

УДК 629.56: 629.5.064

О. В. ГЛАЗЕВА, В. В. БУДАШКО

АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЄДИНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК КОМБІНОВАНИХ ПРОПУЛЬСИВНИХ КОМПЛЕКСІВ

На основі аналізу відомих математичних моделей елементів електроенергетичних систем було запропоновано метод удосконалення системи управління перетворювачем частоти для живлення асинхронного двигуна підрулюючого пристрою судна спеціального призначення, працюючого у режимі динамічного позиціонування. Було зроблено спектральний аналіз високої напруги за допомогою додатка SP Tools середовища MatLab/Simulink.

Ключові слова: перетворювач частоти, підрулюючий пристрій, енергетична установка, динамічне позиціонування, комбінований пропульсивний комплекс, гармоніки.

Вступ. В останній час широкий розвиток отримали судна спеціального призначення, відмінною рисою яких є широкий діапазон зміни швидкості ходу, тривала робота в режимах маневрування і динамічного позиціонування. Особливістю експлуатації енергетичних установок (СЕУ) комбінованих пропульсивних комплексів (КПК) суден такого типу є зміна частоти обертання і навантаження в широких діапазонах. Накопичений досвід проектування та експлуатації таких суден дозволив перейти до нового класу суднової енергетики, заснованої на системах з багато-шинними конструкціями, які будуються за технологією гнучких (керованих) систем змінного струму (FACTS – Flexible Alternative Current Transmission Systems) і являють собою єдині електроенергетичні системи (WSSC – Western System Coordinating Council) з нерівномірним розподіленням імпедансу [1, 2].

СЕУ КПК, при впливі на судно зовнішніх факторів і зміни у зв'язку з цим експлуатаційних умов, можуть демонструвати різноманітну нелінійну поведінку. У свою чергу, при експлуатації подібних КПК, реакції на збурення можуть відповідати, як нормальному, так і аномальному або аварійному (перед аварійному) режимам, що змушує розробників шукати шляхи по зниженню негативних наслідків, а в ідеалі – по їх запобіганню [3]. Оцінюючи ризики виходу КПК із стабільного стану при зовнішніх збуреннях виникає необхідність прогнозу його поведінки в звичайних і нормальних умовах за допомогою засобів моделювання.

У якості більш раціонального варіанту забезпечення роботи КПК є використання гребних гвинтів регульованого кроку (ГРК). Їх безперечна перевага в тому, що вони дозволяють забезпечити роботу приводного двигуна в номінальному режимі при практично будь-яких умовах плавання за рахунок зміни кута розвороту лопатей. Однак ККД ГРК в номінальному режимі завжди менше, ніж у гвинтів фіксованого кроку (ГФК).

Основні варіанти застосовуваних схем СЕУ КПК включають в себе синхронні (СД) або асинхронні (АД) електродвигуни, що працюють на ГФК з регулюванням швидкості обертання засобом перетворювачів частоти (ПЧ), тиристорні

перетворювачі напруги (ТПН) і двигуни постійного струму (ДПС), АД з ТПН для плавного пуску або АД з ПЧ, комбінації ГРК з частотно-керованим електродвигуном. У КПК невеликої та середньої потужності (1...5 МВт) в якості гребних електродвигунів (ГЕД) можуть застосовуватися АД з короткозамкненим ротором в комбінації з ПЧ або ДПС з некерованими випрямлячами або з керованими ТПН (рис. 1).

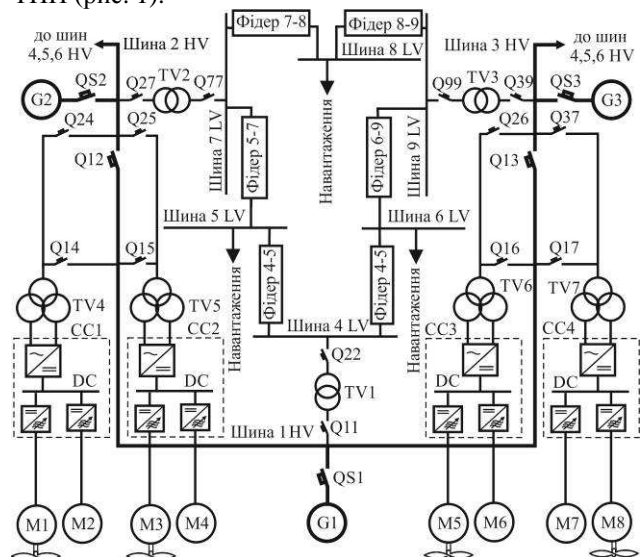


Рис. 1 – Фрагмент однолінійної схеми єдиної багато-шинної електроенергетичної системи офшорного (supply vessel) судна: G1-G3 – високовольтні СОДГ; QS1-QS3 – генераторні автомати; Q12-Q99 – автоматичні шинні вимикачі; TV1-TV3 – понижуючі трансформатори; TV4-TV7 – понижуючі трьох-обмоткові трансформатори (Y/Δ/Y); M1-M8 – АД підрулюючих пристроїв (ПП) і вантажних насосів; CC1-CC4 – перетворювачі частоти (ПЧ) з ланкою постійного струму (DC); HV – висока напруга, high voltage, $3300 \leq HV \leq 11000$ V; LV – низька напруга, low voltage, $220 \leq LV \leq 690$ V.

В якості приводних двигунів генераторів найчастіше використовуються дизелі з фіксованою частотою обертання.

У результаті аналізу схеми, наведеної на рис. 1, можна показати, що в сталому режимі роботи судна, коли зміна напрямку вектору руху визначається зовнішніми збуреннями, застосування частково

інваріантних до основних збурень регуляторів частоти і напруги на шинах середньо-оберткових дизель-генераторів (СОДГ) дозволить включити «інтегральну складову управління» на усіх ділянках розподільних щитів, що гарантує рівномірне завантаження (астатизм) усіх паралельно-підключених СОДГ.

Аналіз основних досягнень. Функціональні зв'язки, що існують між елементами СЕУ КПК, описуються системами нелінійних алгебраїчних і диференціальних рівнянь високого порядку, що характеризує СЕУ КПК як складну динамічну систему, тому при їх проектуванні необхідно однаково ретельно розглядати процеси як в електричних машинах, так і в ПЧ.

Теорія електричних кіл та електричних машин змінного струму дозволяє записати рівняння основних функціональних елементів СЕУ безвідносно до вибраних координатних осей і системам координат. Ці рівняння враховують баланс напруги статорних і роторних контурів, вирази статорних і роторних поточкозчеплень, баланс моментів електричних машин і баланс струмів у вузлах ланцюгів [4].

Для високоякісного керування ГЕД в широкому діапазоні регулювання швидкості, в тому числі в зоні нульових швидкостей, необхідно мати можливість швидкого, безпосереднього управління моментом ГЕД. Для отримання необхідного моменту необхідно обчислювати координати ГЕД, які недоступні прямому вимірюванню, і управляти амплітудою і фазою вектору напруги так, щоб підтримувати на заданому рівні поточкозчеплення і момент.

Реалізація алгоритмів векторного керування з використанням математичних моделей асинхронного ГЕД базується на інформації про фазні струми, що протікають в обмотках статора електродвигуна і швидкості обертання ротора. Ця ж інформація використовується в якості сигналів зворотного зв'язку. Математична модель в алгоритмах векторного управління використовується для обчислення деяких неспостережуваних параметрів ГЕД, які потім – в процесі управління [5].

В якості джерел електричної енергії в СЕУ КПК використовуються явнополюсні безщіткові синхронні генератори високої напруги з дизельним приводом. Найбільш зручною формою математичних моделей таких машин є форма подання машини в ортогональній системі координат d, q , яка жорстко пов'язана з ротором і обертається разом з ним з синхронною швидкістю [5]. Дана система координат має переваги перед нерухомою системою координат a, b, c . У нерухомій системі координат при обертанні ротора осі обмоток статора і ротора взаємно переміщуються, тому фазні змінні напруги, струму та поточкозчеплення виражаються періодичними величинами. Зображені вектори напруги, струму та поточкозчеплення в перпендикулярно розташованих осях d, q є постійними і нерухомими відносно осей, що виключає взаємоіндукцію 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 зручно користуватися рівняннями у відносних одиницях [7].

Математичне моделювання регуляторів обертів ПУ СЕУ КПК, працюючих у режимі динамічного позиціонування (DP), що забезпечують стабільність тяги, обертального моменту на валу у всьому діапазоні регулювання і, власне, підвищення ефективності передачі потужності до гребного гвинта з одночасним утриманням судном позиції проводиться виходячи з нижченаведених припущень.

Кожен тип ПУ має свої конструктивні особливості і деякі важливі параметри можуть мати дещо інші значення для різних видів ПУ, але, об'єднуючим фактором для них є – навколишнє середовище. Згідно плану зони упорів і сил, що діють на судно з ПУ азимутального типу, стан кожного двигуна задається вектором тяги $u=(u_x, u_y)$. Всі двигуни моделюються в прямокутній системі координат, хоча можна використовувати і полярні координати для зафіксованих двигунів ПУ, що не обертаються азимутально, шляхом включення постійного кута в матриці конфігурації. Використання однакової системи координат для всіх типів двигунів здається менш заплутаним і матиме одне-два додаткових обмеження для кожного зафіксованого двигуна [8].

На сьогоднішній день одним з головних питань залишається усунення нижчих гармонік вихідної напруги після ПЧ на обмотках ГЕД з урахуванням 10% зниження, або підвищення напруги [9].

Мета досліджень. Удосконалення математичного апарату при моделюванні енергетичних процесів в СЕУ КПК суден спеціального призначення в різних експлуатаційних режимах під впливом збурюючих сил та моментів, що виникають в зоні DP .

Матеріал досліджень. Форма вихідної напруги на обмотках ГЕД формується за допомогою імпульсів управління, розрахунок оптимізованої моделі яких почнемо із основної форми хвилі вихідної напруги ПЧ, яка може бути подана за допомогою змісту в ній гармонік у такий спосіб:

$$U(\varphi, t) = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{U_d}{2} \cdot \sum_{n=1,3,5,\dots} \frac{1}{n} \cdot \sin\left(n \cdot \frac{\pi}{2}\right) \times \\ \times [\cos(n \cdot (\omega t + \varphi)) + \cos(n \cdot (\omega t - \varphi))], \quad (1)$$

де U – напруга на виході ПЧ, В;

U_d – напруга на ланці постійного струму ПЧ (DC link), В;

n – номер гармоніки;

ω – циклічна частота даної гармоніки, рад/с;

φ – початкова фаза максимального значення даної гармоніки відносно основної, рад.

Основне рівняння, що базується на (1), може бути визначено для форми хвилі напруги з багатократними рівнями. Кути управління для моделі з вісьма рівнями за напівперіод, обумовлені довільно обраними дев'ятьма гармонійними складовими, визначені в такий спосіб:

$$\begin{aligned}
 U(\varphi_{11}, \varphi_{12}, \varphi_{21}, \varphi_{22}, \varphi_{31}, \varphi_{32}, \varphi_{41}, \varphi_{42}, \varphi_{51}, t) = \\
 = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{U_d}{2} \sum_{n=1,3,5,\dots} \frac{1}{n} \cdot \sin\left(n \cdot \frac{\pi}{2}\right) \times \\
 \left\{ \begin{aligned}
 & [\cos(n \cdot (\omega t + \varphi_{11})) + \cos(n \cdot (\omega t - \varphi_{11}))] - \\
 & - [\cos(n \cdot (\omega t + \varphi_{12})) + \cos(n \cdot (\omega t - \varphi_{12}))] + \\
 & + [\cos(n \cdot (\omega t + \varphi_{21})) + \cos(n \cdot (\omega t - \varphi_{21}))] - \\
 & - [\cos(n \cdot (\omega t + \varphi_{22})) + \cos(n \cdot (\omega t - \varphi_{22}))] + \\
 & + [\cos(n \cdot (\omega t + \varphi_{31})) + \cos(n \cdot (\omega t - \varphi_{31}))] - \\
 & - [\cos(n \cdot (\omega t + \varphi_{32})) + \cos(n \cdot (\omega t - \varphi_{32}))] + \\
 & + [\cos(n \cdot (\omega t + \varphi_{41})) + \cos(n \cdot (\omega t - \varphi_{41}))] - \\
 & - [\cos(n \cdot (\omega t + \varphi_{42})) + \cos(n \cdot (\omega t - \varphi_{42}))] + \\
 & + [\cos(n \cdot (\omega t + \varphi_{51})) + \cos(n \cdot (\omega t - \varphi_{51}))]
 \end{aligned} \right\} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Отримані рівняння можуть бути перетворені у вид, де кожна гармоніка подається окремо. Рівняння кожної гармоніки, які базуються на (2), включаючи основну можуть бути описані одним. Амплітуда n -ої гармоніки може бути подана в загальній формі (після тригонометричних перетворень):

$$\begin{aligned}
 U(\varphi_{11}, \varphi_{12}, \varphi_{21}, \varphi_{22}, \varphi_{31}, \varphi_{32}, \varphi_{41}, \varphi_{42}, \varphi_{51}, t) = \\
 = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{U_d}{2} \sum_{n=1,3,5,\dots} \frac{1}{n} \cdot \sin\left(n \cdot \frac{\pi}{2}\right) \times \\
 \left\{ \begin{aligned}
 & [2\cos(n \cdot \varphi_{11}) \cdot \cos(n \cdot \omega t)] - \\
 & - [2\cos(n \cdot \varphi_{12}) \cdot \cos(n \cdot \omega t)] + \\
 & + [2\cos(n \cdot \varphi_{21}) \cdot \cos(n \cdot \omega t)] - \\
 & - [2\cos(n \cdot \varphi_{22}) \cdot \cos(n \cdot \omega t)] + \\
 & + [2\cos(n \cdot \varphi_{31}) \cdot \cos(n \cdot \omega t)] - \\
 & - [2\cos(n \cdot \varphi_{32}) \cdot \cos(n \cdot \omega t)] + \\
 & + [2\cos(n \cdot \varphi_{41}) \cdot \cos(n \cdot \omega t)] - \\
 & - [2\cos(n \cdot \varphi_{42}) \cdot \cos(n \cdot \omega t)] + \\
 & + [2\cos(n \cdot \varphi_{51}) \cdot \cos(n \cdot \omega t)]
 \end{aligned} \right\} \quad (3)
 \end{aligned}$$

Похідна амплітуди n -ої гармоніки:

$$\hat{U}_n = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{U_d}{2} \cdot \frac{1}{n} \cdot \sin\left(n \cdot \frac{\pi}{2}\right) \cdot \left\{ \begin{aligned}
 & 2\cos(n \cdot \varphi_{11}) - \\
 & - 2\cos(n \cdot \varphi_{12}) + \\
 & + 2\cos(n \cdot \varphi_{21}) - \\
 & - 2\cos(n \cdot \varphi_{22}) + \\
 & + 2\cos(n \cdot \varphi_{31}) - \\
 & - 2\cos(n \cdot \varphi_{32}) + \\
 & + 2\cos(n \cdot \varphi_{41}) - \\
 & - 2\cos(n \cdot \varphi_{42}) + \\
 & + 2\cos(n \cdot \varphi_{51})
 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Ці основні рівняння, що описують гармоніки напруги, використовуємо для обчислення оптимізованої моделі імпульсів управління, із метою стабілізації основної гармоніки напруги й усунення 5-ої, 7-ої, 11-ої, 13-ої, 17-ої, 19-ої, 23-ї і 25-ої.

У результаті половина рівня напруги постійного струму DC link для, наприклад, 6600 В вихідної напруги дорівнює:

$$U_{dc_igct_N} = \frac{1}{\text{modind_N}} \cdot \frac{6600B \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 5389Bdc,$$

що є базовою для всіх розрахунків.

Для визначення розмірів фільтра повинно враховуватися таке:

- реактор на стороні інвертора визначений таким чином, щоб згладжувати пульсації струму інвертора;
- сервісний вторинний реактор на стороні ГЕД повинний бути обраний так, щоб обмежити будь-які струми короткого замикання;
- конденсатор фільтра обраний таким чином, що резонансна частота була близька до дев'ятикратного значення основної гармоніки напруги в кожній робочій точці.

Моделювання виконувалося в MatLab/Simulink. Генератори G1-G3, АД ПП M2, M7 і потужних вантажних насосів M4, M6 (рис.1) – стандартні блоки з бібліотеки Simulink, ініціалізовані за методикою [10, 11].

Для утворення моменту опору T_m на валу АД пропрційного швидкості обертання ротору (наприклад: пуск відцентрового насоса, або ПП на «вільній» воді), у моделі між виходом виміру оборотів АД ω_m і входом T_m необхідно включити блок *Gain*, коефіцієнт передачі якого розраховується по формулі

$$K^* = \frac{9,55 \times P_n \times 60}{2\pi n_n^3} \quad (5)$$

АД ГЕД, які отримують живлення від ПЧ з ланкою постійного струму, теж є стандартними блоками Simulink, такими як, наприклад, «Field-oriented control induction motor drive», в залежності від типу АД ГЕУ КПК та технологічного процесу. Винятком є настроювання параметрів вкладки Controller, таких як «Lowpass filter cutoff frequency» – коефіцієнт обмеження резонансної частоти фільтра гармонік, який враховує вплив основної на магнітний потік АД, «Current controller hysteresis band» – пропускна спроможність контролеру відносно уставки споживаного АД струму та «Maximum Switching Frequency» – максимальна частота перемикання інвертора. Ці параметри розраховуються згідно співвідношень (1)–(4) з урахуванням граничної частоти живлення окремого АД ПП, працюючого в зоні сталих координат.

Побудова кривої моменту опору ГЕД здійснюється апроксимацією даних навантаженого АД ПП у розрахунковому полі за допомогою методу найменших квадратів, для чого формуються таблиці початкових даних у вигляді table_1, table_2, ... table_m = [u, R, w, t, n] для різних значень водомісткості, які задаються командою $disp_mat = [\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_m]$. Тоді командою $disp = disp_mat(loadcond)$ здійснюється виведення значень змінних в командне поле, де $loadcond$ (*Load condition*) може приймати значення від 1 до m . Далі задаються вектори розрахункових функцій с одночасним переходом до необхідних одиниць виміру, якщо це потрібно:

$$\begin{aligned}
 u_dat &= [table_1(:,1), table_2(:,1), \dots, table_m(:,1)].* \\
 & 0.5144; \text{ – переводимо вузли у м/с;} \\
 Ru_dat &= [table_1(:,2), table_2(:,2), \dots, table_m(:,2)].* \\
 & 9.82/1000; \text{ – переводимо кПА у кН;} \\
 w_dat &= [table_1(:,3), table_2(:,3), \dots, table_m(:,3)]; \\
 t_dat &= [table_1(:,4), table_2(:,4), \dots, table_m(:,4)];
 \end{aligned}$$

$n_dat = [table_1(:,5), table_2(:,5), \dots, table_m(:,5)] * 2 * \pi / 360$; – переводимо об/хвил. у рад/с.

З початку циклу апроксимації задаються його межі, визначивши $k1 = length(u_dat)$; що повертає найбільше значення u_dat і початкову точку командою $up_start = u_dat(1, loadcond)$;

Потім визначається початковий коефіцієнт пропорційності між швидкістю судна і опором руху: $X_uu = 1000 * Ru_dat(1, loadcond) / (up_start^2)$;

Тоді поточні значення швидкості руху і опору визначаються наступним чином:

$u_shift(:, loadcond) = U_dat(:, loadcond) - up_start$;
 $R_vec(:, loadcond) = 1000 * Ru_dat(:, loadcond)$;

Зациклюючи розрахунки: $for\ kk = 1:k1\ uml = U_dat(kk, loadcond)$; $res_vec(kk, loadcond) = (R_vec(kk, loadcond) - X_uu * uml^2)$; end ; за допомогою команди $polyfit$ формуються коефіцієнти поліномів (pRu) та (Ptd) відповідної степені, які з найменшою середньоквадратичною похибкою апроксимують вихідні функції:

$pRu = polyfit(u_shift(:, loadcond), res_vec(:, loadcond), 5)$; – розрахунок багаточленної відповідності кривої;
 $pw0 = polyfit(U_dat(:, loadcond), w_dat(:, loadcond), 0)$; – u і w для розрахунку коефіцієнту попутного потоку;
 $Ptd = polyfit(U_dat(:, loadcond), t_dat(:, loadcond), 0)$; – t вектор для розрахунку зусилля утримання.

Розрахунок значень полінома Ru у точках u застосовується командою $polyval$:

$Ru = polyval(pRu, max(u - up_start, 0)) + X_uu * u^2$;

Відповідну модель динаміки судна, вхідні параметри якої є визначальними для моделі ПП з АД як приводним, приведено на рис. 2.

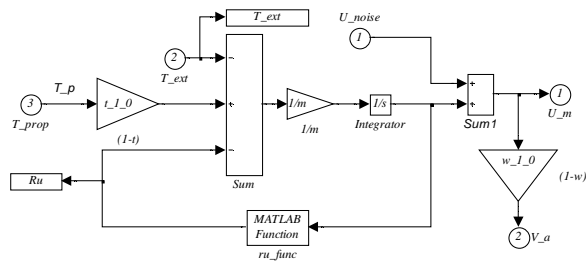


Рис. 2 – Модель динаміки судна: T_prop – упор (thrust) гребного гвинта; $t_1_0 = 1 - t$ – середнє значення коефіцієнту горизонтального утримання (thrust deduction) у відносних одиницях (в.о.) вимірних даних для відповідної моделі судна; T_ext – упор зовнішньої сили (External Force); $m = 10009 * 1025$ (водотонажність * маса одиниці об'єму морської води) + 105 (вантаж судна); U_noise – відхилення (“шум”) швидкості судна; Ru_func – функція розрахунку опору судна (Ru); $w_1_0 = 1 - w$ – середнє значення коефіцієнту попутного потоку (wakefraction) у в.о. для відповідної моделі судна; U_m – швидкість судна.

На рис. 3 представлені графіки перехідних процесів під час пуску та накидання моменту спротиву АД одного з ПП, а на рис. 4 спектральна характеристика напруги. Аналіз ефективності застосування обчислення оптимізованої моделі імпульсів управління виконувалось за допомогою аналізатора спектра SP Tools в середовищі MatLab при паралельній роботі всіх синхронних генераторів на

чотири ГЕД. При цьому, робили спектральний аналіз напруги на навантаженні з настроюванням параметрів ПЧ АД за замовчуванням (верхній графік на рис.4) та із застосування вище наведеної методики обчислення імпульсів управління відповідно.

З аналізу спектральних характеристик напруги на навантаженні випливає, що застосування даного методу є досить ефективним засобом зниження перешкод в досліджуваній мережі, оскільки призводить до зниження коефіцієнта гармонік (THD) у розглянутій області частот в 6 разів (з THD = 6,18% до THD = 1,08%), при цьому, амплітуда 5-ої гармоніки основної частоти, на яку налаштована система управління, зменшується в 17 разів.

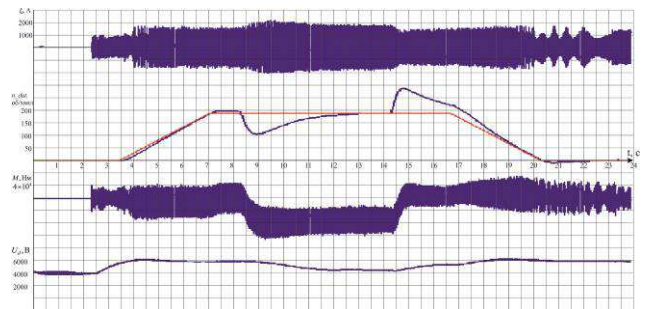


Рис. 3 – Графіки перехідних процесів пуску та навантаження АД ПП: U_d – напруга на ланці постійного струму ПЧ (DC link), В; M – обертаючий момент АД, Нм; n_dat – задані та дійсні частоти обертання АД, об/хвил.; I_a – споживаний струм статору АД, А.

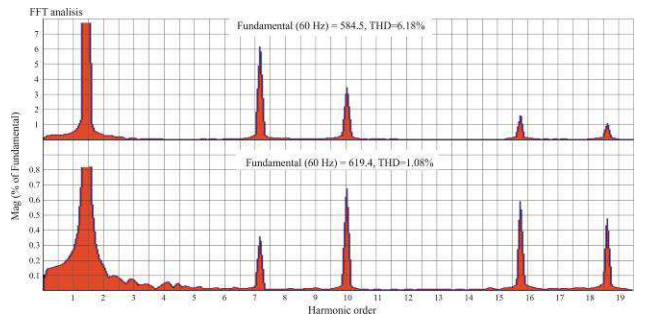


Рис. 4 – Спектральна характеристика на шинях високої напруги: THD – коефіцієнт гармонік.

Висновки. Запропонований авторами метод удосконалення математичної моделі формування імпульсів управління ПЧ для живлення АД ПП є наступним кроком подальшого розвитку сучасних систем управління ПП після новітніх технічних доробок їх механічної частини, які не дозволяють повністю усунути такі явища на лініях валів, як поперечне поєднання потоків та послаблення останніх у наслідок, наприклад, ефекту Коанда. Отримані результати можуть бути продовженням розробок у галузі створення інтелектуальних систем управління електроприводами ПП СЕУ КПК, які забезпечують стабілізацію їх параметрів у різних експлуатаційних умовах, зокрема у режимі DP, для досягнення мінімізації втрат енергії з одночасним поліпшенням гармонійного складу напруги.

Список літератури: 1. Woud H. K. Design of propulsion and electric power generation systems / H. K. Woud, D. Stapersma // IMarEST

publications: London. – 2003. – 494 p. **2.** Glazeva O. Modern lines of development of ship electromotive systems [Text] / O. Glazeva, V. Busher, V. Vlasov // *Electrotechnic and Computer Systems*. – Odessa : Nauka i Technika, 2015. – №19(95). – P.46–49. **3.** Будашко В.В. Удосконалення системи управління підрулюючим пристроєм комбінованого пропульсивного комплексу [Текст] / В.В. Будашко, О.А. Онищенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2014. – № 38 (1081). – С. 45-51 [Електронний ресурс]. URL: http://library.kpi.kharkov.ua/Vestnik/2014_38.pdf (дата звернення: 30.09.2015). **4.** Будашко В.В. Математические основы имитационного моделирования системы управления энергетической установкой бурового судна [Текст] / В.В. Будашко, О.А. Онищенко // Вестник Камчатского государственного технического университета. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. – 2014. – Вып. 29. – С. 6-13. Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22822710> (дата обращения: 30.09.2015). **5.** French C. Direct torque control of permanent magnet drive / C. French, P. Acarnley // In IEEE Ind. Applicat. Society Annu. Meet., 1995. P. 199-206. **6.** Hansen J. F. Modeling and control of marine power systems / J. F. Hansen // Doctor thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Engineering cybernetics, Trondheim, Norway. – 2000. – 119 p [Електронний ресурс]. URL: http://www.itk.ntnu.no/databaser/dr_ing_avhandlinger/vedlegg/110_pdf.pdf (дата звернення: 30.09.2015). **7.** Budashko V.V. Mathematic modeling of all-range controllers speed of thrusters for ship power plants in combined propulsion complexes / V.V. Budashko, Y.A. Yushkov // ELECTRONNOE MODELIROVANIE (Electronic Modeling). – 2015. – V. 37. – №2 (2015). P. 101–114 [Електронний ресурс]. URL: <http://www.emodel.org.ua/index.php/en/44-archive/2015-rod/37-2/612-37-2-8-e.html> (дата звернення: 30.09.2015). **8.** Гончаренко Д. А. Моделирование систем управления мощностью и крутящим моментом подруливающих устройств при позиционировании судов [Текст] / Д. А. Гончаренко, В. В. Будашко // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI'2014): Материалы междунауч. конф. – Херсон: ХНТУ, 2014. – С. 59-61. **9.** Одесский крьюинг – форум вне политики: Форум [Електронний ресурс]. URL: <http://wap.odessa.crewing.borda.ru/?1-16-0-0000422-000-80-0> (дата обращения: 01.10.2015). **10.** Черных И.В. SimPowerSystems: Моделирование электротехнических устройств и систем в Simulink / И.В. Черных [Електронний ресурс]. URL: <http://matlab.exponenta.ru/simpower/book1/2.php> (дата обращения: 01.10.2015). **11.** В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова MatLab. Обработка сигналов и изображений [Текст] / Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. // Специальный справочник. СПб.: Питер, 2002. 602 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Woud H. K., Design of propulsion and electric power generation systems. H. K. Woud, D. Stapersma. IMarEST publications: London. – 2003. – 494 p. Print. **2.** Glazeva O. Modern lines of development of ship electromotive systems. O.

Glazeva, V. Busher, V. Vlasov. *Electrotechnic and Computer Systems*. – Odessa: Nauka i Technika, 2015. No 19 (95). 46–49. Print. **3.** Budashko V.V. Udoskonalennja systemy upravlinnja pidruľujuchym prystrojem kombinovanogo propul'syvnoho kompleksu [Improving management system combined thruster propulsion systems]. V.V. Budashko, O.A. Onishchenko. *Bulletin of NTU "KhPI". Thematic edition "Electric machines and Electromechanical energy conversion"*. Kharkiv: NTU "KhPI". 2014. No 38 (1081). 45-51 (In Ukraine). Print. Available at: library.kpi.kharkov.ua/Vestnik/2014_38.pdf (accessed 30 September 2015). **4.** Budashko V.V. Matematicheskie osnovy imitatsionnogo modelirovaniia systemy upravleniia energeticheskoj ustanovkoj burovogo sudna [Mathematical principles of simulation of power plant's control system at drillship] V.V. Budashko, O.A. Onishchenko. *Bulletin of Kamchatka State Technical University. Petropavlovsk-Kamchatskii: Kamchat STU*. 2014. Vol. 29. 6-13 Print. Available at: elibrary.ru/item.asp?id=22822710 (accessed 30 September 2015). **5.** C. French and P. Acarnley Direct torque control of permanent magnet drive. In IEEE Ind. Applicat. Society Annu. Meet., 1995. P. 199-206. Print. **6.** Hansen J. F. Modeling and control of marine power systems. J.F. Hansen. Doctor thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Engineering cybernetics, Trondheim, Norway. 2000. 119 p. Available at: www.itk.ntnu.no/databaser/dr_ing_avhandlinger/vedlegg/110_pdf.pdf (accessed 30 September 2015). **7.** Budashko V.V. Mathematic modeling of all-range controllers speed of thrusters for ship power plants in combined propulsion complexes. V.V. Budashko, Y.A. Yushkov. *ELECTRONNOE MODELIROVANIE (Electronic Modeling)*. 2015. Vol. 37. No 2 (2015). 101–114. Print. Available at: www.emodel.org.ua/index.php/en/44-archive/2015-rod/37-2/612-37-2-8-e.html (accessed 30 September 2015). **8.** Goncharenko D. A. Modelirovanie system upravlenija moschnost'u i krutjaschim momentom podruľivajuschikh ustroistv pri pozitcionirovanii sudov [Simulation of power management systems and torque thrusters for positioning vessels]. D.A. Goncharenko, V.V. Budashko. *Intellectual systems for decision making and problems of computational intelligence (ISDMCI'2014) (2014): International Conference, HNTU Publ., Kherson, Ukraine, pp. 59-61. Print. 9.* Odesskii krjuing – forum вне политики: Forum [Odessa Crewing - apolitical forum: Forum]. (In Russian), Available at: wap.odessacrewing.borda.ru/?1-16-0-0000422-000-80-0 (accessed 01.10.2015). **10.** Chernykh I.V. SimPowerSystems: Modelirovanie elektrotekhnicheskikh ustroistv i sistem v Simulink [Simulation of electrical devices and systems in Simulink]. I.V. Chernykh. Available at: matlab.exponenta.ru/simpower/book1/2.php (accessed 01.10.2015). **11.** D'iakonov V.P., Abramenkova I.V. *MatLab. Obrabotka signalov i izobrazhenii [Signal and Image Processing]*. V.P. D'iakonov., I.V. Abramenkova. *Spetsial'nyi spravocchnik [Special reference]*. St.Peterburg: Piter, 2002. 602 p. Print.

Надійшло (received) 05.09.2015



Глазева Оксана Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри суднової електромеханіки і електротехніки, Одеська національна морська академія, м. Одеса, тел.: +38(067)9940342; e-mail: Glazeva@bk.ua

Glazeva Oksana Volodimirivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Odessa National Maritime Academy, Odessa, tel.: +38(067)9940342; e-mail: Glazeva@bk.ua



Будашко Віталій Віталійович – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри технічної експлуатації флоту, Одеська національна морська академія, м. Одеса, тел.: +38(067)9375578; e-mail: bvv@te.net.ua

Budashko Vitaliy Vitalijovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Odessa National Maritime Academy, Odessa, tel.: +38(067)9375578; e-mail: bvv@te.net.ua