

Гороховська О.К., Боріна М.В., Євтушенко М.Ю.

МОДЕЛЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ СУДОВИМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ УСТАНОВКАМИ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Актуальність теми дослідження. Комплексні процеси збору, обробки, збереження і передачі інформації (інформатизація) в останні десятиліття в усім світі усе активніше впроваджуються в практичну діяльність організацій, що функціонують у різних галузях техніки, у тому числі в сфері суднобудування.

Суднобудування відноситься до традиційно консервативних галузей техніки, але і тут у зв'язку з високими темпами розвитку електронних систем контролю і моніторингу суднові двигуни та інші об'єкти судових енергетичних установок (СЕУ) світових виробників дійсний час оснащуються такими приладами та системами контролю й моніторингу (датчиками, сенсорами, інтелектуальними контролерами і т.п.), про які ще вчора можна було тільки мріяти.

Природно, що наступним кроком технічного прогресу в суднобудуванні буде створення інтелектуальних інформаційних систем, що дозволило знизити експлуатаційні витрати та компенсувати вплив людського фактору на експлуатацію складного судового обладнання. За допомогою інтелектуальних інформаційних систем будуть вирішені питання контролю технічного стану елементів СЕУ, вибір режимів оптимального управління, попередження та усунення аварійних ситуацій.

Отже, можна констатувати той факт, що дослідження у сфері інтелектуалізації управління СЕУ є перспективними та **актуальними**.

Метою роботи є підвищення економічності та екологічності судової енергетичної установки за рахунок впровадження методів інтелектуального управління нею.

У розробку окремих питань та завдань, які розглядаються у дослідженні значний внесок зробили наступні вчені: Сагін С.В., Занько О.Н., Солодовников В. Г., Кочанов Э. С. Липантьев Р. Е. Соловьєв А. В. [1-6].

Виклад основного матеріалу. Сучасні системи керування суднами, що ґрунтуються на кібернетиці, інформатиці та штучному інтелекті, відкривають нові можливості для створення як схемних, так і алгоритмічних рішень в управлінні групами об'єктів.

Дослідження в області інтелектуальних систем управління можливі лише завдяки поєднанню сучасної теорії управління та штучного інтелекту. Інформаційна система – це сукупність взаємопов'язаних елементів, що включають комп'ютери, програмне забезпечення, операторів, фізичні процеси, засоби зв'язку тощо, утворюючи єдину систему, здатну обробляти та передавати дані. Тоді інформаційна технологія це процес виконання чітко визначених операцій різної складності з даними, що зберігаються в комп'ютерах. У свою чергу, автоматизована інформаційна технологія тісно зв'язана з інформаційною системою, що є для неї основним середовищем.

Донедавна постановка і рішення задач управління спиралися на більш-менш традиційні математичні моделі, як правило, у формі диференціальних рівнянь щодо координат стану керованого процесу. Прикладом може послужити система диференціальних рівнянь, запропонована для моделювання процесів пуску і гальмування судового дизеля стисненням повітрям (головний двигун (ГД) з прямою передачею ОМ на гвинт):

$$\begin{aligned}
 I \frac{d\omega_m}{dt} &= M_d - M_B - M_T; \\
 \frac{d\varphi}{dt} &= \omega_m; \\
 G_{c_v} \frac{dT}{dt} &= \alpha_T F_S (T_\omega - T) + (i_n - u_n) \frac{dG_n}{dt} - \frac{\pi \omega_m S D^2}{8} p \bar{\omega}; \\
 \frac{dG_n}{dt} &= \mu_n f_n \frac{p_1}{\sqrt{R_B} \sqrt{T_1}} \sqrt{r-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{r}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{r+1}{r}} \right]
 \end{aligned} \tag{1}$$

де: M_d – рушійний момент двигуна (він же гальмовий);

M_B – момент опору гвинта; M_T – момент від сил тертя в механізмі двигуна, опорах валопроводу і механічних гальмах;

I - приведений до осі валу момент інерції обертових мас з урахуванням приєднаної маси води;

ω_m - кутова швидкість колінчатого валу двигуна;

φ - кут повороту колінчатого валу двигуна;

T - поточне значення температури повітря;

G_p - поточне значення кількості повітря, що перетікає через пусковий клапан;

S, D, p, φ - параметри рівнянь, що характеризують хід поршня, діаметр циліндра, що тече значення тиску повітря в циліндрі, безрозмірну швидкість поршня тощо.

Використання цієї моделі (і подібних їй) дає результати, які не можна вважати достовірними з ряду причин. Наприклад, у правій частині рівнянь динаміки не враховані постійно діючі збурення; вірогідність чисельних значень коефіцієнтів моделі досить низька. Підвищити надійність моделі можна після набору статистичної інформації про розбіжність даних реального процесу ω_r і результатів моделювання ω_m . Необхідність використання високоточної моделі може відпасти, якщо проєктувати алгоритми управління, які використовують не математичну модель для вироблення керуючого сигналу, а інформацію про «історії» протікання процесу, тобто, якщо в алгоритмі закладаються деякі елементи інтелекту. Розробка таких алгоритмів стала можлива завдяки впровадженню обчислювальної техніки в системи управління. Для налагодження алгоритмів зі складною логікою можна використовувати і «загрублену» модель.

Алгоритми управління з використанням деяких елементів інтелекту становлять інтерес для управління всім автоматизованим судновим комплексом.

У магістерському дослідженні пропонується розробляти управління елементами СЕУ на основі концепції єдиного цифрового рішення, що є невід'ємною частиною або навіть основою єдиної системи управління СЕУ (рис. 1). Представлена система управління є модульною. При модульній побудові весь комплекс підрозділяється на ряд самостійних підсистем, що вирішують визначені підзадачі з вхідних у головну задачу системи, наприклад, цілеорієнтоване управління СЕУ. Таким чином, модульні системи складаються з блоків - модулів (рис. 2), кожний з яких може функціонувати як самостійно, так і в рамках усієї системи, отримуючи команди з підсистем більш високого рівня.

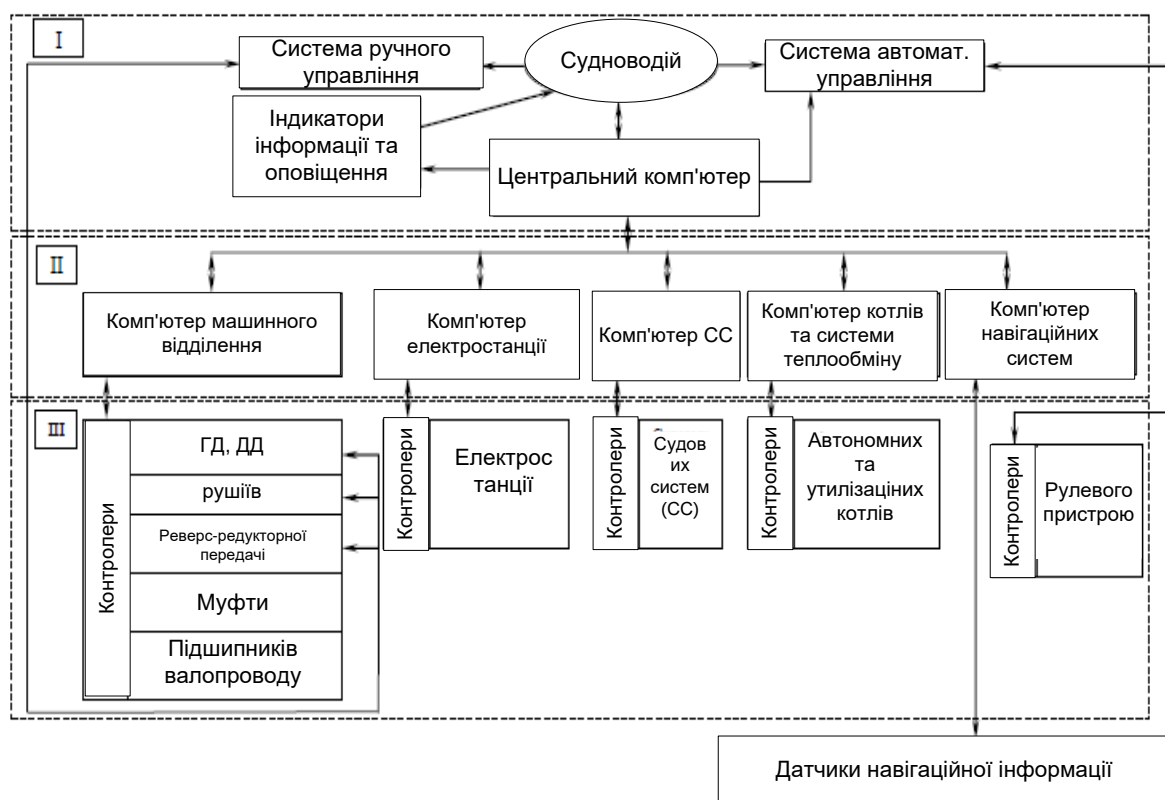


Рисунок 1 - Блок-схема концепції єдиного цифрового рішення системи управління

У представлений на рис. 2 блок-схемі система управління розділена на три різних ієрархічних рівня.

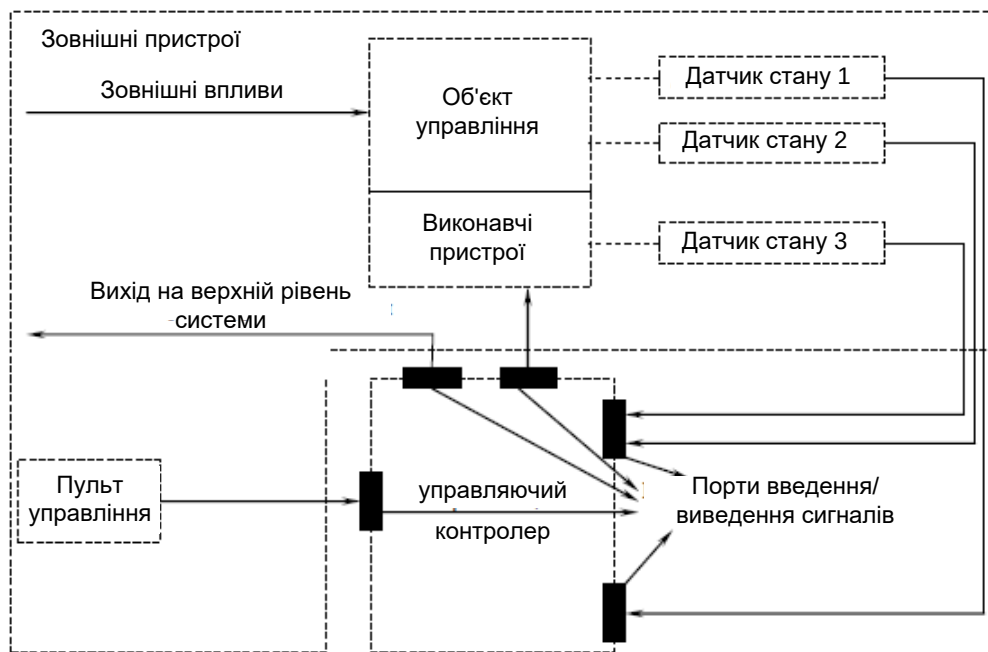


Рисунок 2 – Блок-схема модуля III рівня

Центральний комп'ютер управління (ЦКУ) I-го (вищого) рівня пов'язаний з комп'ютерами II-го рівня. Періодично ЦКУ здійснює зв'язок з комп'ютерами II-го рівня: здійснює збір, обробку інформації про об'єкти управління, передачу команд управління, збереження та відображення інформації про задані змінні, відображає на екрані монітора хід процесу управління у зручному для судноводія вигляді.

Комп'ютери II-рівня формують запити до контролерів III-го рівня, отримують від них оперативну інформацію про хід управління конкретним об'єктом, здійснюють збереження інформації, роблять корекцію необхідних параметрів алгоритмів управління та уставок регуляторів у контролерах III-го рівня, здійснюють передачу і прийом інформації від комп'ютера I-рівня.

Контролери III-го рівня виконують:

- збір сигналів від датчиків, установлених на об'єктах управління;
- попередню обробку сигналів (фільтрацію і масштабування);
- реалізацію алгоритмів управління і формування керуючих сигналів на виконавчі механізми об'єктів управління;
- передачу і прийом інформації від комп'ютерів II-рівня.

Зв'язок між комп'ютерами різного рівня здійснюється звичайно по однопроводній (іноді двохпроводній - у випадку реалізації інтерфейсу токової петлі) лінії дискретним послідовним кодом. Для здійснення цього зв'язку комп'ютери повинні мати послідовні порти типу СОМ-порт або USB-порт.

Контролери III-го рівня здійснюють зв'язок із зовнішнім середовищем: з датчиками об'єкта, виконавчими пристроями, сигналізацією. Зв'язок здійснюється через порти: дискретні (послідовний, рівнобіжний) або аналогові. У представленій концепції єдиного цифрового рішення системи управління всі обміни інформацією між комп'ютерами, між контролерами та датчиками або виконавчими пристроями здійснюється за командами програми. Програмне забезпечення роботи всього автоматизованого комплексу досить складне і є основним для надійного функціонування системи.

Програми III-го рівня керують безпосередньо конкретним об'єктом і задовольняють виставленим жорстким вимогам. Програми II-рівня повинні передавати накази на об'єкти управління, зберігати інформацію і передавати її на верхній рівень за вимогою. Програма I-рівня видає накази і може вимагати інформацію за конкретний момент часу.

Далі розглянемо сценарії інтелектуального управління судовою енергетичною установкою. Реалізація сценаріїв управління можлива при використанні концепції єдиного цифрового рішення системи управління. Для виконання одного з восьми представлених далі сценаріїв ЄЦСУ СЕУ комп'ютер I-го рівня при відповідному намірі судноводія видає команди на комп'ютери II-го рівня про переклад об'єктів СЕУ у відповідному сценарію режиму роботи відповідно до прийнятого протоколу управління. Комп'ютери II-го рівня передають необхідні настройки управління на контролери об'єктів СЕУ.

Сценарій 1. Об'єкти СЕУ з моменту проходження сигналу про відповідну дію (намірі) судноводія переключаються на забезпечення максимальної потужності головних двигунів. Необхідність такого режиму роботи СЕУ виникає вкрай рідко і може знадобитися при виведенні судна на безпечне плесо під погрозою зіткнення з іншими судами або плавучими об'єктами, навмисному викиданні судна на міліну, знятті з мілини і т.п. ГД при цьому виходять на режим 100 % або 110 % номінальної потужності, запускається резервний дизель-генератор для забезпечення роботи пристроїв, які підрулюють, лопаті рушіїв повертаються в положення максимального упора, утилізатори теплоти ВГ відключаються, насоси систем охолодження і змазування переводяться в режим максимальної подачі. Загальносуднові системи функціонують у режимі ручного управління. Система аварійно-попереджувальної сигналізації (АПС) функціонує в штатному режимі.

Система визначення технічного стану об'єктів СЕУ функціонує в режимі генерування попереджувальних світлових і звукових сигналів про неприпустиме перевантаження відповідальних об'єктів СЕУ.

Сценарій 2. Об'єкти СЕУ з моменту проходження сигналу про відповідну дію (намірі) судноводія переключаються на режим забезпечення номінальної потужності СЕУ. Необхідність такого режиму роботи СЕУ виникає при невідповідності графіка руху судна часовим орієнтирам, що задається розкладом. Головні двигуни (двигун) при цьому виходять на режим 100 % номінальної потужності, резервний дизель-генератор для забезпечення роботи пристроїв, які підрулюють, не

запускається, оскільки робота даних пристроїв не потрібна; рушії, насоси систем охолодження і змащування працюють у штатному режимі; електроенергетична установка, комплексна система утилізації теплоти працюють відповідно до алгоритму управління, що забезпечує поточні потреби судна в електроенергії і теплових потоках відповідно. Загальносуднові системи функціонують у режимі ручного управління. Система АПС функціонує в штатному режимі. Система визначення технічного стану об'єктів СЕУ відповідно до протоколу (прийнятою схемою опитування датчиків і збереження даних) заносить у базу діагностичних параметрів значення параметрів, на основі використання яких (шкалування, угруповання, зіставлення з нормами) комп'ютерна модель діагностування робить висновок про придатний або непридатний стан об'єктів СЕУ.

Сценарій 3. Об'єкти СЕУ з моменту проходження сигналу про відповідну дію (намірі) судноводія переключаються на режим забезпечення максимальної економічності СЕУ. Такий режим може бути призначений судноводієм, якщо мається запас ходового часу в порівнянні з графіком руху, який задається розкладом. Система управління функціонує в режимі забезпечення максимально можливого ступеня енергозбереження, у залежності від шляхових, гідрометеорологічних умов, потреби судна в електричній енергії, гарячому водопостачанні, опаленні, кондиціонуванні повітря. Режим роботи головних двигунів, електроенергетичної установки, комплексної системи утилізації теплоти, автономного котла встановлюється системою управління за результатами аналізу складового критерію енергозбереження. Загальносуднові системи функціонують у режимі ручного управління. Система визначення технічного стану об'єктів СЕУ функціонує в "сплячому" режимі. Система АПС функціонує в штатному режимі.

Сценарій 4. Об'єкти СЕУ з моменту проходження сигналу про відповідну дію (намірі) судноводія переключаються на режим забезпечення мінімальної або регламентованої швидкості руху. Такий режим може бути призначений судноводієм при проходженні судном працюючих і непрацюючих судів технічного флоту, пришвартованих до берегових причальних споруджень судів у вузькостях, при русі судна в каналах і т.д. Системи двигунів, загальносуднові системи, система АПС працюють у штатному режимі, електроенергетична установка, комплексна система утилізації теплоти працюють відповідно до алгоритму управління, що забезпечує поточні потреби судна в електроенергії і теплових потоках відповідно. Система визначення технічного стану об'єктів СЕУ функціонує в "сплячому" режимі.

Сценарій 5. Об'єкти СЕУ з моменту проходження сигналу про відповідну дію (намірі) судноводія переключаються на режим забезпечення максимальної екологічної безпеки СЕУ. Такий режим може бути призначений судноводієм при проходженні судном природоохоронних зон, гідровузлів, міст і великих сільських поселень. Система управління функціонує в режимі забезпечення максимально можливого ступеня природозбереження в залежності від шляхових, гідрометеорологічних умов і обмежень, що накладаються місцевими правилами плавання. Режим роботи об'єктів СЕУ і природоохоронного устаткування встановлюється системою управління за результатами аналізу складового критерію екологічної безпеки, при цьому накладаються обмеження, наприклад, на роботу інсинератора, на частоту зміни режимів роботи двигунів, що характеризуються підвищеною димністю. Загальносуднові системи функціонують у режимі ручного управління. Система визначення технічного стану об'єктів СЕУ відключається. Система АПС функціонує в штатному режимі.

Сценарій 6. Об'єкти СЕУ з моменту проходження сигналу про відповідну дію (намірі) судноводія переключаються на режим забезпечення максимальної довговічності елементів СЕУ. Цей режим багато в чому близький до режиму, що відповідає сценарію 3, але відрізняється від нього переходом на зазначені в технічній документації "роботи головних двигунів, які заощаджують" режими, дизель-генераторів, насосів, сепараторів, компресорів та інших об'єктів СЕУ, максимальна довговічність яких відіграє важливу роль у забезпеченні економічних показників експлуатації судна. Такий режим може бути призначений судноводієм, якщо мається запас ходового часу в порівнянні з графіком руху, що задається розкладом. При цьому з обліком шляхових і гідрометеорологічних умов і найбільш сприятливої з позицій довговічності навантаження двигунів вибирається число працюючих головних двигунів і дизель-генераторів, встановлюється режим їх терморегулювання і змащування. Електроенергетична установка, комплексна система утилізації

теплоти працюють відповідно до алгоритму управління, що забезпечує поточні потреби судна в електроенергії і теплових потоках відповідно. Загальносуднові системи функціонують у режимі ручного управління. Система визначення технічного стану об'єктів СЕУ функціонує в "сплячому" режимі. Система АПС функціонує в штатному режимі.

Сценарій 7. Об'єкти СЕУ з моменту проходження сигналу про відповідну дію (намірі) судноводія переключаються на режим забезпечення максимальної технічної безпеки судна в рейсі, при навантаженні і (або) на стоянці. Такий режим може бути призначений судноводієм, якщо він одержить інформацію про можливу погрозу безпеки судна.

Джерелом небезпеки можуть бути штормові умови плавання, погроза транспортної події, водотечія, пожежезагрозлива ситуація в окремих приміщеннях судна, вимоги Інформації про остійність і непотоплюваності, Інформації про завантаження судна і т.п.. У повну готовність приводяться системи осушення, баластова, протипожежні системи. Система АПС функціонує в штатному режимі. ПК, електроенергетична установка переводяться в режим ручного управління, утилізатори теплоти випускних газів відключаються. Система визначення технічного стану об'єктів СЕУ відключається.

Сценарій 8. Об'єкти СЕУ з моменту проходження сигналу про відповідну дію (намірі) судноводія переключаються на маневровий режим (режим ручного управління головними двигунами, підрулюючими пристроями, рушіями). Запускається резервний дизель-генератор. У повну готовність приводяться пристрої, що підрулюють, палубні механізми. При цьому електроенергетична установка, комплексна система утилізації теплоти працюють відповідно до алгоритмів їх управління, що забезпечують поточні потреби судна в електроенергії і теплових потоках відповідно. Система АПС, загальносуднові системи функціонують у штатному режимі. Система визначення технічного стану об'єктів СЕУ відключається.

Режими роботи об'єктів СЕУ при реалізації усіх восьми інтелектуальних сценаріїв управління представлені в зведеній табл. 1.

Таблиця 1 - Зведена таблиця режимів роботи об'єктів СЕУ при реалізації інтелектуальних сценаріїв управління

Об'єкт СЕУ		Режим роботи СЕУ							
		Сценарій №1	Сценарій №2	Сценарій №3	Сценарій №4	Сценарій №5	Сценарій №6	Сценарій №7	Сценарій №8
ГД		Максимальна потужність	Номинальна потужність	Максимальна економічність	Штатний режим	Максимальна ЕБ	Максимальна довговічність	Штатний режим	Штатний режим
РРП		Режим судноводія (передній задній хід)	Режим судноводія (передній задній хід)	Режим судноводія (передній задній хід)	Режим судноводія (передній задній хід)	Режим судноводія (передній задній хід)	Режим судноводія (передній задній хід)	Режим судноводія (передній задній хід)	Режим судноводія (передній задній хід)
Допоміжні двигуни		Штатний режим	Штатний режим	Максимальна економічність	Штатний режим	Максимальна ЕБ	Максимальна довговічність	Штатний режим	Штатний режим
Електростанція		З забезпеченням резерву потужності	Штатний режим	Максимальна економічність	Штатний режим	Максимальна ЕБ	Штатний режим	З забезпеченням резерву потужності	З забезпеченням резерву потужності
СС	Осушувальна	Готовність до пуску	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Готовність до пуску	Штатний режим
	Баластна	Готовність до пуску	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Готовність до пуску	Штатний режим
	Газопивускна	Максимальна потужність	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим

Вентиляційна	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим
Паливна	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим
Змащування	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим
Стиснутого повітря	Готовність до пуску	Готовність до пуску	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Готовність до пуску	Готовність до пуску
Водогасіння	Готовність до пуску	Готовність до пуску	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Готовність до пуску	Штатний режим
Газового пожежогасіння	Готовність до пуску	Готовність до пуску	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Готовність до пуску	Штатний режим
Аерозольного пожежогасіння	Готовність до пуску	Готовність до пуску	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Готовність до пуску	Штатний режим
Піноспензійна система пожежогасіння	Готовність до пуску	Готовність до пуску	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Готовність до пуску	Штатний режим
Інша система пожежогасіння	Готовність до пуску	Готовність до пуску	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Готовність до пуску	Штатний режим
Система кондиціонування повітря та опалення	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим
Автономні котли	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим
Утилізатори ВГ	Відключені	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим	Штатний режим
Підрулюючий пристрій	Готовність до пуску	Відключено	Відключено	Включено	Штатний режим	Відключено	Готовність до пуску	Включено

Аналіз можливих дій системи з тим або іншим інтелектуальним сценарієм управління показує, що для сценаріїв 1, 2, 4, 6, 7 та 8 додаткові розробки критеріїв результативності, на які повинна бути орієнтована система управління, не потрібні - такими критеріями є:

для сценарію 1 - максимальна потужність головних двигунів;

для сценарію 2 - номінальна потужність головних двигунів;

для сценарію 4 - швидкість руху судна;

для сценарію 6 - режими роботи об'єктів СЕУ, що забезпечують їх найбільшу довговічність;

для сценарію 7 - попередження погроз безпеки судна або ліквідація таких погроз;

для сценарію 8 - автоматичне управління; критерій результативності такого управління не потрібен.

Однак для сценаріїв 3 і 5 критерій результативності автоматичного управління потрібен і такими, на думку автора, можуть бути: для сценарію 3 - енергетична ефективність, а для сценарію 5 - екологічна ефективність судна.

Висновки. В результаті комплексного дослідження в даному розділі розроблені моделі та сценарії управління судовою енергетичною установкою. Таких моделей всього вісім, кожна з яких характеризується станом внутрішнього та зовнішнього середовища. Обґрунтовані блок-схеми єдиної комплексної цілеспрямованої системи управління СЕУ, доведено, що при даному рівні розвитку мікропроцесорної техніки та інформаційних технологій можлива реалізація її у складі конкретного судна як на етапі проектування, так і на етапі модернізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sagin S. V. The investigations of the influence of ultrasonic fuel processing on sulfur wear of details in cylinder group of marine diesel engines / S. V. Sagin, Solodovnikov V. G. // European Science and Technology : material of the XVI international research and practice conference, Munich, March 14th – 15th, 2017 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg – Munich – Germany 2017. – P. 61-74.

2. Занько О. Н. Технология использования рабочих веществ в судовых энергетических установках / О. Н. Занько, В. Н. Калугин, И. В. Логишев. – Одесса : Фенікс, 2005. – 508 с.
3. Солодовников В. Г. Использование в судовых дизелях топлив различного фракционного и структурного состава / В. Г. Солодовников // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2014. – № 33. – Одесса : ОНМА. – С. 110-117.
4. Кочанов Э. С. Электрические методы очистки и контроля судовых топлив / Э. С. Кочанов. – Л. : Судостроение, 1990. – 216 с.
5. Липантьев Р. Е. Улучшение эксплуатационных свойств дизельных топлив электродуговым способом / Р. Е. Липантьев, В. П. Тутубалина // Проблемы энергетики. – 2011. – № 1-2. – С. 127-131.
6. Сагін С. В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів / С. В. Сагін // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА», 2018. – С. 139-149.
7. Соловьёв А. В. Повышение эффективности судовых энергетических установок / А. В. Соловьёв, М. М. Чиркова, Н. Ф. Попов // Вестник АГТУ. Сер. : Морская техника и технология. – 2018. – № 4. – С. 101-106. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-4-101-106