МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Дощенко Г.Г., Наговський Д.А.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. У статті розглядаються аспекти моделювання та аналізу систем автоматичного управління судновими енергетичними установками (СЕУ). Основна увага приділена структурі та функціональним можливостям засобів автоматизації, що забезпечують управління, контроль та сигналізацію стану головного двигуна, дизель-генераторів і загальносуднових систем. Підкреслюється важливість моделювання як інструменту підвищення ефективності управління та зменшення ризику аварійних ситуацій, зокрема у перехідних режимах роботи.

Запропоновано використання моделі орієнтованої системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє знизити ймовірність помилок обслуговуючого персоналу та забезпечити підвищення надійності СЕУ. Розглянуто інтеграцію в систему управління блоків моделювання та підтримки рішень, які реалізуються за допомогою математичних моделей і методів нечіткого висновку. Описано методи моделювання надійності енергетичних установок шляхом структурного аналізу та розрахунку середнього часу безвідмовної роботи.

У статті також аналізується взаємозв’язок між енергетичним профілем судна, його призначенням і конфігурацією енергетичної установки. Результати моделювання використовуються для розробки модульного рівня керування, що дозволяє адаптувати систему автоматизації до змін профілю навантаження. Запропонований підхід сприяє підвищенню ефективності та стабільності функціонування суднових електростанцій, а також слугує основою для подальших удосконалень в галузі автоматизованого управління морськими енергетичними системами.

Виклад основного матеріалу. Устаткування автоматизації, що встановлюється на суднах, забезпечує виконання широкого кола завдань управління, контролю та сигналізації, пов'язаних з процесами руху судна та функціонуванням всіх суднових технічних засобів (СТЗ). Моделювання таких систем дозволяє закріпити навичку вирішення критичних ситуацій, які можуть виникати при несподіваних поломках основних компонентів судна.

Автоматичне керування головного двигуна зазвичай складається з: комплексу датчиків та виконавчих механізмів, встановлених безпосередньо на головному двигуні (ГД); блоків управління двигунами та пристроєм контролю двигуна; системи дистанційного керування та контролю.

Спільна робота зазначеного набору засобів забезпечує виконання основних функцій з управління, контролю та захисту ГД:

- підготовка пуску ГД;
- пуск та зупинка ГД;
- вимірювання та відображення контрольних параметрів;
- аварійно-попереджувальна сигналізація; захист ГД у всіх режимах роботи, як за допомогою автоматичної аварійної зупинки ГД, так і за допомогою необхідних засобів блокування.

Система дистанційного керування та контролю ГД забезпечує передачу всієї необхідної інформації у регістр рейсу. Система забезпечує вирішення завдань дистанційного управління та контролю, технічних засобів, які встановлюються на суднах, а також завдань аварійно-попереджувальної сигналізації у необхідному обсязі.

Набір засобів забезпечує виконання основних функцій управління та моніторингу електроенергетичної станції: управління та контроль роботи дизель-генератора (ДГ) у

дистанційному та місцевому режимі; автоматична зупинка ДГ за сигналом «Аварія»; управління та контроль мережі змінного струму; управління та контроль мережі постійного струму.

Крім автоматизації ГЕУ (головних енергетичних установок) з обслуговуючими її системами та ЕЕС (електроенергетичних станцій) обладнання, забезпечує управління та контроль великої кількості загальносуднових систем та пристроїв.

Використання різних засобів контролю відіграє важливу роль у забезпеченні безпечної експлуатації судна. Вони дозволяють запобігти накопичення відмов у комплексі та його складових частинах. Це зменшує ймовірність порушення основних функцій комплексу.

Усі технічні засоби контролю, що входять до комплексу, забезпечують виконання функцій, утворюючи свого роду субкомплекс, ієрархію та структуру, які тісно пов'язані зі структурою комплексу загалом.

У субкомплексі забезпечуються всі необхідні види відображення та подання контрольованої інформації, а саме: індикація контрольованих параметрів та сигналізація про нормальному та робочому стані обладнання; попереджувальна сигналізація — сигналізацію про виході параметрів за межі робочого діапазону та про ненормальний стан обладнання; аварійна сигналізація — сигналізація про вихід контрольованих параметрів за допустимі межі та про аварійне і неприпустимий стан обладнання.

При моделюванні використовуються різні методи та рішення, що дозволяють забезпечити системі необхідну ефективність. Одним із таких методів є модель орієнтованої системи підтримки прийняття рішень для зниження частоти аварій у перехідних та динамічних режимах роботи.

У роботі запропоновано спосіб підвищення ефективності суднової енергетичної установки, що досягається завдяки зниженню аварій при перехідних режимах. Метод заснований на зменшенні кількості помилок обслуговуючого персоналу за рахунок використання моделі орієнтованої системи підтримки прийняття рішень. Для реалізації запропонованого методу покращують структуру системи автоматичного керування суднової енергетичної установки. Таке удосконалення системи управління передбачає інтеграцію до неї структуру блоку моделювання та блоку підтримки прийняття рішень.

Математична модель, яка відповідає описаному у статті методу підвищення продуктивності суднової енергетичної установки (СЕУ) шляхом зниження аварійності у перехідних режимах, складається з трьох основних компонентів, і це:

- Блок моделювання (ВМ);
- Блок підтримки прийняття рішень (СППР);
- Об'єкт керування — суднова енергетична установка (СЕУ).

Перехідний режим описується системою нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\frac{dx(t)}{dt} = f\big(x(t), u(t), d(t)\big), x(0) = x_0$$

де $x(t) \in \mathbb{R}^n$ — вектор станів СЕУ (наприклад: частота, напруга, тиск, температура тощо),

$u(t) \in \mathbb{R}^m$ — вектор керуючих впливів (ввід користувача або автоматики),

$d(t) \in \mathbb{R}^p$ — вектор збурень (зовнішні та внутрішні фактори),

$f(\,)$ — нелінійна функція, що описує динаміку СЕУ.

Блок моделювання дозволяє прогнозувати значення контрольованих параметрів при перехідному режимі роботи до того, як вони фактично з'являться в системі внаслідок дій оператора. Для цього блоку будується математична модель системи автоматичного керування при перехідних режими роботи. Для реалізації блоку підтримки прийняття рішень розробляється метод формалізації завдання управління електростанцією при

перехідних режимах роботи Метод, по суті, полягає у моделюванні перехідного режиму роботи з наступною оцінкою результатів на основі нормативних вимог та емпіричного критерію оцінки якості при паралельній роботі дизель-генераторів. Крім того, для блоку підтримки прийняття рішень використовується метод зниження аварійності та підвищення продуктивності за допомогою математичного апарату нечіткого висновку, логіки та множин. Для використання методу проводять дослідження перехідних режимів роботи, що виникають внаслідок помилкових дій операторів під час рейсів. В результаті використання запропонованої системи продуктивність електростанції підвищується [1].

Моделюванню також піддається надійність суднової електростанції. Завдяки прогнозуванню, заснованому на методі підрахунку, виявляються слабкі ланки системи автоматичного керування. При даному методі уявлення надійності морської електростанції відбувається структурування за допомогою блок-схем та математичної моделі, де отримують середній час напрацювання на відмову морської електростанції при різних умовах роботи. Моделювання надійності суднової електростанції, отримане за різних умов роботи, відповідає фактичному режиму роботи [2].

При проектуванні модельної системи управління судовими ЕЕС необхідно зібрати інформацію: аналізуються енергетичні профілі, компонування силових установок та системи управління суден. Потім енергетичні профілі поділяються на два компоненти — потреба в силовій та допоміжній енергії, де можна виявити взаємозв'язок між енергетичним профілем судна та його призначенням, а також запропонувати алгоритм, який обчислює енергетичний профіль з урахуванням даних про призначення судна. Крім того, також потрібно дослідити взаємозв'язок між профілем потужності та компонуванням енергетичної установки з акцентом на те, як зміни в профілі потужності призводять до модифікацій енергетичної автоматизації установки. Потім вже розробляється додатковий модульний рівень керування для виконання необхідних параметрів автоматизації електростанції шляхом поєднання стратегії еквівалентної мінімізації споживання з автоматичним перемиканням [3].

Запропонована математична модель дає змогу реалізувати попереджувальне керування СЕУ у перехідних режимах з урахуванням можливих помилок персоналу, забезпечити підвищення продуктивності та надійності установки за рахунок застосування нечітких алгоритмів прийняття рішень і прогнозних математичних моделей.

Результати моделювання використовуються для демонстрації ефективності передбачуваних можливих інновацій в системі управління. Розглядається стабільність компонентів електростанції після внесення зміни в системі автоматизації. Основним вкладом моделювання є новий підхід до системи управління електростанцією на вторинному рівні, що забезпечує модульність в рамках передбачуваної фіксованої компоновки електростанції. Крім того, запропонований алгоритм можна використовувати для визначення очікуваного профілю потужності для нової задачі і для виявлення необхідних змін в обладнанні електростанції [4].

Висновки. Розроблені підходи до моделювання систем автоматичного управління судновими енергетичними установками мають чітке прикладне спрямування та можуть бути впроваджені у навчальні тренажери, системи технічної підготовки персоналу, а також на реальних суднових автоматизованих комплексах.

Моделювання систем автоматичного управління судновими електростанціями дозволяє підготувати персонал судна до різних ситуацій. Також дозволяє знайти «слабкі місця» системи, де можна буде спрогнозувати подальші помилки і усунути їх виникнення, якщо підібрати оптимальне рішення. Подібне моделювання адаптується до широкого спектру типів суден та їх функціям. Удосконалена система після впровадження компонентів моделювання може задовольнити потреби та вимоги в області автоматизації. Проектування моделей систем інформації про енергоспоживання забезпечує продуктивність систем обладнання, які дозволяють операторам налаштовувати роботу

установки найбільш енергоефективним способом.

Результати моделювання надійності суднової електростанції можуть бути використані для оптимізації графіків технічного обслуговування, виявлення критичних компонентів та планування модернізації суднового обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Improving the Ship's Power Plant Automatic Control System by Using a Model-Oriented Decision Support System in Order To Reduce Accident Rate Under the Transitional and Dynamic Modes of Operation / I. Voytetsky, T. Voytetskaya, L. Vyshnevskyi, I. Kozyryev, O. Maksymova, M. Maksymov, V. Kryvda // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2021. — № 3(2 (111) — С. 57–66

2. Papalambrou, G., Samokhin, S., Topaloglou, S., Planakis, N., Kyrtatos, N., Zenger, K. (2017). Model predictive control for hybrid diesel-electric marine propulsion. IFAC-PapersOnLine, 50 (1), 11064–11069. doi: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2488.

3. Шалапко Д.О. Перспективні способи підвищення ефективності експлуатації суднових енергетичних установок: навчальний посібник / Д. О. Шалапко, М. А. Пирисунько, А. А. Андрєєв. — Миколаїв: Іліон, 2023. — 298 с.

4. Sujesh, G., Ramesh, S. (2018). Modeling and control of diesel engines: A systematic review. Alexandria Engineering Journal, 57 (4), 4033–4048. doi: https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.02.011.