

Є.О. Юшков

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ КОМБІНОВАНОГО ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСУ ІЗ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОННИХ РЕГУЛЯТОРІВ

У результаті аналізу режимів роботи суднової енергетичної установки комбінованого пропульсивного комплексу запропоновані схеми оптимізації математичної моделі зазначеного комплексу. Модель основана на застосуванні електронних регуляторів в системах автоматичного регулювання і управління дизелем і підрулюючим пристроєм, які дозволяють реалізувати більш складні алгоритми управління з точки зору підвищення ефективності роботи суднової енергетичної установки при нормальних і аварійних режимах. Бібл. 9, рис. 6.

Ключові слова: суднова енергетична установка, комбінований пропульсивний комплекс, математичне моделювання, електронний регулятор, підрулюючий пристрій, дизель, динамічне позиціонування.

В результате анализа режимов работы судовой энергетической установки комбинированного пропульсивного комплекса предложены схемы оптимизации математической модели указанного комплекса. Модель основана на применении электронных регуляторов в системах автоматического регулирования и управления дизелем и подруливающим устройством, которые позволяют реализовать более сложные алгоритмы управления с точки зрения повышения эффективности работы судовой энергетической установки при нормальных и аварийных режимах. Библ. 9, рис. 6.

Ключевые слова: судовая энергетическая установка, комбинированный пропульсивный комплекс, математическое моделирование, электронный регулятор, подруливающее устройство, дизель, динамическое позиционирование.

Вступ. Протягом останніх років гребні енергетичні установки (ГЕУ) стали кращим рішенням для деяких видів суден. Так звані комбіновані пропульсивні комплекси (КПК) з електричними силовими двигунами на лінії валу працюють зі змінною швидкістю у всьому діапазоні координат з безпосереднім регулюванням моменту та живляться від заснованих на багато-шинних конструкціях гнучких систем змінного струму з нерівномірним розподіленням імпедансу [1, 2], які представляють собою єдині електроенергетичні системи з декількома дизель- або турбо-генераторами, що виявили багато переваг у декількох напрямках суднобудування. Економія палива, зниження витрат на обслуговування, поліпшена маневреність, висока надійність, зниження шуму і вібрації – це те основне, що відзначає ці системи на сучасному ринку. Крім того, додаткові початкові витрати, пов'язані зі збільшенням числа компонентів, не нівелюють зазначені переваги, тому що подібні системи є дуже гнучкими в плані експлуатації, управління та розташування на борту судна. Електричне обладнання також виявляє високу ефективність у великому діапазоні експлуатаційних режимів. Але, щоб скористатися всіма перевагами таких систем, сьогодні вимагає дослідження існуючих моделей ГЕУ КПК, розробки нових моделей і стратегій управління, аналізу та оптимізації їх для морських суден, працюючих у різноманітних експлуатаційних умовах [3], зокрема у режимі утримання позиції (DP).

Постановка задачі. Детальні математичні моделі ГЕУ КПК представлені та вивчаються дуже ретельно продовж останніх років [4], де основний акцент приділяється середньо-обертним дизель-генераторам (СОДГ). Відомо, що суднові системи живлення мають жорсткі вимоги що до напруги і частоти так, що моделі СОДГ, розроблені з цього розгляду, не мають перспектив до змінення. Вони відрізняються між собою в електроенергетичній частині і у споживанні потужностей.

Перетворювачі частоти (ПЧ), підрулюючі пристрої (ПП) та інше внутрішнє навантаження включено у функціональні блоки споживання енергії, із розподілом загальних активної та реактивної потужностей. ПД-регулятори СОДГ, ПП та автоматичні регулятори напруги (АРН) перевіряються з точки зору продуктивності [5], і виявилось, що цього достатньо для імітаційних моделей, які охоплюють основні показники систем живлення суднової енергетичної установки (СЕУ) КПК, але замало для урахування деградаційних ефектів, виникаючих на лініях валів [6, 7].

На сучасному етапі технічної експлуатації подібних систем стоять наступні проблеми:

- дотримання систем вимогам менеджменту якості (*Failure modes and effects analysis – FMEA*), з якими стикаються на етапі експлуатації;
- уніфікація системи управління розподілу потужності (*Power Management System – PMS*) у комбінації функцій по відношенню до інших подібних;
- незалежність складових систем *PMS* одна від одної навіть до рівня датчиків;
- не тільки зменшення потужності в розрахунку на загальне розрахункове навантаження, але також і навантаження окремого генератора;
- відповідність системи умовам збільшення навантаження з точки зору достатності для забезпечення нормальної роботи в залежності від будь-якої ненормальної ситуації і не перевантажування суднової електроенергетичної системи (СЕЕС) взагалі.

Для вирішення зазначених вище проблем необхідно, на етапі теоретичних припущень, що стосуються електронних регуляторів і моделей теплових двигунів та підрулюючих пристроїв, розробити схеми оптимізації математичної моделі СЕУ КПК, які б дозволяли реалізувати більш складні алгоритми управління з точки зору підвищення ефективності роботи СЕУ для усього діапазону навантаження.

© Є.О. Юшков

Ціль статті. Розробка схем оптимізації математичної моделі СЕУ КПК з гвинто-кормовою установкою типу Azipod для скорочення експлуатаційних витрат і підвищення паливної ефективності з одночасним обмеженням навантаження на СОДГ за критерієм зменшення зносу та збільшення міжремонтного періоду.

СОДГ зазвичай розраховані на короткочасні перевантаження до 115 % від номінального. Генераторні агрегати розташовані по три у двох машинних відділеннях (МВ). Кожне МВ має незалежну систему допоміжних механізмів, що включає в себе паливну систему, повітря низького тиску і охолоджуючої води, які мають можливість перехресного підключення. Дві групи з трьох СОДГ підключені до двох основних секцій шин високої напруги. Секції з'єднані між собою секційним вимикачем.

Від головного розподільного щита (ГРЩ) високої напруги через знижуючі трансформатори отримує живлення розподільні щити (РЩ) власних потреб, а також трансформатори подачі живлення на технологічні електроприводи, притаманні даному типу судна. Система розподілу низької напруги складається з двох основних шин лівого та правого бортів на рівні головної палуби, які живляться від головних трансформаторів високої напруги, з'єднаних між собою вимикачами, що заблокований з трансформатором фідерних вимикачів.

Кожен СОДГ обладнаний незалежною системою контролю та регулювання потужністю (рис. 1). Комплектні розподільчі пристрої СОДГ містять: реле управління генератором, цифровий модуль синхронізації та розподілу навантаження, PLC з інтерфейсами введення/виводу, силові перетворювачі і пульти управління з панеллю сигналізації. СОДГ укомплектовані системою управління (ДАУ, *Electro-Motive Diesel Engine Control system – EMDEC*), яка забезпечує контроль швидкості із замкнутим контуром, інжекторне впорскування, старт/стоп функції і сигналізацію. ДАУ СОДГ живляться від мережі 24/48 В постійного струму виділеної батареї/зарядного пристрою.

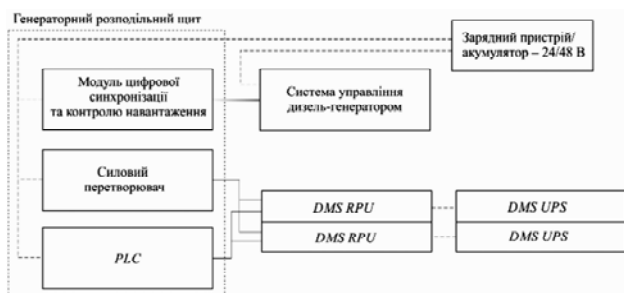


Рис. 1. Конфігурація системи управління СОДГ: PLC – програмований логічний контролер; DMS – система управління даними; RPU – пристрій управління резервним живленням; UPS – пристрій безперервного живлення

СОДГ може запускатися з передньої панелі у ручному режимі, або дистанційно у режимі «Авто» системою DMS. Розподільчий PLC керує функціями двигуна, а модуль цифрової синхронізації та контролю навантаження DSLC керує синхронізацією і розподілом потужності.

Система DP є подвійно-резервованою (рис. 2). Дві основних операторських консолі управління (ASK1, ASK2) містять керуючі процесори, клавіатури управління і дисплей. Система DP може контролювати до восьми двигунами ПП, у звичайному режимі – до чотирьох. Управляючі консолі розташовані у ходовій рубці, де також знаходяться три пристрої обробки сигналів (SPU1, SPU2, SPU3), які представляють собою пристрої вводу/виводу сигналів від блоків датчиків положення, гіроскопів, датчиків переміщення і вітру. Кожен окремий блок має незалежний канал зв'язку з основним центральним управляючим комп'ютером.

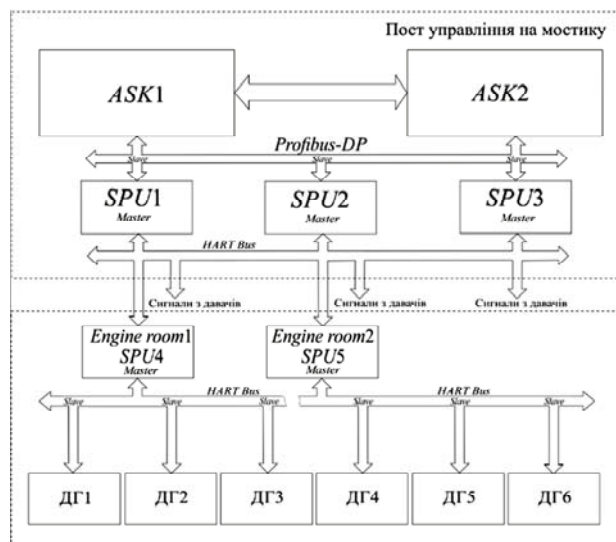


Рис. 2. Структура системи DP: ASK – Automatic Station Keeping (автоматична станція управління позиціонуванням); SPU – Signal Processing Unit (модуль обробки сигналу); HART – Highway Addressable Remote Transducer Protocol (цифровий промисловий протокол передачі даних)

Два блоків обробки сигналів (SPU4 та SPU5), розташовані на ГРЩ, виконують функцію обробки сигналів управління живленням від двох резервних інтерфейсних пристроїв вводу/виводу.

В якості джерел електричної енергії в ГЕУ КПК використовуються явнополюсні безщіткові синхронні генератори (СГ) високої напруги з дизель- або турбоприводом. Найбільш зручною формою математичних моделей таких машин є форма подання машини в ортогональній системі координат d, q , що жорстко пов'язана з ротором і обертається разом з ним з синхронною швидкістю [8]. Дана система координат має переваги перед нерухою системою координат a, b, c , у якій, при обертанні ротора, осі обмоток статора і ротора взаємно переміщуються, тому фазні змінні напруги, струму та потокозчеплення виражаються періодичними величинами. Вектори напруги, струму та потокозчеплення в перпендикулярно розташованих осях d, q є постійними і нерухомими відносно осей, що виключає взаємодію між ними і спрощує аналіз моделі. До недоліків моделювання в осях d, q можна віднести неможливість дослідження несиметричних режимів. З метою підвищення наочності моделювання та спрощення аналізу результатів зручніше користуватися рівняннями у відносних одиницях.

Для жорстких рамок фіксованої напруги і частоти для ГРЩ та РЩ для еталону використовується значення напруги та коефіцієнта потужності на збірних шинах. Суднова енергосистема є ізольованою і для моделі, що представлена в цій статті, швидкість обертання ротора одного СГ обрана в якості базової, а кути потужності інших генераторів розраховуються по відношенню до неї. Кут потужності базового генератора і напруга на шинах обчислюється модулем навантаження залежно від струмів генератора.

Для кожного з СГ використовується модель 7-го порядку, а взаємозв'язок між генераторами здійснюється через модуль навантаження, що представляє загальне навантаження в якості змінного імпедансу, що додає векторні складові навантаження до вихідних струмів генераторів і повертає вектор напруги на шинах залежно від характеристики навантаження (постійний імпеданс, постійна потужність тощо). Електричні величини моделюються у осях d, q . Наприклад, модель одного СОДГ складається з моделі дизеля та СГ, ПІД-регулятора швидкості обертання дизеля та АРН (AVR). Функція включення/виключення для кожного СОДГ входить до моделі симуляції навантаження при підключенні/відключенні даного агрегату до ГРЩ. Схема загальної структури моделі з вхідними та вихідними параметрами показана на рис. 3.

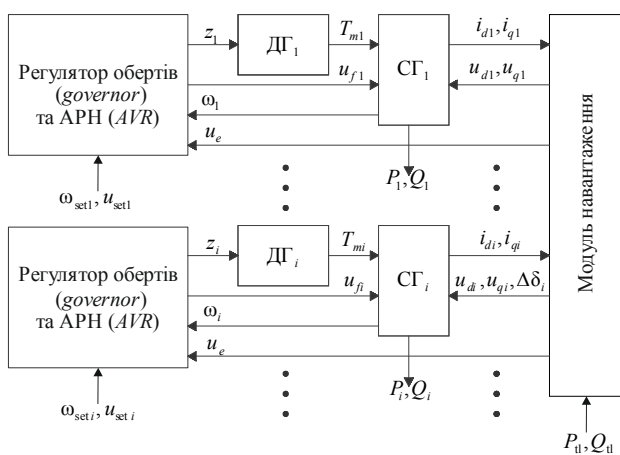


Рис. 3. Блок-схема моделі суднової електростанції: z – паливний індекс, в.о.; T_m – постійна часу дизеля, с; u_f – уставка напруги збудження, в.о.; ω – частота обертання валу СОДГ, рад⁻¹; i_d, i_q, u_d, u_q – складові струму та напруги по відповідних осях, в.о.; P, Q – значення активної та реактивної потужностей, в.о.; $\Delta\delta$ – кут навантаження, рад

Розробляючи математичну модель АРН на основі електронного ПІД-регулятора і силового напівпровідникового комутатора, необхідно врахувати їх характерні особливості [9]. Призначення пропорційно-інтегрально-диференційного (ПІД) регулятора полягає у підтримці заданого значення u_{set} деякої вхідної величини шляхом її порівняння з вихідним поточним значенням u_e , яке здійснюється за допомогою сигналу негативного зворотного зв'язку u_{fb} . Різниця цих двох величин і називається неузгодженістю або відхиленням від заданої величини.

Силовий напівпровідниковий комутатор (СПК) АРН виконує функцію ключа між джерелом постійної

напруги і обмоткою збудження безщіткового збудника. Регулювання напруги збудника здійснюється за рахунок регулювання тривалості включеного (відключеного) стану напівпровідникового ключа, тобто за рахунок ширини імпульсу, поданого в обмотку збудження збудника. Такий вид регулювання називається широтно-імпульсним (ШІМ), при цьому СПК мають частоту перемикачів до 10 кГц. У загальному випадку силовий перетворювач є нелінійною динамічною ланкою. Так як частота перемикачів значно перевищує смугу пропускання системи, то силовий перетворювач також може розглядатися і як безінерційна ланка. Як ланка системи регулювання, СПК зазвичай описується аперіодичною ланкою або ланкою з запізненням.

Для нормальної роботи АРН повинні бути вказані граничні значення вихідної напруги для попередження ситуацій перезбудження і недозбудження генератора. Блок обмеження – це стабілізуючий елемент. Також модель АРН необхідно доповнити елементом, що описує вимірювальний перетворювач змінної напруги генератора в сигнали постійного струму, адаптований для ПІД-регулятора. Перетворювач напруги перетворює сигнали з вимірювальних трансформаторів в цифрові, його передавальну функцію можна також виразити через аперіодичну ланку першого порядку.

Регульовальним параметром приводного двигуна СОДГ, як об'єкта системи автоматичного регулювання (САР), є частота обертання його валу. Момент, що розвивається двигуном, компенсується моментом втрат і моментом опору генератору, які перешкоджають обертанню валу. Обертаючий момент двигуна безпосередньо залежить від кількості палива, котре поступає в нього, отже, регулюючий вплив на частоту обертання валу двигуна створюється регулюючим органом, що змінює кількість палива. Для дизельного двигуна таким регулюючим органом є рейка паливних насосів високого тиску (ПНВТ). У суднових СОДГ, що виробляють змінний струм, до сталості частоти обертання приводного дизельного двигуна пред'являються найбільш жорсткі вимоги, що забезпечуються вимогами нормативних документів до частоти змінного струму суднової мережі, тому необхідно підтримувати швидкісний режим роботи приводного дизеля з високою точністю, незалежно від зміни електричного навантаження суднової електростанції. Для цієї мети використовуються системи автоматичного регулювання частоти обертання. В даний час на судах старої споруди знаходять застосування механічні та гідромеханічні регулятори частоти обертання дизелів, які зарекомендували себе як надійні працюючі регулюючі пристрої. Однак функціональні можливості таких регуляторів обмежені, у зв'язку з цим вдосконалення сучасних систем автоматичного регулювання (САР) та систем автоматичного управління (САУ) суднових дизелів йде по шляху використання електронних регуляторів на мікропроцесорній основі.

Із застосуванням електронних регуляторів в САР і САУ дизелем забезпечується новий, якісно вищий рівень, що дозволяє реалізувати більш складні алгоритми управління дизелем і забезпечити недосяжні

раніше показники якості процесу регулювання його частоти обертання. Необхідною умовою для такого поліпшення якості процесу регулювання є оптимізація, як структури регулятора, так і його параметрів. Вибір структури регулятора і закону регулювання визначається декількома факторами. У сучасних СЕУ КПК СОДГ оснащені цифровими ПІД-регуляторами частоти обертання. На додаток до цього необхідно також додати блок, що описує сервомеханізм рейки ПНВТ, в якості якого можуть використовуватися виконавчі електродвигуни, а також електротгідравлічні агрегати. У цьому випадку найбільш зручно описати даний елемент за допомогою аперіодичної ланки першого порядку. Сам же дизельний двигун вносить деяке запізнення з моменту зміни положення рейки ТНВД до відповідної зміни частоти обертання його валу, пов'язано це з часом на протікання хімічних процесів усередині камери згорання, а так само з інерцією механічних вузлів. Тому найбільш переважно дизельний двигун уявляється як ланка чистого запізнення.

Результати досліджень. Структурні моделі електронних АРН і регулятора частоти обертання дизеля відповідно до рис. 3, створені на основі математичних моделей його основних елементів, та згідно описаних вище умов, представлені на рис. 4.

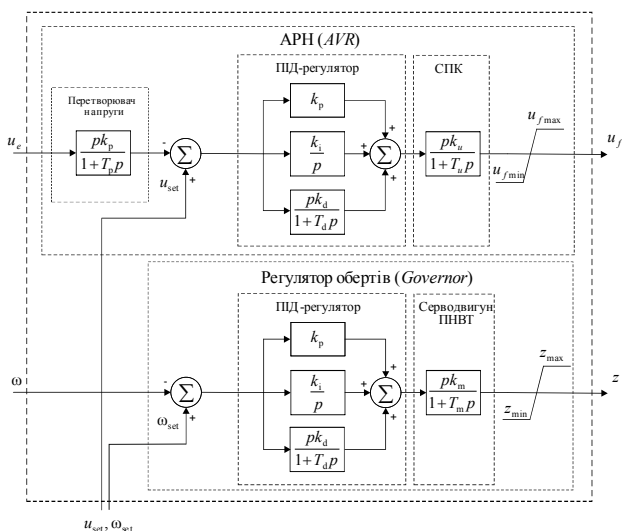


Рис. 4. Блок-схема регуляторів СОДГ: k_p, k_i, k_d, k_m, k_u – коефіцієнти передачі пропорційної, інтегруючої та диференційної ланок відповідно, перетворювача напруги, серводвигуна ПНВТ та СПК; $T_p, T_i, T_d, T_r, T_m, T_u$ – постійні часу пропорційної, інтегруючої та диференційної ланок відповідно, перетворювача напруги, серводвигуна ПНВТ та СПК

Моделювання будемо проводити у *MatLab Simulink*, причому, враховуючи результати досліджень, залежності та передавальні функції регуляторів частоти обертання ПП [5], працюючих у різноманітних режимах, що відповідають конкретному експлуатаційному режиму роботи судна в цілому, спробуємо отримати графіки частота обертання валу ПП та споживаної потужності в функції часу та підтвердити адекватність математичних моделей. Для цього застосуємо програмний комплекс *Ships_CPC*, розроблений в рамках науково-дослідної держбюджетної роботи «Концепції, технології та напрями вдосконален-

ня суднових енергетичних установок комбінованих пропульсивних комплексів» Національного університету (Одеська морська академія), який являє собою сукупність функціональних блоків компонентів СЕУ КПК, побудованих за класичним принципом «вхід-вихід». Наприклад, згідно блок-схеми на рис. 3, виходи функціональних блоків ПІД-регуляторів СОДГ залежні від заданих напруги збудження та частоти обертання, які, у свою чергу, залежать від навантаження на електростанцію, що відповідає тому рухається судно або динамічно позиціонує, та надходять на вхід (входи) моделей ПІД-регуляторів частоти обертання ПП.

СЕУ КПК складається з ГРЩ на 11 кВ, розподільних щитів, 5 генераторів, 3 азимутальних ПП малої тяги із змінною швидкістю і кілька *DOL (Direct On Line)* двигунів. Загальна встановлена потужність становить близько 40 МВт, в той час як ПП, потужністю $3 \times 2,8$ МВт, отримують живлення від перетворювачів частоти (ПЧ) з 12-імпульсною топологією. Максимальна швидкість для азимутальних ПП малої тяги 1000 об/хвил, але у схемі на лінії валів присутні понижуючі передачі між двигунами і гребними гвинтами фіксованого кроку (ГФК), але всі виміри взяті безпосередньо з ліній валів за допомогою індукційних датчиків, що надають сигнали частоти обертання до *DP*-контролера.

Моделювання із застосуванням стратегії векторного управління та безпосереднього управління моментом і потужністю, як описано у [5], та блок-схем, зображених на рис. 3 і 4, наведено на рис. 5, а відповідне споживання ПП потужності – на рис. 6.

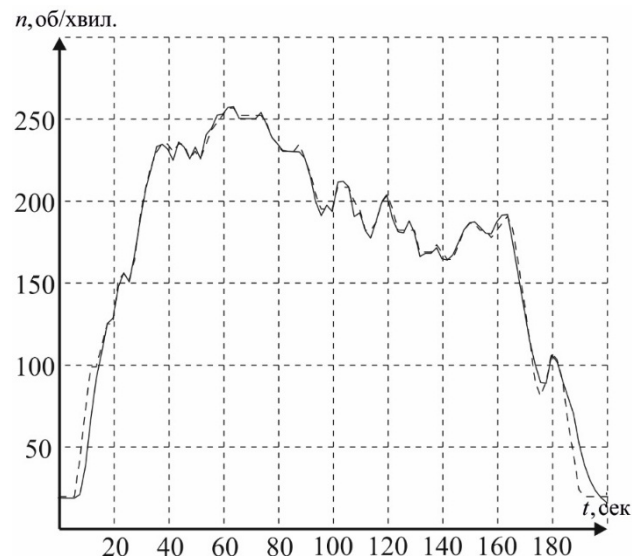


Рис. 5. Виміряні та модельовані графіки залежності частоти обертання ПП: --- модельовання, — вимірювання

Результати моделювання порівнюються з натурними вимірами для судна типу *Supply vessel*, що виконує динамічне позиціонування. Для вимірювання на судні були доступні тільки механічні потужності ПП, тож на графіках зображені модельовані залежності споживаної електроенергії і електричні втрати в асинхронних двигунах ПП. Тимчасові затримки у реєстрації даних з вимірів можуть бути пояснені тим, напри-

клад, що у тій же послідовності відбуваються деякі із горизонтальних розбіжностей між моделюванням та вимірюванням. В інших випадках, звичайно, на результати дуже впливає настройка контролерів, особливо контролерів частоти обертання СОДГ та ПП.



Рис. 6. Виміряні та модельовані графіки залежності споживаної ПП потужностей: --- моделювання, — вимірювання

Внутрішні контури управління ПП (крутним моментом, потоком і струмом) налаштовуються із як найбільшим коефіцієнтом посилення, для того, щоб дослідити процес швидкодії у регулюванні крутного моменту із збереженням величини потоку якомога ближче до номінального значення для різних умов навантаження.

Висновки.

1. Визначено доцільність порівняльного комп'ютерного моделювання у *MatLab Simulink* для побудови імітаційних моделей об'єктів на основі їх блок-схем та математичних описів.

2. У середовищі *MatLab Simulink* реалізовані схеми оптимізації математичних моделей СОДГ і ГЕУ КПК з гвинто-кормовою установкою типу *Azipod* у програмному комплексі *Ships CPS*, для скорочення експлуатаційних витрат і підвищення паливної ефективності з одночасним обмеженням навантаження на СОДГ за критерієм зменшення зносу та збільшення міжремонтного періоду.

3. Функціональні блоки запропонованого комплексу є основними структурними одиницями моделей ГЕУ КПК, що дозволяє досліджувати їх нормальні і аварійні режими роботи.

Подальші дослідження будуть проводитися з метою налагодження параметрів математичних моделей АРН і частоти СОДГ в середовищі *MatLab Simulink*. Методика може бути застосована для попереднього вибору параметрів сучасних електронних регуляторів. Також буде виконано комп'ютерне моделювання процесів в ГЕУ КПК з різними типами ПП при: зміні частоти обертання ПП; реверсі; динамічних змінах упорів гребних гвинтів; відмові одного ПП; змінах моментів опору гребних гвинтів. Отримані результати мають виявити характерні зміни основних параметрів

ГЕУ КПК у відповідних режимах роботи, що дозволить вважати досліджувані моделі адекватними реальним об'єктам.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Woud H.K., Stapersma D. *Design of propulsion and electric power generation systems*. IMarEST Publications: London, 2003. — 494 p.
2. Будашко В.В., Онищенко О.А. Удосконалення системи управління підрулюючим пристроєм комбінованого пропульсивного комплексу // Вісник НТУ «ХП». — 2014. — №38(1081). — С. 45-51.
3. Будашко В.В., Онищенко О.А. Математические основы имитационного моделирования системы управления энергетической установкой бурового судна // Вестник Камчатского государственного технического университета. — 2014. — №29. — С. 6-13.
4. Hansen J.F. *Modelling and control of marine power systems* // Doktor ingeniør thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Engineering cybernetics, Trondheim, Norway, 2000. — 119 p. Available at: http://www.itk.ntnu.no/databaser/dr_ing_avhandlinger/vedlegg/110_pdf.pdf (accessed 21 September 2015).
5. Будашко В.В., Юшков Е.А. Математическое моделирование всережимных регуляторов оборотов подруливающих устройств судовых энергетических установок комбинированных пропульсивных комплексов // Электронное моделирование. — 2015. — Т.37. — №2. — С. 101-114.
6. Глазева О.В., Будашко В.В. Аспекти математичного моделювання елементів єдиних електроенергетичних установок комбінованих пропульсивних комплексів // Вісник НТУ «ХП». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. — 2015. — №42(1151). — С. 71-75.
7. Бойко А.А., Будашко В.В., Юшков Е.А., Бойко Н.А. Синтез и исследование системы автоматического симметрирования токов асинхронного двигателя с преобразователем напряжения // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2016. — Т.1. — №2(79). — С. 22-34. doi: 10.15587/1729-4061.2016.60544.
8. Черных И.В. *SimPowerSystems: Моделирование электротехнических устройств и систем в Simulink* / [Электронный ресурс]. URL: <http://matlab.exponenta.ru/simpower/book1/2.php>.
9. Токарев Л.Н. *Системы автоматического регулирования*. Учебное пособие. — СПб.: НОТАБЕНЕ, 2001. — 191 с.

REFERENCES

1. Woud H.K., Stapersma D. *Design of propulsion and electric power generation systems*. IMarEST Publications, London, 2003. 494 p.
2. Budashko V.V., Onishchenko O.A. Improving management system combined thruster propulsion systems. *Bulletin of NTU «KhPI»*, 2014, no.38(1081), pp. 45-51. (Ukr).
3. Budashko V.V., Onishchenko O.A. Mathematical principles of simulation of power plant's control system at drillship. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 2014, no.29, pp. 6-13. (Rus).
4. Hansen J.F. *Modelling and control of marine power systems*. Doktor ingeniør thesis, Trondheim, Norway, 2000. 119 p. Available at: http://www.itk.ntnu.no/databaser/dr_ing_avhandlinger/vedlegg/110_pdf.pdf (accessed 21 September 2015).
5. Budashko V.V., Yushkov Y.A. Mathematic modeling of all-range controllers speed of thrusters for ship power plants in combined propulsion complexes. *Electronic Modeling*, 2015, vol.37, no.2, pp. 101-114. (Rus).
6. Glazeva O.V., Budashko V.V. Aspects of the mathematical modelling of the elements for Western Systems Coordinating

Council of combined propulsion complexes. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice*, 2015, no.42(1151), pp. 71-75. (Ukr).

7. Bojko A.A., Budashko V.V., Yushkov E.A., Bojko N.A. Synthesis and research of automatic balancing system of voltage converter fed induction motor currents. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, vol.1, no.2(79), pp. 22-34. doi: 10.15587/1729-4061.2016.60544.

8. Chernikh I.V. *SimPowerSystems: Modelirovanie elektrotekhnicheskikh ustroystv i sistem v Simulink* (SimPowerSystems: Modeling of electrotechnical devices and systems in Simulink). Available at: <http://matlab.exponenta.ru/simpower/book1/2.php> (accessed 01 October 2015). (Rus).

9. Tokarev L.N. [Automated regulation systems. Tutorial]. Saint Petersburg, Notabene Publ., 2001. 191 p. (Rus).

Надійшла (received) 09.05.2016

Юшков Євген Олександрович, аспірант,
Національний університет «Одеська морська академія»,
65029, Одеса, ул. Дидрихсона, 8,
тел/phone +38 048 7332367, e-mail: ushkov@te.net.ua

E.A. Yushkov
Odessa National Maritime Academy,
8, Didrikhson Str., Odessa, 65029.

Modeling of operation modes of ship power plant of combined propulsion complex with control system based on electronic controllers.

Purpose. Designing of diagrams to optimize mathematic model of the ship power plant (SPP) combined propulsion complexes (CPC) for decreasing operational loss and increasing fuel efficiency with simultaneous load limiting on medium revolutions diesel generator (MRDG) by criterion reducing of wear and increasing operation time between repairs. **Methodology.** After

analyzing of ship power plant modes of CPC proposed diagrams to optimize mathematic model of the above mentioned complex. The model based on using of electronic controllers in automatic regulation and control systems for diesel and thruster which allow to actualize more complicated control algorithm with viewpoint of increasing working efficiency of ship power plant at normal and emergency modes. **Results.** Determined suitability of comparative computer modeling in MatLab Simulink for building of imitation model objects based on it block diagrams and mathematic descriptions. Actualized diagrams to optimize mathematic model of the ship's power plant (SPP) combined propulsion complexes (CPC) with Azipod system in MatLab Simulink software package Ships_CPC for decreasing operational loss and increasing fuel efficiency with simultaneous load limiting on medium revolutions diesel generator (MRDG) by criterion reducing of wear and increasing operation time between repairs. The function blocks of proposed complex are the main structural units which allow to investigate it normal and emergency modes. **Originality.** This model represents a set of functional blocks of the components SPP CPC, built on the principle of «input-output». For example, the function boxes outputs of PID-regulators of MRDG depends from set excitation voltage and rotating frequency that in turn depends from power-station load and respond that is a ship moving or dynamically positioning, and come on input (inputs) of thruster rotating frequency PID-regulator models. **Practical value.** The results of researches planned to use in creation of software package Ships_CPC, in Mat Lab/Simulink was developed under the state budget project «Concepts, technologies and ways of improving ship plants combined propulsion complexes» at the Department of Electromechanics and Electrical Engineering of National University «Odessa Maritime Academy» (State registration number 0114u000340). References 9, figures 6.

Key words: ship power plants, combined propulsion complex, mathematical modeling, electronic controller, thruster, diesel, dynamic positioning.