetnikov// Zhurnal «Morskaia radyoelektronyka V. 1(43). –SPb Tipohrafiya Fenyks, 2014. –S 32-34.
 5. Sykarev, A.A. Pryntsypy postroeniya funktsyonalnykh dyfferentsyalnykh dopolneniy sputnykovykh navyhatsyonnykh system vtoroho y tret'ego pokoleniy /A.A. Sykarev, A.Y. Cherniuk// Mezhevuz. sb. nauch. trudov «Tekhnicheskyye sredstva sudovozhdeniya y svyazy na morskyykh y vnutrennykh putiyakh». Vyr. 5 /pod red. A.A. Sykareva. – SPb.: SPHUVK, 2004. – S. 94–100.
 6. Andriushechkyn, Yu.N. Modelirovaniye topologicheskoy struktury zon deistviya kontrolno korrektyruiushchykh stantsiy dyfferentsyalnoy systemy GPS, ustanovleny na reke Ob /Iu.N. Andriushechkyn, V.V. Karetnikov // Zhurnal «Vestnyk Hosudarstvennogo unyversyteta morskogo y rechnogo flota imeny admirala S.O. Makarova» V 1.- SPb.: HUMRF .2013 – S 86-89.
 7. Solovev, Yu.A. Sputnykovaia navyhatsiya i ee prylozheniya /Iu.A. Solovev. – M.: Eko-Trend, 2003. – 325 s.
 8. Assotsyatsiya elektronnoy Promyshlennosti. Ynterfeis mezhdu termynalnym oborudovaniyem dannykh y oborudovaniyem peredachy dannykh, pryemlaiushchey posledovatel'nyy dvoynnyy obmen dannyymi (EIA RS-232-C), 2001, Ai Stryt, Niu-York, shtat Vashynhton, D. C. 2006. 125 s.
 9. Vice President Gore Announces. New Global Positioning System Modernization Initiative. The White House, Office of the Vice President, January 25. 1999.
 10. Karetnikov, V. V. K voprosu opredeleniya vertykalnoy sostavliayushchey napyazhennosti elektromagnitnogo polya radyovolny v toчке pryema /V. V. Karetnikov, A. A. Sykarev// Ynformatsyonnyye tekhnolohyy v transportnykh systemakh: Sb. nauch. trudov Ros. akad. transporta / pod red. A. S. Butova. – SPb.: SPHUVK, 2002. – S. 46–59.
 11. Nyktytn, M.M. Model neposredstvennogo rascheta dalnosti deistviya v zony pokrytiya kontrolno-korrektyruiushchykh stantsiy /M.M. Nyktytn, A.A. Sykarev// Trudy Ros.-Polsk. NTK «Analyz, prohozyrovaniye y upravleniye v slozhnykh systemakh». – SPb.: SPHUVK, 2002. – S. 162–167.
 12. Nyktytn, M. M. Alhorytmycheskoye obespecheniye rascheta parametrov radyonavyhatsyonnoy elektromagnitnogo polya dyfferentsyalnykh popravok /M.M. Nyktytn, A.A. Sykarev// Ynformatsyonnyye problemy transportnykh system: Sb. nauch. trudov Ros. akad. transporta/ pod red. A. S. Butova. – SPb.: SPHUVK, 2000. – S. 130–133.
 13. Karetnikov, V. V. K voprosu postroeniya zon dyfferentsyalnykh popravok dlia podsystemy GPS HNSS /V. V. Karetnikov// Tekhnicheskyye sredstva sudovozhdeniya y svyazy na morskyykh y vnutrennykh vodnykh putiyakh: Mezhevuz. sb. nauch. trudov / pod red. A.A. Sykareva. – SPb.: SPHUVK, 2002. – Vyr. 3. – S. 27–31.
 14. Karetnikov, V. V. Yssledovaniye kharaktera nelyneynykh perekhodov dlia vertykalnoy sostavliayushchey dyfferentsyalnoy polya v zavysymosti ot elektromagnitnykh svoystv uchastkov podstylaiushchey poverkhnosti /V. V. Karetnikov// Tekhnicheskyye sredstva sudovozhdeniya y svyazy na morskyykh y vnutrennykh vodnykh putiyakh: Mezhevuz. sb. nauch. trudov/ pod red. A. A. Sykareva. – SPb.: SPHUVK, 2003. – Vyr. 4. – S. 94–100.
 15. Karetnikov, V. V. Obzor vozmozhnykh metodov rascheta radyusa deistviya kontrolno-korrektyruiushchykh stantsiy (KKS) /V. V. Karetnikov// Tekhnicheskyye sredstva sudovozhdeniya y svyazy na morskyykh y vnutrennykh vodnykh putiyakh: Mezhevuz. sb. nauch. trudov/ pod red. A.A. Sykareva. – SPb.: SPHUVK, 2003. – Vyr. 4. – S. 115–120.

Горбань А.В., Маранов А.В., Дорофеева З.Я.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

В статье исследована возможность информационного обеспечения для мониторинга и управления движением судов с использованием данных спутниковой навигации. Рассмотрены элементы системы безопасности судоходства. Решение задач, связанных с безопасностью судоходства и своевременной доставкой грузов, экологической защитой прибрежной зоны, требует четкого мониторинга движения судов и управления скоростями потоков судов или отдельных судов. Для этой цели необходимо внедрение новых современных радиотехнических средств на базе высокоточных спутниковых навигационных технологий и применения систем, обеспечивающих безопасность плавания судов. Данные обстоятельства требуют создания в регионах систем управления судоходством с таким навигационным обеспечением, которое бы в максимальной степени снижало риск аварий судов при плавании в прибрежных водах, на подходах к портам, в портовых водах, в узкостях, на внутренних водных путях, где свобода маневрирования ограничена. В исследовании представлено решение актуальной научной задачи по разработке математического обеспечения формирования высокоточных полей местопредопределения, речной дифференциальной подсистемы GPS, для создания сплошных высокоточных телекоммуникационных полей в СХ и ПХ диапазонах с учетом влияния поле компонентной подстилающей поверхности, параметров приемо-передающего оборудования и учета загоризонтная рефракции, которая имеет важное значение для водного транспорта

Gorban A.V., Maranov O.V., Klochkov Yu.P., Dorofeeva Z.Ya.

INFORMATION SUPPORT FOR MONITORING AND CONTROL OF VESSELS USING SATELLITE NAVIGATION DATA

The article investigates the possibility of information support for monitoring and control of ship traffic using satellite navigation data. Elements of the navigation safety system are considered. Solving problems related to the safety of navigation and timely delivery of goods, environmental protection of the coastal zone, requires clear monitoring of vessel traffic and management of flow rates of vessels or individual vessels. For this purpose, it is necessary to introduce new modern radio equipment based on high-precision satellite navigation technologies and the use of systems that ensure the safety of navigation. These circumstances require the establishment of navigation control systems in the regions with such navigation support that would minimize the risk of ship accidents while navigating in coastal waters, on approaches to ports, in port waters, in narrows, on inland waterways, where freedom of maneuver is limited. The study presents a solution of an urgent scientific problem to develop mathematical software for the formation of high-precision fields of field, river differential subsystem GPS, to create continuous high-precision telecommunication fields in the CX and GC ranges taking into account the influence of the field component which is important for water transport

Федотов В.Г., Міхеев О.І.

ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНО АКТИВНИХ ДЕФЕКТІВ НА ТЕРМОСТИМУЛЬОВАНІ СТРУМИ В КРИСТАЛАХ ДИФОСФІДУ ЦИНКУ

У статті проведено дослідження щодо впливу електрично активних дефектів на термостимульовані струми в кристалах дифосфіду цинку. Відомо, що зростання електропровідності у напівпровідникових матеріалах відбувається двома шляхами: за рахунок підвищення їх температури, а також через зріст кількості домішок та дефектів у кристалах цих матеріалів. З цієї точки зору до перспективних напівпровідникових матеріалів можна віднести кристали дифосфіду цинку та кадмію. У нашому випадку у якості об'єкту дослідження були обрані кристали α - ZnP_2 . У тетрагональних кристалах дифосфіду цинку, які були вирошені методом сублімації у двох температурній печі, виявлені електрично активні дефекти, що обумовлюють появу релаксаційних струмів короткого замикання у процесі нагріву. Спонтанна поляризація, що генерує термостимульовані струми короткого замикання, викликана порушеннями динамічної рівноваги в електронній та гратковій підсистемах кристалу α - ZnP_2 .

Наведено, що динамічна рівновага між електронною та гратковою підсистемами визначає характер змін властивостей напівпровідникових кристалів. У свою чергу, зміна ж швидкості у процесах нагрівання безсумнівно приводить до порушення динамічної рівноваги між цими підсистемами та, отже, і до появи термостимульованих струмів. У ході дослідження виявлена здатність цих кристалів утворювати спонтанну поляризацію, яка приводить до появи термостимульованих струмів короткого замикання у напрямку (001). Це явище обумовлено не фазовими температурними переходами, як уявлялося раніше, а, найімовірніше, у результаті домішкових викривлень кристалічної ґратки при її нагріві, які призводять до порушення динамічної рівноваги у електронній та гратковій підсистемах кристалу за рахунок появи електрично активних дефектів.

Ключові слова: *пониженні симетричні кристали, електрично активні дефекти, термостимульовані струми.*

Постановка проблеми. Питання освоєння технологій сучасних електронних напівпровідникових засобів мають дуже велике значення. Одним з ефективних напрямів у цієї сфері є дослідження нових властивостей деяких природних кристалів. До таких перспективних кристалів відносяться тетрагональні кристали дифосфідів цинку та кадмію (ZnP_2 та CdP_2) – речовин з пониженою симетрією стосовно просторового розташування кристалічних зв'язків. В них можна виділити дві слабо зв'язані між собою підсистеми атомів: підсистему атомів Р та більш рухому підсистему атомів Zn і Cd. У таких кристалах можна очікувати суттєві зміни у відомих фізичних процесах, полегшення фазово-структурних та поліморфних перетворень, появи нових ефектів, що можуть бути використані у електронній промисловості. Зокрема в цих кристалах при взаємодії електрично активних дефектів можуть утворюватися сторонні сили, що сприяють появі термостимульованих струмів провідності (ТССП).

Формулювання цілі статті. Відомо [1,2], що при вирощуванні монокристалів ZnP_2 з парової фази при неконтрольованому парціальному тиску компонентів одержуються зразки з певною концентрацією власних дефектів, які утворюють різні рівні у забороненій зоні цих напівпровідників.

У нашому випадку монокристали дифосфіду цинку вирощувались методом сублімації в двох температурній печі із полікристалічної речовини. При цьому метою досліджень було встановлення природи виникнення термостимульованих струмів у кристалах ZnP_2 тетрагональної модифікації, які надалі можуть бути струмами провідності (ТССП) та струмами короткого замикання (ТССКЗ).

Матеріали основної частини. На рис. 1 (криві 1, 2) показані спектри ТССП для двох зразків дифосфіду цинку (ZnP_2), які належать одній партії, що одержана саме методом сублімації. Криві зняті при однакових експериментальних умовах. З врахуванням логарифмічному масштабу по осі ординат видно, що концентрації заповнених пасток цих зразків суттєво розрізняються. З'ясування природи максимумів ТССП здійснювалось шляхом їх термічної очистки, а також методом їх порівняння зі спектрами термостимульованих струмів короткого замикання (ТССКЗ) у цих зразках.

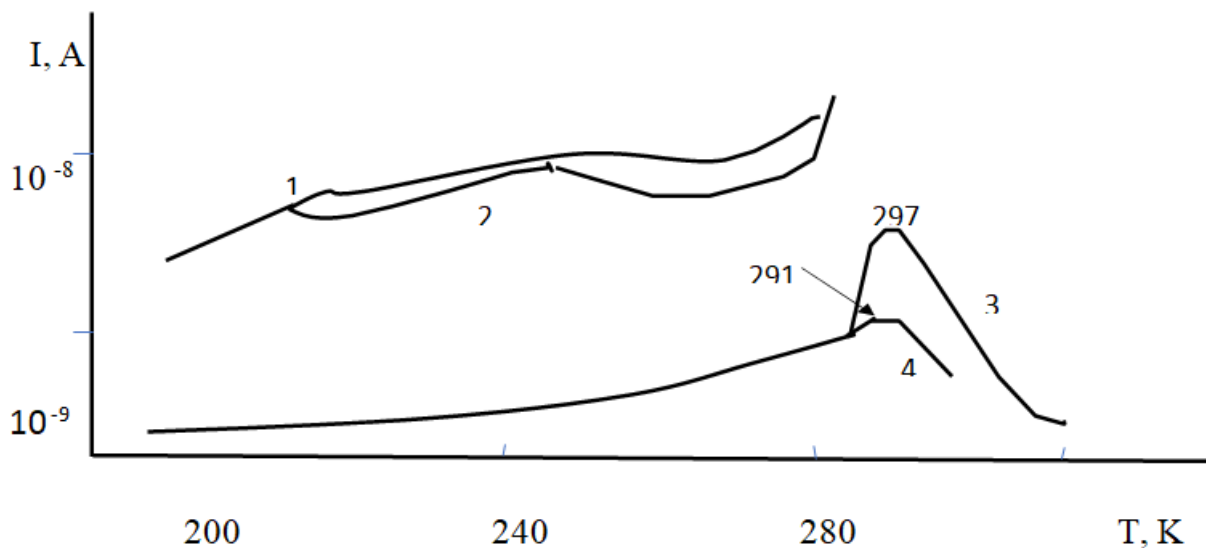


Рисунок 1 – Спектри ТССП (криві 1, 2) та спектри ТССКЗ (криві 3, 4) для двох зразків кристалів α - ZnP_2 з однієї партії

У результаті вимірювання термостимульованих струмів провідності в режимах послідовного термічного очищення максимумів (рис. 2) встановлені квазидискретні енергетичні рівні пасток з $W = (0,35 \pm 0,01)$ еВ та $0,47 \pm 0,01$ еВ, які відповідають за максимуми струму у області 200...280 К.

Третій рівень з енергією 0,58 еВ отриманий екстраполяцією кривої ТССП у інтервалі температур 280...300 К. Коректне визначити третій рівень вдалося тільки за результатами ТССКЗ (див. рис.1, криві 3, 4), які були зняті при різних швидкостях нагрівання. Спосіб зміни швидкості нагрівання дозволив визначити енергію активації електрично активних дефектів по нахилу залежності величини максимуму піку термостимульованого струму від температури цього максимуму. Якщо обмежитись

лише двома швидкостями нагріву, то енергію активації електрично активних дефектів можна розрахувати за формулою [2]

$$W = \frac{kT_{m1} \cdot T_{m2}}{T_{m1} - T_{m2}} \cdot \ln \frac{\beta_1 T_{m2}^2}{\beta_2 T_{m1}^2}, \quad (1)$$

де k – постійна Больцмана;

T_{m1} – температура першого максимуму, К;

T_{m2} – температура другого максимуму, К;

β_1 – коефіцієнт швидкості нагріву при досягненні температури T_{m1} ;

β_2 – коефіцієнт швидкості нагріву при досягненні температури T_{m2} .

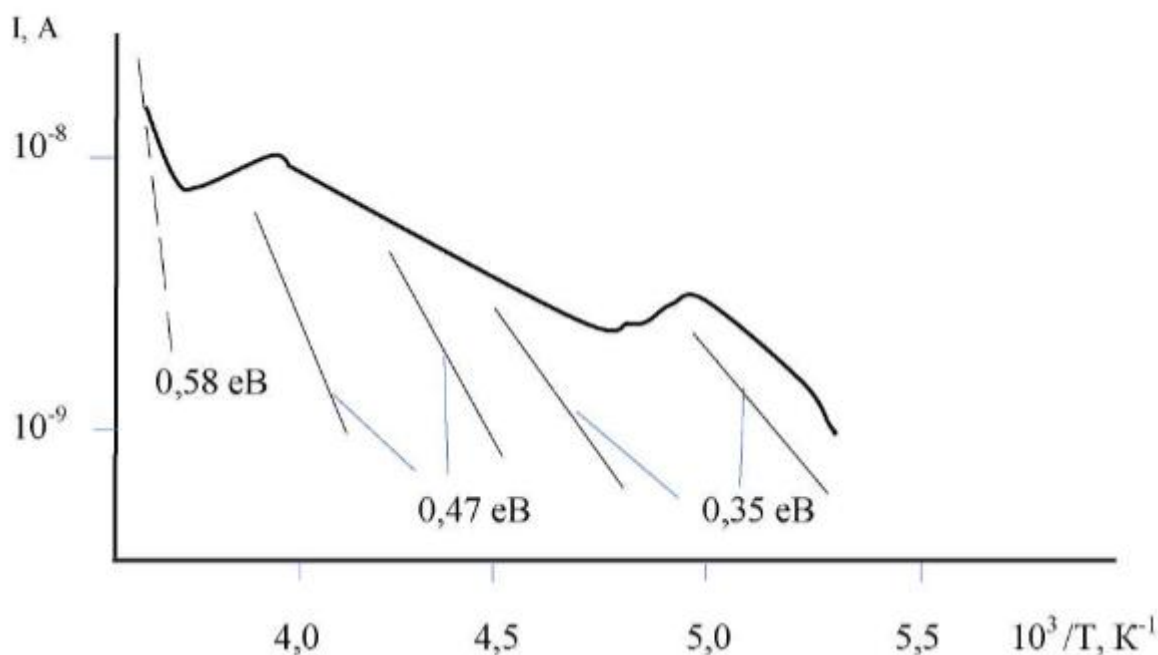


Рисунок – 2 Термічна очистка кривої ТССП в монокристалах α - ZnP_2

Розрахунки за формулою (1) дають значення енергії активації 0,6 еВ. Енергія активації електрично активних дефектів здійснює вплив не лише на температурне положення піку термостимульованого струму, а також на температурну «ширину» цього піку. Таким чином, можна поставити обернену задачу – визначити енергію активації дефектів кристалу по температурній залежності ширини відповідного піку термостимульованого збудження за способом парціальної напівширини піку [2]. Суть цього способу полягає у тому, що по кривій ТССКЗ поряд з температурою максимуму визначаються низькотемпературна (ΔT^-) та високотемпературна (ΔT^+) напівширини піку, тобто інтервал температур, у межах якого термостимульовані струми більша або дорівнюють половині свого максимального значення.

При кінетиці релаксаційного процесу слабкого перезахвату у зоні високотемпературної напівширини піку енергія активації буде дорівнювати

$$W = \frac{kT_m^2}{\Delta T^+}, \quad (2)$$

а при кінетиці релакційного процесу сильного перезахвату у тій же зоні енергія активації вже буде рівна:

$$W = \frac{2kT_m^2}{\Delta T + \dots} \quad (3)$$

Формули (2 і 3) свідчать про те, що високотемпературна напівширина ТССКЗ може змінюватись у два рази при зміні кінетики релаксаційного процесу.

Якщо врахувати вплив кінетики релаксаційного процесу на величину енергії активації, то найкраща згода одержується тільки при сильном перезахваті – коли практично всі звільнені носії заряду знову захоплюються пастками. Так як максимуми ТССКЗ при температурі 297К мають характерну асиметрію низькотемпературної та високотемпературної напівширини піку, то це свідчить, що процес пройшов при сильном перезахваті.

За формулою (3) енергія активації електрично активного рівня дорівнює $0,62 \pm 0,01$ еВ. Цей рівень, мабуть, може бути пов'язаний зі власними дефектами та їх комплексами. Раніше за вимірюванням температурної залежності дірок був встановлений акцепторний рівень $E_v + (0,4 \pm 0,05)$ еВ [3]. У роботі [4] з аналогічної залежності одержаний акцепторний рівень $E_v + (0,5 \pm 0,05)$ еВ. При дальніших дослідженнях були встановлені і більш глибокі рівні енергії активації з величинами $E_v + 0,62$ та $E_v + 0,85$ еВ, які пов'язуються із виникненням неконтрольованих дефектів та їх комплексів, що складаються з акцептора – двохкратно іонізованої вакансії катіона та донора у вузлах фосфору..

А тепер обговоримо можливу природу сторонніх сил у кристалах α - ZnP_2 , які приводять до виникнення релаксаційних струмів. Ці струми фіксувались на зразках у напрямку [001] тетрагонального фосфіду цинку. Максимум струму ($I = 10^{-9}$ А) спостерігався при температурі 297К, при цьому час спаду складав декілька годин у залежності від швидкості нагрівання. Треба відзначити, що релаксаційні струми можуть виникати не тільки у кристалах без центра симетрії, а і у центросиметричних зрізках.

На даний час у науковій літературі запропоновано декілька моделей сторонніх сил у твердих діелектриках та напівпровідниках [5]:

- модель макроскопічно неоднорідного середовища (так звана, концентраційна ЕРС);
- дифузія домішкових іонів та їх хімічна взаємодія з компонентами середовища;
- зміщення центру тяжіння електронного пакету у наслідок анігіляції дефектів у середовищах без центру симетрії;
- анігіляція пар «вакансія – міжвузольний атом» у зрізках без центру симетрії.

Всі перелічені моделі не пов'язані зі змінами у кристалах спонтанної поляризації, тому термостимульовані струми, які можуть виникати при нагріві таких об'єктів, не обумовлені піроелектричними явищами.

А тепер перейдемо до розгляду струмів, що виникають при нагріванні, яке обумовлено піроелектричними явищами. Перш за все, треба зауважити, що піроелектричні властивості не характерні для класу симетрії D_4 головної ґратки кристалів α - ZnP_2 . Однак, як показали рентгенографічні дослідження [6], була виявлена послідовність фазових переходів, що пов'язані з процесами перетворення несумірній структури з хвильовим вектором модуляції:

$$q = \delta \cdot c,$$

де $\delta = 0,047$ при $T = 293\text{K}$;

с – постійна ґратки.

Також були визначені мікроструктурні фази з більшим порядком сумірності, у створенні яких, можливо, прийняли участь не самі кристалічні ґратки, а їх дефекти. Відмітимо, що максимуми на залежності $I(T)$ відповідають інтервалу зміни доменних стінок, а різкий спад температури є наслідком руйнування цих стінок. На підставі моделі Френкеля – Канторової зруйновані ґраткові мікрооб'єми з присутністю дефектів можуть представляти собою протяжні просторові утворення, що обов'язково містять надлишкові іони або дірки. Саме тому їх рух у кристалі при нагріванні може забезпечити перенос заряду [7], при цьому швидкість нагріву визначає величину термостимульованого струму. Так, було встановлено, що, зменшуючи швидкість нагріву у 3 рази, максимум на залежності $I(T)$ зміщується у область низьких температур, тобто величина струму зменшувалась у двічі (див. рис. 1, криві 3,4).

Можна припустити, що зміщення максимуму на залежності $I(T)$ при малих швидкостях нагрівання обумовлено порушенням динамічної рівноваги у електронній та ґратковій підсистемах кристалу α - ZnP_2 .

Відомо [4], що релаксація носіїв струму з глибоких рівнів прилипання може протікати достаньо довго. У цієї же роботі показано, що динамічна рівновага між електронною та ґратковою підсистемами визначає характер змін властивостей напівпровідникових кристалів. У свою чергу, зміна ж швидкості у процесах нагрівання безсумнівно приводить до порушення динамічної рівноваги між цими підсистемами та, отже, і до появи термостимульованих струмів. Підтвердженням цього є дилатометричні дослідження, які проведені у роботі [8] у достатньо широком діапазоні температур 290...720K на кристалах α - ZnP_2 .

Висновки: Таким чином, по спектрах ТССП та ТССКЗ у тетрагональних кристалах α - ZnP_2 з домішковою провідністю встановлені відповідні рівні енергії активації із потужностями у 0,35eВ, 0,47eВ та 0,58eВ. Виявлена здатність цих кристалів утворювати спонтанну поляризацію, яка приводить до появи термостимульованих струмів короткого замикання у напрямку (001). На нашу думку, це явище обумовлено не фазовими температурними переходами, як уявлялося раніше [8], а, найімовірніше, у результаті домішкових викривлень кристалічної ґратки при її нагріві, які призводять до порушення динамічної рівноваги у електронній та ґратковій підсистемах кристалу за рахунок появи електрично активних дефектів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Горбань И.С. и др. Уровни прилипания в кристаллах дифосфида цинка тетрагональной модификации.// ФТПА, 1978. т.12. вып. 2. С. 410–413.
2. Маренкин С.Ф., Трухан В.М. Фосфиды, арсениды цинка и кадмия. г. Минск: издательство «Вараксин». 2010. 224 с.
3. Вайполин А.А. и др. Поляризационные исследования фотопроводимости тетрагональных кристаллов ZnP_2 .// ФТПА; 1980, т.14, вып.1, с. 133...138.
4. Yanuskevicius Z. et al / Electrical Properties of doped α - ZnP_2 singles crystals//Phys/Status Solidi (a). 1980. Vol. 59/2. P.139–142.
5. Горохватский Ю.А., Борзовский Г.А. Термоактивационная токовая спектроскопия высокоомных полупроводников и диэлектриков. М.: изд. «Наука», 1991г., с.248.
6. Шелег А.У., Зарецкий В.В. Исследование последовательности фазовых переходов соизмеримая – несоизмеримая фаза в α - ZnP_2 рентгенографическими методами//Письма в ЖЭТФ; 1984. вып.4. С. 166–169.
7. Федотов В.Г. Влияние модулированной структуры на электрические, фотоэлектрические и оптические свойства кристаллов дифосфида цинка и

кадмия// Збірник наукових праць. Водний транспорт, випуск №1 (24). 2016. С. 185–189.

8. Якимович В.Н., Трухан В.М. Дилатометрические исследования монокристаллов ZnP_2 и CdP_2 .//ФТТ, 1995, т.30, вып.4; С. 950–953.

Федотов В.Г., Михеев А.И.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫЕ ТОКИ В КРИСТАЛЛАХ ДИФОСФИДА ЦИНКА

Известно, что возрастание электропроводности в полупроводниковых материалах происходит двумя путями: за счет повышения их температуры, а также посредством роста количества примесей и дефектов в кристаллах этих материалов. С этой точки зрения к перспективным полупроводниковым материалам можно отнести кристаллы дифосфида цинка и кадмия. В нашем случае в качестве объекта исследования были выбраны кристаллы α - ZnP_2 . В U тетрагональных кристаллах дифосфида цинка, которые были выращены методом сублимации в двух температурной печи, выявлены электрически активные дефекты, обуславливающие появление релаксационных токов короткого замыкания в процессе нагрева. Спонтанная поляризация, генерирующая термостимулированные токи короткого замыкания, вызвана нарушениями динамического равновесия в электронной и решетчатой подсистемах кристалла α - ZnP_2 .

Ключевые слова: пониженные симметричные кристаллы, электрически активные дефекты, термостимулированные токи.

Fedotov V., Mikheev A.

INFLUENCE OF THE ELECTROACTIVE DEFECTS TO THERMOSTIMULATED CURRENTS INTO CRYSTALS ZnP_2

It is known that the increase in electrical conductivity in semiconductor materials occurs in two ways: by increasing their temperature, as well as by increasing the number of impurities and defects in the crystals of these materials. From this point of view, the crystals of zinc diphosphide and cadmium can be attributed to promising semiconductor materials. In our case, crystals of α - ZnP_2 , which were grown by sublimation in two temperature furnaces, were selected as the object of the study, electrically active defects were identified, causing the appearance of short-circuit relaxation currents during the heating process. Spontaneous polarization, which generates short-circuit thermostimulated currents, is caused by disturbances of dynamic equilibrium in the electronic and lattice subsystems of the crystal of zinc diphosphide.

Keywords: lower symmetric crystals, electroactive defects, thermostimulated currents.

Скляренко І.Ю., Смирнова І. М., Герчиков О.О., Сидорчук О.Р.

РОЗРОБКА І ВПРОВАДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ БЕЗПЕЧНОГО МАНЕВРУВАННЯ СУДЕН ВНУТРІШНЬОГО ПЛАВАННЯ

У статті розглянуто проблеми забезпечення безпечного маневрування суден, наведено фактори впливу на маневрування суднами внутрішнього плавання, дано визначення системі автоматичного управління судном, що є основою процесу переходу до безекіпажних суден. Розглянуто види сучасних адаптивних авторульових систем управління суднами, досліджено їх основні особливості, що стало підґрунтям для розроблення системи підтримки прийняття рішень суднами.

Досліджено, що для розробки логічних структурних алгоритмів прийняття рішення приділяється увага розробки методів коригування планової траєкторії при управлінні розходженням суден. При великій їх кількості завдання значно ускладнюються, і судноводій змушений вирішувати тільки оперативні задачі. Оцінку ситуації змїну відносного руху описано трьома характеристиками. Представлені модель задачі прийняття рішення, схема системи самонавчання, математична модель динамічної бази знань на основі чого було побудовано алгоритм функціонування системи безпечного маневрування, що дозволяє провести побудову вирішальної функції паралельно як в автоматизованому режимі, так і на основі експертної думки.

Ключові слова: система управління, маневрування, система підтримки прийняття рішень, база даних, алгоритм.

Постановка проблеми. Безпечне розходження суден у морі є однією з класичних проблем судноводіння. Для її вирішення була прийнята Конвенція про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден у морі, додатком до якої є Правила МППСС-72 [1]. Виконання Правил МППСС-72 є обов'язковим для цивільних суден, однак їх застосування не гарантує безпеки мореплавання так як правила не враховують навігаційних обмежень в районі плавання; регламентують розбіжність двох судів, але не застосовні в разі зустрічі декількох суден.

На даний час МППСС-72 це основний інструмент для забезпечення безпечного розходження суден. Саме правилами регламентується робота судноводіїв, зокрема принципи і основні правила поведінки в різних ситуаціях зустрічі суден, проте в правилах не прописано чітких вказівок для дій судноводіїв для безпечного розходження в реальних умовах зустрічі судів та для конкретних маневрів і не розглядають ситуації одночасного розходження декількох суден. Крім того, правила самі по собі є джерелом невизначеності в описі ситуації розходження, зважаючи на неоднозначність трактування деяких приписів. Дії судноводіїв в морі для кожного, безпосередньо, визначається його власним досвідом. Тому, саме людський фактор є ключовим при рішенні для безпечного розходження суден в морі. Разом з тим, МППСС-72 залишається основним нормативним документом, що регламентує процеси розходження суден і їх формалізацію у вигляді, придатному для використання в системах підтримки прийняття рішень (СППР) судноводія та є актуальною науковою і практичною задачею. Важливість правил обумовлює необхідність розробки алгоритму безпечного маневрування суден, придатних для використання в СППР судноводія.

Мета роботи. Метою дослідження розробка алгоритму функціонування системи безпечного маневрування, що дозволяє провести побудову функцій як в автоматизованому режимі, так і на основі експертної думки.

Виклад основного матеріалу досліджень. Одним з сучасних напрямів розвитку морського судноплавства є системи безпеки суден. Розробка систем безпеки суден ставить нові завдання в галузі забезпечення безпеки мореплавства і, зокрема, такої важливої її складової, як забезпечення безпечного розходження суден у морі.

Автоматизація процесів управління - єдиний шлях ослаблення впливу людського фактора і кінцевою стадією цього процесу є перехід до безпеки суден. В літературі [1] - [4] велика увага приділяється різним питанням автоматизації процесів розбіжності.

Основні принципи побудови інтелектуальних систем управління викладені в роботі [2]. Питання формалізації МППСС-72 розглянуті в роботі [3]. Траєкторний підхід до вирішення завдання безпечного розходження суден, що враховує вимоги МППСС-72, запропонований в роботах [4-5].

Перехід до безпеки судам призводить до того, що замість судоводія управління судном здійснює автомат, який приймає рішення. Це кардинально змінює постановку задачі забезпечення безпечного розходження суден в морі, а саме:

- рішення приймається в автоматичному режимі;
- виключається вплив людського фактора;
- можливе прийняття кооперативних рішень декількома автоматами.

Система автоматичного управління (САУ) суден, які рухаються по курсу вирішує такі завдання як стабільність та маневрування.

Обслуговування умов безперервної роботи авторульового протягом усього часу плавання судна залежить від надійності роботи його елементів, тому необхідно розібрати також елементи та коректуючі пристрої, які забезпечать надійність її роботи.

Існуючі на сьогоднішній день САУ судном, який рухається по курсу, залежно від прийнятих конструкцій та схем, здійснює роботу за принципами складання. Під дією виразного сигналу рульова машина перекладає руль і, тим часом, судно повертається на заданий курс. САУ курсом судна має привичну для автоматичної системи загальну схему, проте курсу надано наступні відмінні особливості:

1. Так як велика інерція судна, як об'єкта управління, зміни його гідродинамічних параметрів внаслідок змін швидкості ходу та завантаження вибір системних систем та коректуючих пристроїв у цілому обмежено [6]. Для забезпечення необхідних параметрів якості роботи САУ у різних режимах експлуатації необхідно введення додаткових пристроїв корекції та/або здійснення змін параметрів регуляторів в процесі руху судна.

2. САУ курсом судна мають внутрішні жорсткі зворотні зв'язки, що формують контури слідування.

3. Системи управління курсом повинні здійснювати свою роботу при випадкових зовнішніх зворотних зв'язках, прикладних до різних змінених систем

4. Внаслідок жорстких умовних експлуатацій та залучення відповідальної ролі подібних систем, в процесі розробки та реалізації має бути забезпечено як можна більшу надмірність даного САУ курсом судна. Таким чином при розширенні слід вибирати елементи та коректуючі пристрої, які не ведуть до ускладнення системи та зниження її надійності.

Розглянемо сучасні адаптивні авторульові системи управління суднами. Адаптивні системи, в яких перелаштовуються лише параметри, називаються самоналаштувальними. Якщо вже перелаштовується структура, в цьому випадку говорять про системи самоорганізації. Перші з вищевказаних зазвичай містять основну систему управління, а також пристрій для оцінки найкращих параметрів. Другий тип

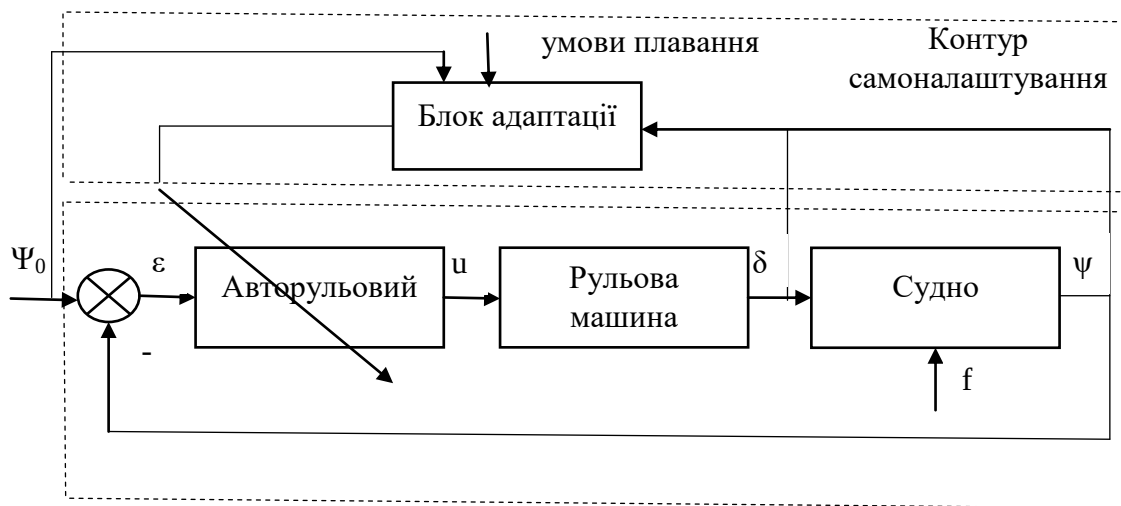
адаптивних рульових основ визначається на алгоритмах нейронних мереж та нечіткої логіки [6-8].

Самоналаштовуючі ААР можна розділити на системи з частковою налаштуванням параметрів або з повною адаптацією системи в процесі експлуатації. ААР з частковою автоматичним настроюванням параметрів, використовуючи різні непрямі критерії оцінки якості роботи системи, не завжди мають достатню математичну підґрунтя і не забезпечують повною оптимізації системи управління курсом судна в різних умовах плавання.

До ААР з повністю автоматичним налаштуванням параметрів системи можна віднести авторульові, що використовують еталонну (коректувальну) математичну модель об'єкта або всієї СУ в цілому для адаптації реальної системи. У таких ААР сигнали, що впливають на параметри управління, формуються на підставі аналізу якості управління судна за отриманими даними модельованих і спостережуваних змінних стану.

Адаптація в подібних схемах адаптивних САУ курсом судна здійснюється наступним чином. На вхід еталонної моделі і реального об'єкта надходить однаковий сигнал. З виходу еталонної моделі знімається кутова швидкість повороту, яка відповідає бажаній реакції судна. Відбувається порівняння кутової швидкості повороту з фактичною кутовою швидкістю судна різниця якої використовується для формування коригуючого сигналу. Блок адаптації забезпечує автоматичне налаштування параметрів управління на основі цього сигналу. Можуть бути різні способи використання еталонної моделі в системі, яка може відповідати повній замкнутій САУ або тільки об'єкту управління. До недоліків цього виду адаптації слід віднести необхідність виключення впливу зовнішніх впливів на стадії уточнення еталонної моделі.

Крім ААР, що використовують еталонну модель для настройки, існують так само системи, які самостійно налаштовуються, які досягають адаптивності шляхом використання математично обґрунтованого критерію якості, що дозволяє визначити оптимальні значення параметрів, що настроюються (рис. 1).



Основний контур управління

Рисунок1 – Схема системи автоматичного управління з еталонною моделлю

Критеріями якості для таких ААР зазвичай виступають функціонали, що забезпечують мінімум втрат корисної потужності суднової силової установки при управлінні (тим самим мінімізується витрата палива) або дозволяють підібрати параметри регулятора найбільш точним чином (для забезпечення безпечного плавання, при знаходженні на близькій відстані декількох судів і т.д.).

У ААР даного типу застосовується додатковий контур самонастроювання, призначений для виконання наступних функцій: отримання інформації про зовнішні дії і динамічні властивості основного контуру системи в процесі роботи; визначення за допомогою отриманої інформації чисельного значення критерію якості; формування відповідного керуючого сигналу для забезпечення оптимального режиму роботи САУ при мінімізації заданого критерію.

Для розробки логічних структурних алгоритмів прийняття рішення при приділяється увага розробки методів коригування планової траєкторії при управлінні розходженням суден. При великій їх кількості завдання значно ускладнюються, і судноводій змушений вирішувати тільки оперативні задачі. Оцінку ситуації зміну відносного руху запропоновано описувати трьома характеристиками: розташуванням других суден відносно курсу власного – справа чи зліва; величини курсового кута між лінією відносного руху (ЛВР) і діаметральною площиною свого судна - $\alpha < 90^\circ$, $\alpha = 90^\circ$, $\alpha > 90^\circ$; розташуванням ЛВР відносно власного судна (пересікає курс по носу, проходить через нас або пересікає лінію курсу по кормі). Зміну відносного руху будемо характеризувати двома параметрами: напрямком розвороту очікуваної лінії відносного переміщення (ОЛВР) відносно первісної ЛВР – по чи проти годинникової стрілки; зміною розташування ОЛВР по відношенню до власного – віддаляється від нас чи наближається. Метою всякого маневру для розходження полягає в тому, щоб ОЛВР віддалялась від нашого судна.

Для прийняття рішення розроблено модель задачі прийняття рішення, яка представляється у вигляді: $\langle t, X, R, A, F, G, D \rangle$, де t – постановка задачі; X – множина допустимих альтернатив; R – множина критеріїв оцінки ступеню досягнення поставлених цілей; A – множина шкал вимірювання по критеріям (шкали найменувань, порядкові, інтервальні) F – відображення множини допустимих альтернатив у множину критеріальних оцінок; G – система переваг рішального елемента; D – рішальче правило, що відображає систему переваг. Всі методи рішення багатокритеріальних задач можна звести до трьох груп [15]: – метод головного показника; – метод результуючого показника; – методи послідовних поступок.

Реалізуємо вибір варіанта рішення суднобригади за адитивним критерієм. З досвіду експлуатації суден члени сднобригади приймають під час керування судном основні елементарні рішення (для керування судном). Для система підтримки прийняття рішень (СППР) судна необхідно упорядкувати m варіантів рішення $a_1, a_2, \dots, a_m$, що оцінюються за n критеріями $C_1, C_2, \dots, C_n$. Відповідна оцінка – R_{ij} , $i=[1; m]$, $j=[1; n]$. Відносна важливість кожного критерія задана коефіцієнтом W_j , причому $\sum_{j=1}^n W_j = 1$. Тоді зважена оцінка i -го варіанта визначається як

$$R_i = \sum_{j=1}^n W_j R_{ji} \quad (1)$$

Нехай оцінки варіантів за критеріями і коефіцієнти відносної важливості задаються функціями приналежності відповідно $\mu_{R_{ji}}(r_{ij})$ та $\mu_{W_j}(w_j)$.

В нашому випадку величини W_j та R_{ij} є нечіткими числами. Розширені бінарні арифметичні операції над нечіткими числами визначаються через відповідні операції над чіткими числами з використанням принципу узагальнення.

Для вирішення поставлених задач вихідними даними для СППР виступають наступні дані:

- параметри судна;
- місце знаходження (координати);
- режим роботи судна;
- шлях усунення насправності;
- ймовірність транспортної пригоди;

- момент та глибина;
- раціональне положення контролера;
- складність надзвичайної ситуації, яка включає зовнішні фактори, технічні фактори, людський фактор.

СППР судна буде представляти собою набір пристроїв, що забезпечать виконання наступних функцій:

- збір оперативної інформації про стан навколишнього середовища, в тому числі про режим руху;
- зберігання бази даних про суднобригади;
- зберігання та використання бази знань системи;
- доведення до члена екіпажу результатів роботи системи.

Аналізуючи умови роботи суднобригад, можна виділити наступні функції людини, які безпосередньо впливають на ефективність використання судна та безпеку і потребують підтримки за допомогою інтелектуальної системи [9]:

- 1) розпізнавання нештатної ситуації;
- 2) переведення штурвалу контролера члена суднобригади;
- 3) визначення моменту та глибини;
- 4) визначення способу усунення несправностей судна.

У системі, що розробляється, необхідною частиною є блок, відповідальний за оцінку станів об'єкта керування. Функціонування блоку оцінки стану ґрунтується на моделюванні дій людини, що приймає рішення, для чого використовується отримана від неї інформація. Тому зазначений блок включається в модель керування, що імітує поведінку людини при керуванні об'єктом. Припустимо, що інформація, що подається на вхід блоку оцінки стау, може бути трьох типів: нечітка, чітка й нечітко множинна. Тип інформації визначається типом датчиків системи керування. Умовно виділимо три основних типи датчиків :

- «нечіткі датчики» (людина-оператор, що подає на вхід блоку оцінки стану словесну інформацію про стан об'єкта керування);
- «чіткі датчики» (деякі датчики, що подають на вхід блоку оцінки стану конкретну числову інформацію);
- «аналогові датчики» (датчики, що подають на вхід блоку оцінки стану безперервні функції приналежності нечітких множин, які аналого-цифровим перетворювачем перетворюються у вектори ступенів приналежності).

Під самонавчанням будемо розуміти комплекс методів і алгоритмів для налаштування і функціонування інтелектуальних систем керування судном. Для використання пропонується структура системи, наведена на рис. 2.

Система, аналізуючи дані про стан параметрів, що впливають на рух судна, генерує керуючі сигнали, найбільш доцільні в поточній ситуації . Ці сигнали через інтерфейсну частину подаються в базу знань для подальшої перевірки їх на адекватність і ефективність.

Нечіткий класифікатор (НК) є основним елементом системи самонавчання. Від його роботи залежить ефективність навчання системи та в решті безпека руху судна.

НК представляє собою нечітку базу знань, на вхід якої подаються сигнали про поточний стан судна та навколишнього середовища. Для навчання (створення та уточнення правил нечіткої бази знань) використовується зовнішня база знань, яка відображає спектр керуючих сигналів в залежності від поточної поїзної обстановки. Вона утворена в результаті реальних поїздок і показує, яким чином виконувалось керування судном бригади.

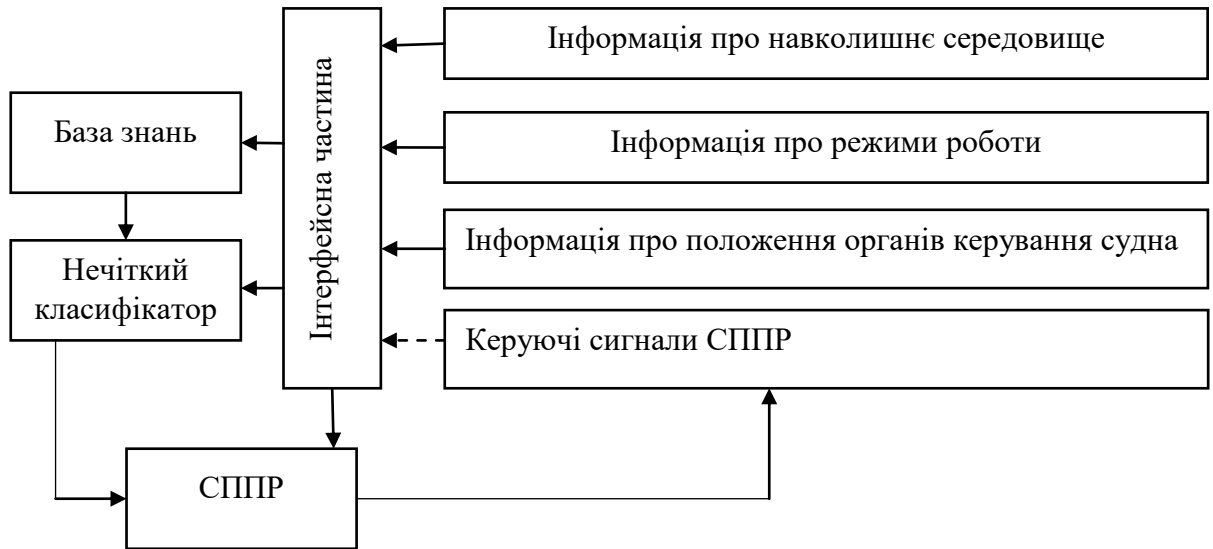


Рисунок 2 – Структура системи самонавчання

Позначимо через $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор інформативних ознак об'єкту класифікації, а через $t_1, t_2, \dots, t_c$ – класи рішень. В нашому випадку нечіткий класифікатор це відображення $X \rightarrow y \in \{t_1, t_2, \dots, t_c\}$, що реалізується за допомогою нечіткої бази знань. Нечітку базу знань цього відображення запишемо так [10]:

Якщо $(x_1=\delta_{1j}$ та $x_2=\delta_{2j}$ та ... $x_n=\delta_{nj}$ з вагою w_j), тоді:

$$y = d_j, j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де m – кількість правил; $d_j \in \{t_1, t_2, \dots, t_c\}$ – значення консеквента j -го правила; $w_j \in [0, 1]$ – ваговий коефіцієнт, що задає достовірність j -го правила, $j = \overline{1, m}$; δ_{ij} – нечіткий терм, що оцінює ознаку x_i в j -ому правилі $i=\overline{1, n}, j = \overline{1, m}$.

Розробка математичної моделі динамічної бази знань

В загальному випадку продукційну модель можна представити в наступному вигляді [25]:

$$N = \langle A, U, C, I, R \rangle, \quad (3)$$

де N – ім'я ознаки; A – сфера застосування ознаки; U – умова використання ознаки; C – ядро ознаки; I – постумови продукції, що актуалізуються при позитивній реалізації ознаки; R – коментарій, неформальне обґрунтування ознаки, час введення в базу знань, тощо.

Для проектування бази знань для керування судном нам потрібно визначити параметри U, C, I . Параметр A буде однаковий для всіх ознак, що належать до бази, що проектується, а параметр R не приймає безпосередньої участі в роботі системи та є допоміжним.

Ядро ознаки можна представити у наступній формі:

$$C = (z_{j1} \& z_{j2} \& \dots \& z_{ji} \Rightarrow d_{j1} \& d_{j2} \& \dots \& d_{ji}), \quad (4)$$

де $z_{j1} \dots z_{ji}$ – значення умов; $d_{j1} \dots d_{ji}$ – значення дій.

Для кожного порядкового номера умов множина значень визначена при проектуванні бази, тобто $z_{ji} \in Z_i$.

Режим використання знань полягає в наступному. Інтелектуальна система отримує дані про поточну поїзну обстановку у вигляді $(z_{j1} \& z_{j2} \& \dots \& z_{ji})$. Далі

виконується порівняння отриманих даних з ознаками, що отримані раніше. Знаходяться ознаки, в яких умови співпадають з поточними. СППР згідно визначених правил обирає, яку ознаку слід використати в поточний момент часу.

Загалом робота бази знань описується таким алгоритмом. При роботі бази в режимі «Накопичення» відбувається поповнення і уточнення ознак. Якщо в базі знань знайдено ознаку, що тотожна поточним умовам керування судном, то її вага серед інших ознак підвищується шляхом підвищення параметра I . Якщо поточні умови керування судном та керуючі дії суднобригади не співпадають ні з однією існуючих ознак, то в базу додається нова ознака з поточними значеннями $(z_{j1} \& z_{j2} \& \dots \& z_{ji})$ та $(d_{j1} \& d_{j2} \& \dots \& d_{ji})$.

При роботі бази в режимі «Використання» СППР постійно контролює поточну поїзну обстановку та порівнює її з існуючими ознаками. У випадку співпадань СППР надає рекомендації по керуванню на підставі досвіду бази знань. Якщо поточна обстановка не відповідає жодній існуючій ознаці, то СППР не має можливості рекомендувати якісь керуючі дії і множина рекомендованих керуючих дій обнулюється.

Елементом, котрий реалізує функції управління системою являється інформаційно-управляючий пристрій, у склад якого входить людина-оператор. Система управління, людина-оператор й інформаційна підсистема працюють в умовах жорсткого дефіциту часу, і по конфігурації представляє собою комплекс із динамічною базою знань, яка розроблена вище і інтегрованою системою їх представлення.

Система управління маневруванням має наступні ієрархічні рівні: розробка заданого алгоритму функціонування; вимірювання параметрів поточного стану елементів; аналіз ситуації й ухвалення рішення по коригуванню алгоритму; формування команди на приведення системи в заданий стан; адаптація; виконання команди.

Для управління маневруванням була розроблена система основним чинником, який визначає точки, через які повинно пройти судно, є жорсткі обмеження. На їх положення не впливають мінливі обмеження і зовнішні дії. Незбурений стан змінюється при появі мінливих обмежень, коли необхідно коригувати траєкторію, яка повинна враховувати як мінливі, так і жорсткі обмеження. Оскільки система відкрита, то зовнішні дії змінюють фактичну траєкторію руху. Для проводки судна по плановій траєкторії необхідно коригувати тільки алгоритм і спосіб управління, зберігаючи прогнозовану безпечну.

Система отримання вирішального правила на основі аналізу альтернатив представляє наступну послідовність функціональних дій:

- формування вирішального правила для вибору рішення за умовами завдання. Формування вирішального правила проводиться в автоматизованому режимі або з залученням групи експертів, які формують вирішальну функцію в залежності від задачі, яка вирішується і сформованої системою критеріїв;
- вибір найбільш ефективного вирішення на основі сформованої вирішальної функції. Аналіз і вибір альтернатив здійснюється на основі сформованого вирішального правила. У разі відсутності рішення в підсистемі повинна передбачена можливість проведення експертної оцінки варіантів рішень на основі думок експертів з проблемно-орієнтованої галузі [11].

Формування вирішального правила здійснюється спільно з експертною системою на основі сформованої бази знань правил, прийомів і методів прийняття рішень в залежності від різних ситуацій.

Автоматизоване формування вирішального правила відповідно до початкової системи критеріїв відбувається на основі людино-машинної взаємодії з системним аналітиком, яке формує цільову функцію на основі запропонованих методів (Рис.3).

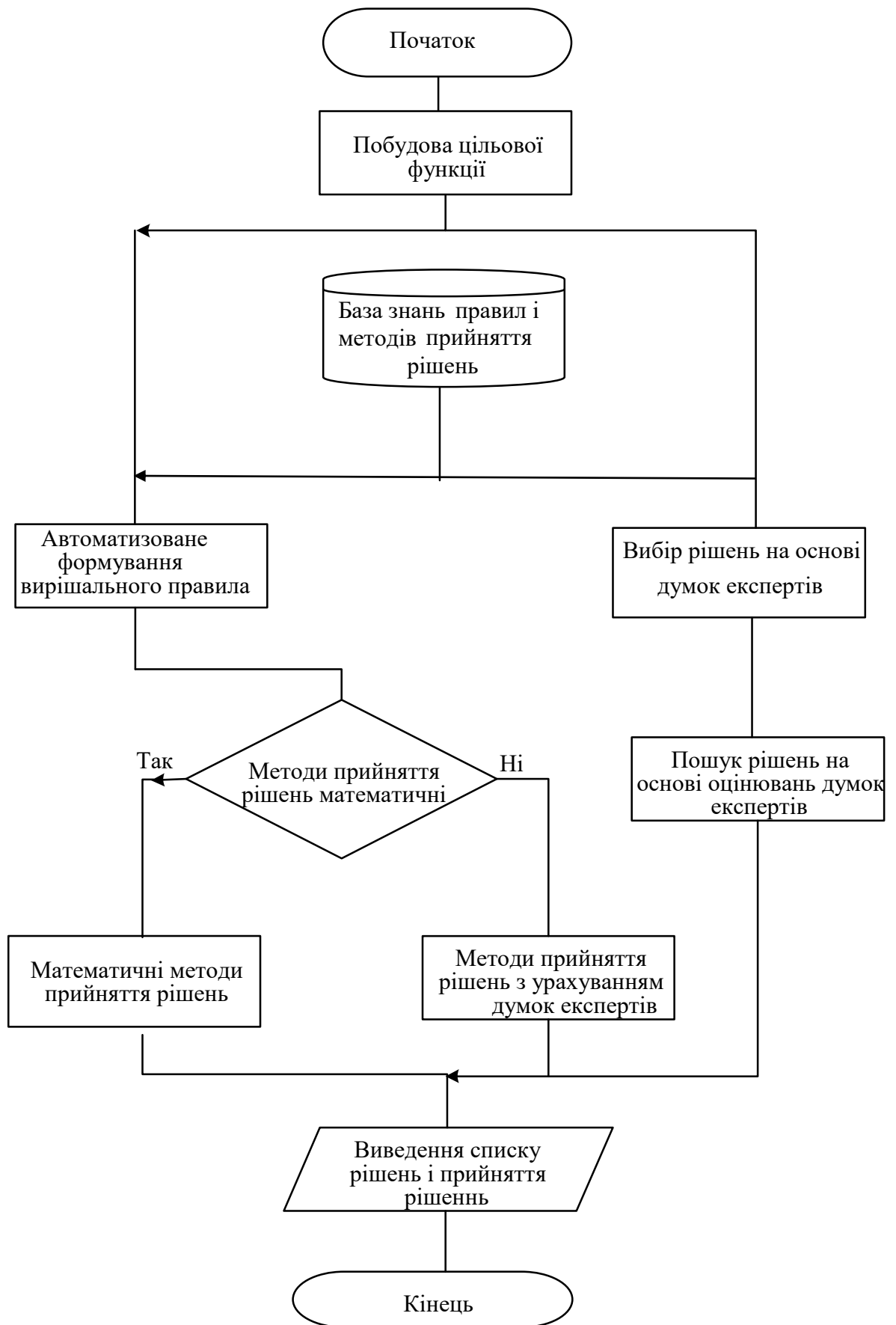


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму функціонування системи безпечного маневрування суден

Сформовані раніше альтернативні варіанти аналізуються і якщо рішення задовольняють, то система припиняє роботу [12].

Експертне формування цільової функції визначається при взаємодії експертів на основі їх думок з експертною системою. Рішення відбирається на основі вибору експертами найкращого рішення з урахуванням їх вагомості [13].

Система дозволяє провести побудову вирішальної функції паралельно як в автоматизованому режимі, так і на основі експертної думки. Незалежне застосування правил дозволяє провести зіставлення вихідних рішень, отриманих в результаті їх функціонування системи.

Блок-схему алгоритму функціонування системи наведено на рис. 3.

Усі процедури підготовки до роботи виконуються з використанням природного інтелекту, і лише в електронних картах використовуються кібернетичні пристрої. Узагальненою причиною аварій є відсутність алгоритмів діяльності судноводія при плаванні в обмежених умовах, а також відмова від лоцманської проводки як елементу навігаційної безпеки. Дослідження підтвердили коректність метода оцінки узгодженості чинників руху і характеристик оператора, і дозволили провести ранжирування помилок оператора по його психофізіологічним характеристикам. Це означає, що рівень навички гармонізує з характеристиками оператора, і визначає успішність інтелектуальних дій по управлінню рухом при маневруванні.

Висновки. Розроблено структуру СППР судна, що відрізняється наявністю підсистеми оцінки складності поточної ситуації на воді. Це дозволило враховувати показник безпеки руху при прийнятті керуючих рішень. Самонавчання інтелектуальної системи реалізовано за допомогою нечіткого класифікатора. Розроблено модель бази знань, що має можливість доповнюватися в процесі використання та вести статистику рішень, що були реалізовані під час керування судном. На основі чого було розроблена блок-схема алгоритму функціонування системи безпечного маневрування суден, що дозволяє провести побудову вирішальної функції паралельно як в автоматизованому режимі, так і на основі експертної думки. Незалежне застосування правил дозволяє провести зіставлення вихідних рішень, отриманих в результаті їх функціонування системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Васильев С. Н. (2000). Интеллектуальное управление динамическими системами / С. Н. Васильев [и др.]. — М.: Физматлит, 352 с.
2. Цымбал Н.Н., Бужбецкий Р.Ю. (2006). Формализация МППСС-72 в части координации взаимодействия судов при расхождении . Судовождение. № 12. С. 124–129.
3. Дмитриев С.П. (2001). Автоматический синтез траекторий движения как средство интеллектуальной поддержки судоводителя / С. П. Дмитриев и [др.] // Гироскопия и навигация. № 3 (34). С. 19–31.
4. Дмитриев С.П., Колесов Н.В., Осипов А.В., Романычева Г.Н. Система интеллектуальной поддержки судоводителя при расхождении судов. Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. №2. С. 98–105.
5. Глушков, С.В. Методы повышения качества управления судном на основе использования нейросетевых технологий: дис. докт. техн. наук / С.В. Глушков – Мор. гос. ун-т им. адмирала Г.И. Невельского. Владивосток. – 2008. – 175 с
6. Пипченко А.Д. (2003). Разработка робастного регулятора курса судна на базе теории искусственных нейронных сетей. Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА. – Одесса: ИздатИнформ. № 1. С. 15–21.
7. Gelb, A. (1974). Applied optimal estimation. MIT Press, 374 p

8. Горобченко, О. М. (2011). Корегування функцій машиніста локомотива за допомогою систем підтримки прийняття рішень. - інформ. № 5. С. 4–5.
9. Штовба С.Д. (2007). Проектирование нечетких систем средствами MATLAB [Текст]. – Москва: Горячая линия. – 288 с.
10. Ириков В.А., Тренев В.Н. (1999). Распределённые системы принятия решений. Теория и приложения: Наука. Физматлит, 288 с.
11. Рейльян Я. Р. (1989). Аналитическая основа принятия управленческих решений. Финансы и статистика, 208 с.
12. Рыков А.С. (2000). Методы системного анализа: многокритериальная и нечёткая оптимизация, моделирование и экспертные оценки. Экономика, 316 с.

REFERENCES

1. Vasiliev S.N. (2000). Intelligent control of dynamic systems / SN Vasiliev [et al.]. - Moscow: Fizmatlit, 352 p.
2. Tsymbal N.N., Buzhbetsky R.Yu. (2006). Formalization of COLREGs-72 in terms of coordination of interaction of ships in case of divergence. Navigation. No. 12. pp. 124–129.
3. Dmitriev S.P. (2001). Automatic synthesis of motion trajectories as a means of intellectual support for the navigator / S. P. Dmitriev et al. // Gyroscopy and navigation. No. 3 (34). S. 19–31.
4. Dmitriev S.P., Kolesov N.V., Osipov A.V., Romanycheva G.N. The system of intellectual support for the navigator in case of diverging vessels. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems. # 2. S. 98-105.
5. Glushkov, S.V. Methods for improving the quality of ship management based on use of neural network technologies: dis. doct. tech. Sciences / S.V. Glushkov - Mor. state un-t them. Admiral G.I. Nevelsky. Vladivostok. - 2008. -- 175 s
6. Pipchenko A.D. (2003). Development of a robust ship course controller based on the theory of artificial neural networks. Navigation: Sat. scientific. works of ONMA. - Odessa: IzdatInform. No. 1. P. 15–21.
7. Gelb, A. (1974). Applied optimal estimation. MIT Press, 374 p
8. Gorobchenko, O. M. (2011). Correlation of the functions of the locomotive engine for the additional support of the driver's systems is accepted. - inform. No. 5. P. 4–5.
9. Shtovba S.D. (2007). Designing fuzzy systems using MATLAB [Text]. - Moscow: Hotline. - 288 p.
10. Irikov V.A., Trenev V.N. (1999). Distributed decision-making systems. Theory and Applications: Science. Fizmatlit, 288 p.
11. Reilyan Ya.R. (1989). An analytical basis for making management decisions. Finance and statistics, 208 p.
12. Rykov A.S. (2000). Systems analysis methods: multi-criteria and fuzzy optimization, modeling and expert assessments. Economics, 316 p.

Скляренко И.Ю., Смирнова И. М., Герчиков А. А., Сидорчук А.Р РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АЛГОРИТМА БЕЗОПАСНОГО МАНЕВРИРОВАНИЯ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ

В статье рассмотрены проблемы обеспечения безопасного маневрирования судов, приведены факторы влияния на маневрирования судами внутреннего плавания, дано определение системе автоматического управления судном, что является основой процесса перехода к безэкипажным судам. Рассмотрены виды современных адаптивных авторулевых систем управления судами, исследованы их основные особенности, что стало основой для разработки системы поддержки принятия решений судами. Доказано, что для разработки логических структурных алгоритмов принятия

решения уделяется внимание разработке методов корректировки плановой траектории при управлении расхождением судов. При большом их количестве задача значительно усложняется, и судоводитель вынужден решать только оперативные задачи. Оценку ситуации изменение относительного движения описано тремя характеристиками. Представлены модель задачи принятия решения, схема системы самообучения, математическая модель динамической базы знаний на основе чего было построено алгоритм функционирования системы безопасного маневрирования, что позволяет провести построение решающей функции параллельно как в автоматизированном режиме, так и на основе экспертного мнения.

Ключові слова: система управління, маневрування, система підтримки прийняття рішень, база даних, алгоритм.

Sklyarenko I.Y., Smirnova I.M., Gerchikov O.O., Sidorchuk O.R.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN ALGORITHM FOR SAFE MANEUVERING OF INLAND NAVIGATION VESSELS

The article considers the problems of ensuring safe maneuvering of vessels, presents the factors influencing the maneuvering of inland waterway vessels, defines the system of automatic control of the vessel, which is the basis of the process of transition to unmanned vessels. The types of modern adaptive autopilot systems of ship management are considered, their main features are investigated, which became the basis for the development of a decision support system for ships.

It is investigated that for development of logical structural algorithms of decision-making attention is paid to development of methods of adjustment of a planned trajectory at management of a difference of vessels. With a large number of them, the tasks become much more complicated, and the driver is forced to solve only operational tasks. Assessment of the situation change in relative motion is described by three characteristics. The model of the problem of decision-making, the scheme of the self-learning system, the mathematical model of the dynamic knowledge base on the basis of which the algorithm of functioning of the safe maneuvering system was constructed is presented.

Keywords: control system, maneuvering, decision support system, database, algorithm.

АВТОРИ ВИПУСКУ

Аросланкін Олександр Олегович		ад'юнкт Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, https://orcid.org/0000-0001-6364-6368
Бажак Ольга Валеріївна		аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій, м.Київ, orcid.org/0000-0003-0598-5235
Богом'я Володимир Іванович		доктор технічних наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-4403-3130
Бойко Олександр Анатолійович		викладач спеціальних дисциплін Кілійського транспортного фахового коледжу ДУІТ, 0000-0002-7079-0998
Вильдяева Любов Миколаївна		старший викладач, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Гаталяк Марія Ярославівна		Національний університет «Львівська політехніка», Студентка 2 курсу за спеціальністю «Хімічні технології та інженерія», Інституту хімії та хімічних технологій, https://orcid.org/0000-0001-8587-5161
Герчиков Олексій Олександрович		студент, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Гладкий Андрій Романовіч		студент, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Гусак Ірина Леонідівна		аспірант, ДУІТ, https://orcid.org/0000-0002-1546-5914
Дакі Олена Анатоліївна		доктор технічних наук, професор кафедри, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-3932-462X
Зазірний Андрій Андрійович		асистент кафедри судноводіння та керування судном Державного університету інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0002-5780-4654
Клочков Юрій Петрович		к.е.н., доцент кафедри Судноводіння та керування судном
Кучерук Галина Юріївна		доктор економічних наук, професор, професор кафедри Технічних систем та процесів управління в судноводінні, ДУІТ, https://orcid.org/0000-0001-6716-6791
Куш Ольга Василівна		аспірантка, https://orcid.org/0000-0001-5650-6746
Макаров Олександр Михайлович		старший викладач, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ

Максименко Людмила Анатоліївна,		https://orcid.org/0000-0002-6531-5324 завідувач відділення
Маларьова Наталя Олексіївна,		https://orcid.org/0000-0001-7243-9328 – завідувач відділення
Матюхов Анатолій Тихонович		викладач спеціальних дисциплін Кілійського транспортного фахового коледжу ДУІТ, 0000-0003- 3632-0180
Найденів Андрій Ігорович		здобувач, Державний університет інфраструктури та технологій, м.Київ, orcid.org/0000-0002-3979-4923
Панов Сергій Львович		кандидат технічних наук, ст.викладач, Державний університет інфраструктури та технологій
Пліта Леонід Леонідович	–	аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, https://orcid.org/0000-0001-6422-444X
Сидорчук А.Р		студент, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Склярєнко Інна Юрійовна		кандидат педагогічних наук, доцент, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0002-1428-1793
Смирнова Ірина Михайлівна		доктор педагогічних наук, професор, ДУІТ, https://orcid.org/0000-0003-2085-5391
Сорока В'ячеслав Володимирович		аспірант ДУІТ, https://orcid.org/0000-0002-7581-7141
Тимошук Олена Миколаївна	–	доктор технічних наук, професор, директор інституту ⁶ ДУІТ, м. Київ, https://orcid.org/0000-0003-3684-6182
Ткаченко Віталій Володимирович		старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті, Дунайський факультет морського та річкового транспорту ДУІТ, https://orcid.org/0000-0002-9142-0515
Урум Наталія Степанівна	–	кандидат педагогічних наук, доцент, Дунайський факультет морського та річкового транспорту ДУІТ
Чередник Володимир Миколайович		к.т.н., старший викладач, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Шапіро В'ячеславовна		аспірант ДУІТ, https://orcid.org/0000-0003-4245-9365

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

1. До друку у збірнику наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій «Водний транспорт» приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: **постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.**

2. Стаття має відповідати тематичному спрямуванню журналу і бути завізована власноручно підписом автора. Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.

Разом з текстом статті і електронним носієм із записаним текстом до редколегії надаються: рецензія на статтю доктора наук (професора); довідка про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання, почесне звання, місце роботи, посада, номер контактного телефону, обліковий запис автора ORCID, поштова адреса).

3. Матеріал треба викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Терміни та позначення повинні відповідати чинним стандартам. Не допускаються повтори, а також зайві подробиці при переказі раніше опублікованих відомостей – замість цього подаються посилання на літературні джерела. Одиниці вимірювання слід подавати лише за міжнародною системою одиниць SI чи в одиницях, допущених до застосування в Україні згідно з вимогами чинних державних стандартів.

4. До рукопису додається анотація трьома мовами (**українська, російська, англійська**), в якій має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність (**обсяг не менш 1000 знаків**), а також ключові слова (трьома мовами, 5-10 слів).

5. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок.

6. Текстові матеріали готуються та друкуються на аркушах білого одностороннього паперу з використанням комп'ютерних текстових редакторів MS Word для Windows 98/2000/XP (формат A4), для набору формул використовують вбудовані редактори рівнянь, табличні матеріали можуть готуватись з використанням електронних таблиць (MS Excel). При цьому має застосовуватись шрифт Times New Roman.

7. Матеріали набирають та розміщують у послідовності: УДК – 12 пунктів, курсив (УДК повинно бути обов'язково). Розміщують зліва на сторінці; автори – 12 пунктів, напівжирний курсив. Розміщують зліва на сторінці; **НАЗВА СТАТТІ** – прописні літери, 12 пунктів, напівжирний. Розміщують посередині сторінки; анотація – 12 пунктів, курсив; основний текст – 12 пунктів, звичайний; **ЛІТЕРАТУРА** – 12 пунктів, напівжирний

8. Текст, формули, таблиці, рисунки, діаграми, схеми розміщуються на сторінці в одній колонці. Відступ першого рядка абзацу – 10 мм, інтервал між рядками –

одинарний. Інтервали між елементами матеріалу такі: УДК – автори – 2; автори – назва статті – 2; назва статті – анотація – 2; анотація – основний текст – 1;

основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка, схеми, діаграми) – 1; назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка, діаграми, схеми – їхні назви) – 1; нижній край таблиці (назва рисунка, діаграми, схеми) – основний текст – 1; основний текст – ЛІТЕРАТУРА – 1; ЛІТЕРАТУРА – список літератури – 1.

Усі рисунки, таблиці, діаграми повинні мати назви та номери. Слова Рисунок, Таблиця, Діаграма, Схема та їхні номери набираються звичайним шрифтом, 12 пунктів, назви таблиць розміщуються над таблицями, а рисунків, діаграм, схем – під ними. Відривати назви від зазначених елементів забороняється.

Від рисунка до підпису і від підпису до наступного тексту потрібно відступити один інтервал. Посилання в тексті на таблиці або на рисунки даються у скороченому вигляді звичайним шрифтом: «табл. 1» або «рис.1».

Якщо таблиця не вміщається на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують: «Продовження табл. 1» або «Закінчення табл. 1».

9. Графічні файли з формулами, графіками, рисунками, схемами та фотографіями повинні бути розташовані в тексті в таблиці MS Word. Номер формули проставляється справа в кінці рядка, в круглих дужках, не виходячи на поле. Формули розташовуються на сторінці по центру. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок.

Вводяться вони в графічному редакторі Microsoft Equation 3.0 для MS Word. Латинські літери та позначення величин (символи) набирають курсивом, українські та російські літери – тільки прямим шрифтом.

10. Список використаної літератури складається двома мовами та повинен включати **не менш 10 джерел кожний**. Перший (мовою оригінала джерела) відповідно до ДСТУ 7.1:2006, ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання: загальні положення та правила складання». Другий (References) латиницею (транслітерацією) з обов'язковим перекладом назви джерела на англійську мову.

11.Рекомендується при оформленні наукової статті використовувати ДСТУ 3008:2015– ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ. Структура та правила оформлювання.

Відповідальний за випуск *Богом'я В.І.*

Підп. до друку 20.12.2020. Формат 60х84/8. Папір для тиражувальних апаратів.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 23,5. Наклад 100 прим.
Зам. № 433. Віддруковано з оригіналів.

Державний університет інфраструктури та технологій

Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
(серія КВ № 23216-13056ПР від 23.02.2018 р.)
вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна
тел./факс: (044) 463-74-70, тел. (044) 417-17-57
<https://duit.edu.ua/research-activities/scientific-publications/water-transport>