

С. Ф. САМОНОВ, О. М. РАК, О. В. ГЛАЗЕВА

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ КОМБІНОВАНИХ СУДНОВИХ ПРОПУЛЬСИВНИХ УСТАНОВОК

Розглянуті шляхи підвищення ефективності використання енергії і зниження впливу на навколишнє середовище суднових дизельних пропульсивних установок на прикладі судна для транспортування контейнерів. Розроблений варіант модернізації пропульсивної установки, що забезпечує можливість збереження руху судна в особливих ситуаціях зі зменшеною потужністю за рахунок суднової електроенергетичної системи і валогенератора/двигуна. Проаналізовані переваги електроприводу гребного гвинта в складі синхронної машини і перетворювача частоти, що живляться від суднової електричної мережі, в порівнянні з головним дизельним двигуном, який працює з малою потужністю. Наведено оцінку ефективності використання електроприводу гребного гвинта за рахунок економії палива.

**Ключові слова:** головний двигун, електронне управління, валогенератор, електродвигун, гідравлічна муфта, навантаження, перетворювач частоти, векторне управління, активний випрямляч, дизель-генератор, питомі витрати палива.

Рассмотрены пути повышения эффективности использования энергии и снижения воздействия на окружающую среду судовых дизельных пропульсивных установок на примере судна для транспортировки контейнеров. Разработан вариант модернизации пропульсивной установки, обеспечивающий возможность сохранения движения судна в особых ситуациях с уменьшенной мощностью за счет судовой электроэнергетической системы и валогенератора / двигателя. Проанализированы преимущества электропривода гребного винта в составе синхронной машины и преобразователя частоты, которые питаются от судовой электрической сети, по сравнению с главным дизельным двигателем, который работает с малой мощностью. Приведена оценка эффективности использования электропривода гребного винта за счет экономии топлива.

**Ключевые слова:** главный двигатель, электронное управление, валогенератор, электродвигатель, гидравлическая муфта, нагрузки, преобразователь частоты, векторное управление, активный выпрямитель, дизель-генератор, удельные расходы топлива.

**Purpose.** Ensuring high propulsion performance in a wide range of modes by optimizing the control of technological processes of energy use. Ways to improve energy efficiency and reduce the environmental impact of diesel propulsion systems were considered. A Container ship was chosen, as example. A ship's combined type propulsion unit is equipped with a synchronous machine, which is installed in the propeller shaft line and performs the function of a shaft generator. Its use is possible only when the vessel main diesel engine operates with a power above 40% of the nominal. In economy modes and in special conditions of vessel movement with lower power, the efficiency of the working process in the main engine decreases, fuel consumption per unit of power and time, as well as harmful emissions, increases. That is, in the existing composition, the propulsion unit does not meet a modern requirements for efficiency and environmental friendliness, and the practice of its use is not flexible enough. **Methodology.** To confirm the economic feasibility of modernization and the use of PTH mode, mathematical modeling of electromechanical transients in the "Ship network - vector-driven synchronous motor - load" system was performed. **Results.** Improving the safety and survivability of the ship (PTH mode) due to the additional propeller independent of the main engine of the electric drive. Reducing fuel consumption and harmful emissions into the environment, which increases the EEIO (Energy Efficiency Operational Index) of the vessel. **Originality.** The developed version of the modernization of the propulsion installation provides running mode of the vessel in special situations with reduced power by means of using the shaft generator as a motor. To implement this option, the propulsion installation need to be equipped additionally with a hydraulic coupling, which is allow to disconnect the main engine from the propeller shaft and to change over to electrical driving of ship propeller. The advantages of the propeller electric drive as the synchronous machine and frequency converter which is supplied from the ship's electrical network, are analyzed in comparison with the main diesel engine operates with low power. The block diagrams of the electric drive with vector control are given. **Practical value.** When the vessel is moving at a low speed, switching to PTH mode saves fuel (up to 118 kg / h), and increases the completeness of its combustion, since diesel generators operate at optimal load, unlike the main engine, which in this case is extremely unfavorable for the machine.

**Keywords:** main engine, electronic control, shaft generator, electric motor, hydraulic coupling, loads, frequency converter, vector control, active rectifier, diesel generator, specific fuel consumption.

**Вступ.** Існуючі та впроваджені в дію в сфері морського та річкового транспорту міжнародні вимоги і стандарти спрямовані на всебічне вдосконалення, так званого, енергетичного менеджменту, який реалізують суднохідні компанії і їхні судна в транспортному процесі. До завдань енергетичного менеджменту відносять: збереження ресурсів, захист навколишнього середовища і зниження витрат при безпечному використанні енергії. Енергетичний менеджмент слід розглядати як координацію використання компаніями і їх суднами енергії, що планується, організується і систематизується в відповідності з вимогами, приймаючи до уваги природозахисні і економічні аспекти. Однією з цілей енергетичного менеджменту є: зниження суднами витрати палива і, за рахунок цього, шкідливих викидів в навколишнє середовище вуглекислого газу, при високій якості транспортних послуг (згідно стандарту ISO 9001), забезпеченні безпеки і природозахисних мір (згідно з вимогами Морських конвенцій, стандарту ISO 14001) та іншим.

**Аналіз проблеми.** Враховуючи те, що значна доля, близько 30 %, експлуатаційних витрат суден припадає на паливо, Міжнародною морською організацією ІМО проведені всебічні дослідження, які дозволяють виділити фактори зниження витрати палива і, пов'язаних з ними, шкідливих викидів, так званих Green Home Gases (GHG) – газоподібних продуктів згоряння палива, які містять вуглекислий газ CO<sub>2</sub>. Перелік і вплив вказаних факторів на зменшення викидів CO<sub>2</sub> для суден, що зараз будуються, наведено в таблиці 1 [ 7 ].

Результати досліджень свідчать [ 2 - 6 ], що очікуване зниження викидів CO<sub>2</sub> в сумі по перших трьох пунктах таблиці може сягати 10 – 50 %, а в сукупності по всіх пунктах - досягти 75 %.

На суднах, що знаходяться в експлуатації, підвищення ефективності використання енергії може бути досягнуто за рахунок впровадження широкого спектра дій технічного і оперативного характеру, таких як: вибір оптимальних шляхів і економічних (зниже-

них) швидкостей руху, посадки і баластування судна; своєчасне очищення від обростання/фарбування корпусу і гребного гвинта; якісне технічне обслуговування і налаштування головних і допоміжних машин, механізмів та систем; розширені вимірювання показників ефективності рейсу і роботи обладнання; фіксування, обробка і передача даних для аналізу і корекції режимів; ефективне функціонування основних користувачів електроенергії; впровадження вдосконалених технологій вироблення і перетворення енергії в головних і допоміжних енергоустановках.

Таблиця 1 – Фактори зниження викидів CO<sub>2</sub> суднами

Найменування факторів	Зниження викидів CO <sub>2</sub> , % на тонно/милю
Конструктивні: концепція проекту, швидкість ходу, особливості судна	2 – 50
Характеристики корпусу і надбудов	2 – 50
Потужність і особливості рушійної системи	5 – 15
Використання палив з низькою кількістю газоподібних сполучень (вуглецю, сірки, азоту) в продуктах згоряння	5 – 15
Використання джерел відновлюваної енергії (вітрової, сонячної ...)	1 – 10
Енергетичний менеджмент	1 -10

Отже більшість з переліченого, в тій чи іншій мірі, торкається суднової рушійної (пропульсивної) установки (ПУ), до складу якої входять двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ).

**Існуючі методи вирішення проблеми.** Відомі світові виробники суднових ДВЗ, такі як: MAN B&W, WÄRTSILÄ-SULZER, MHI та інші, постійно працюють над удосконаленням не лише конструкції, систем автоматизації і управління, а й над підвищенням ефективності та економічності двигунів. Одним з головних завдань при цьому є оптимізація управління технологічними процесами ПУ, що забезпечує покращення експлуатаційних характеристик як головних (ГД), так і приводних двигунів дизель-генераторів. Найбільш пристосованими для цього є суднові дизелі з електронним управлінням [ 4 ] та, так звані, гібридні і комбіновані ПУ. Важливою складовою таких ПУ є синхронна електрична машина (СМ), яка встановлена в лінію гребного валу (рис.1) та має механічний зв'язок із ним, і може працювати як в генераторному режимі (PTO mode), так і в режимі двигуна (PTI mode).

Для прикладу, розглянемо подібну суднову ПУ контейнеровоза місткістю 16000 контейнерів [1].

Основні технічні характеристики суднового дизельного ГД наведені в таблиці 2 [11].

Характеристика комплексу «корпус судна – ГД – гребний гвинт» наведена на рис. 2, де позначені наступні режими :  $n_{ном}$  = 105 об/хв – номінальна частота обертання ГД;  $n_p$  = 90 об/хв – рекомендована частота обертання ГД;  $n_{min}$  = 30 об/хв - мінімально допустима частота обертання ГД згідно з за вимогами правил Регістра.

Робота ГД з рекомендованою частотою обертання  $n_p$  та потужністю, яка їй відповідає, є доцільною з

точки зору збереження моторесурсу ГД [6]. Таким чином при мінімально допустимій частоті обертання  $n_{min} = 30$  об/хв стала швидкість судна на спокійній воді становить  $v = 7-8$  вузлів при потужності ГД, приблизно  $N = 2200$  кВт.

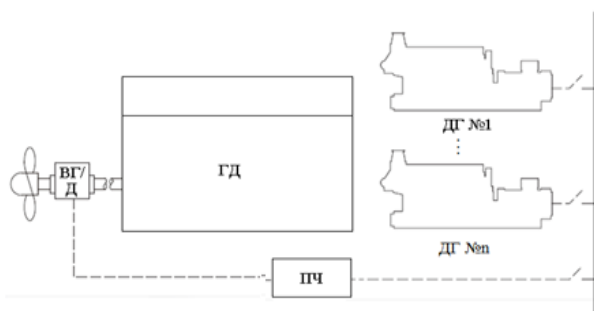


Рис. 1 – Структурна схема суднової комбінованої ПУ: ГД – головний двигун (ДВЗ), ВГ/Д – валогенератор/ електродвигун, ДГ – дизель-генератор, ПЧ – перетворювач частоти

Таблиця 2 – Технічні характеристики ГД

Тип головного двигуна	DOOSAN-WÄRTSILÄ-SULZER RT-flex96C
Потужність, кВт	68640
Тип управління	електронний
Номінальний момент, Н·м	7603850
Частота обертання, об/хв	105
Питомі витрати палива, г/(кВт·год)	185

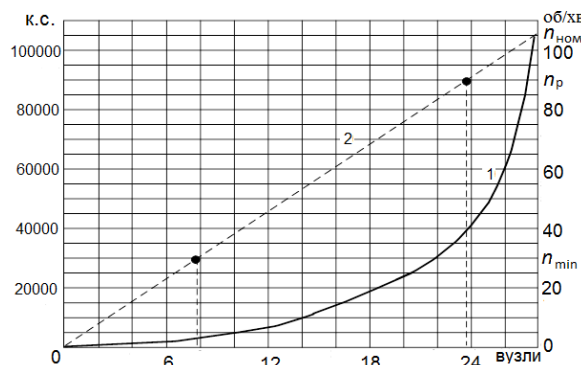


Рис. 2 – Характеристика комплексу «корпус судна – ГД – гребний гвинт» при повному завантаженні судна: 1 –  $N = f(v)$ ; 2 –  $v = f(n)$ .

Фірма-будівник ГД надає, так звану, навантажувальну діаграму (рис. 3), на якій поле можливих режимів роботи двигуна визначено згідно з рекомендацій [1, 11] з урахуванням ряду експлуатаційних обмежень. Навантажувальна діаграма побудована в логарифмічних координатах і відображує прямими лініями межі потужності і частоти обертання валу для тривалої роботи, а також межі перевантажень ГД у відсотках від номінальних значень. Точка «М» відповідає максимально допустимій тривалій потужності двигуна, що працює безпосередньо на гребний гвинт [1,4]. Ця точка звичайно збігається з точкою R<sub>1</sub> (100 % потужності при 100 % частоти обертання), але в особливих випадках, наприклад, при відборі потужності від

ГД валогенератором (PTO mode), може розташовуватись праворуч від  $R_1$  на лінії 7.

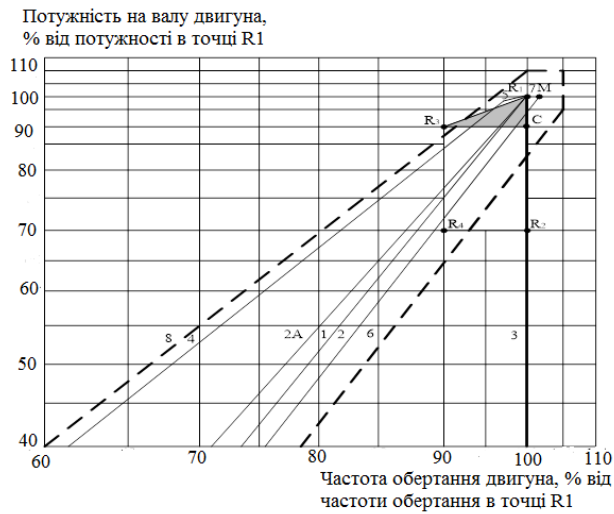


Рис. 3 – Навантажувальна діаграма ГД

Різні режими тривалої експлуатації мають знаходитися в зоні, яка обмежується чотирма лініями – межами: 3 – по максимальній частоті обертання; 4 – по постачанню повітря для згоряння палива; 5 – по максимальному середньому ефективному тиску ( $p_{me}$ ); 7 – по максимальній потужності для тривалої роботи. Площа, що обмежена товстою перервною лінією 8 є областю перевантажень, яка є допустимою лише на обмежений час (1 година через 12 годин).

Площа між лініями 4 і 1 відповідає умовам роботи при підвищенні спротиву руху судна на мілководді, в умовах шторму та при розгоні судна, тобто відповідає нестаціонарній роботі без фактичного обмеження за часом. При обростанні корпусу судна і гвинта межа 6 зсувається до лінії 2. Область режимів, які наближені до номінального, позначена трикутником сірого кольору [1]. В ній здійснюють налаштування параметрів системи управління на зниження шкідливих викидів у відповідності до вимог конвенції МАРПОЛ73/78, скорочення питомих витрат палива, перерахунок параметрів потужності в режимах, які відрізняються від номінального. На практиці ГД доволі часто працює зі

зниженою частотою обертання: при проходженні вузькостей, плаванні в тумані та інше. З точки зору безпеки мореплавства при цьому великого значення набуває мінімально стійка швидкість обертання ГД, що працює на гвинт фіксованого кроку. Згідно вимог правил Регістра ця величина не повинна бути нижчою за  $0,3n_{ном}$  [3, 5]. В той же час, чим меншою є мінімально стійка частота обертання, тим кращими вважають маневрові властивості судна. На деяких сучасних малообертових (МОД) ГД вона може досягати  $(0,16 \div 0,18)n_{ном}$  і, навіть,  $0,05n_{ном}$  [3, 4]. Але робота ПУ при таких низьких значеннях пов'язана з негативними наслідками, про які досконало викладено в [4]. Для запобігання цих наслідків провідні фірми-розробники суднового обладнання пропонують в залежності від призначення судна різні схемні рішення. Одним із них є, так зване схемне рішення «РТН (Power Take Home mode)», при якому ГД може бути від'єднаний від гребного валу гідравлічною муфтою PSC (Propeller Shaft Clutch) [10]. Для приведення в дію гребного гвинта використовують синхронний ВГ/Д, ротор якого встановлений в лінію гребного валу (рис. 4).

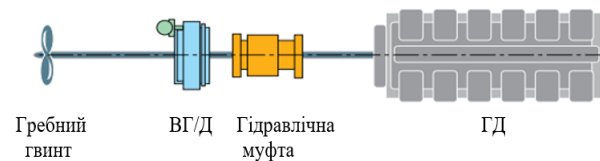


Рис. 4 – Схемна реалізація РТН mode в одновальній ПУ

Живлення ВГ/Д, тобто в цьому випадку, гребного електродвигуна (ГЕД), від суднових допоміжних ДГ може бути здійснено через двохнапрямковий судновий перетворювач частоти (ПЧ) з активним випрямлячем (рис. 5). Для здійснення РТН mode система управління ПЧ – ГЕД, що на реальному судні реалізує РТН mode/РТI mode [1, 11], має бути модифікована таким чином, щоб задовольняти вимогам Регістра до електричних ПУ.

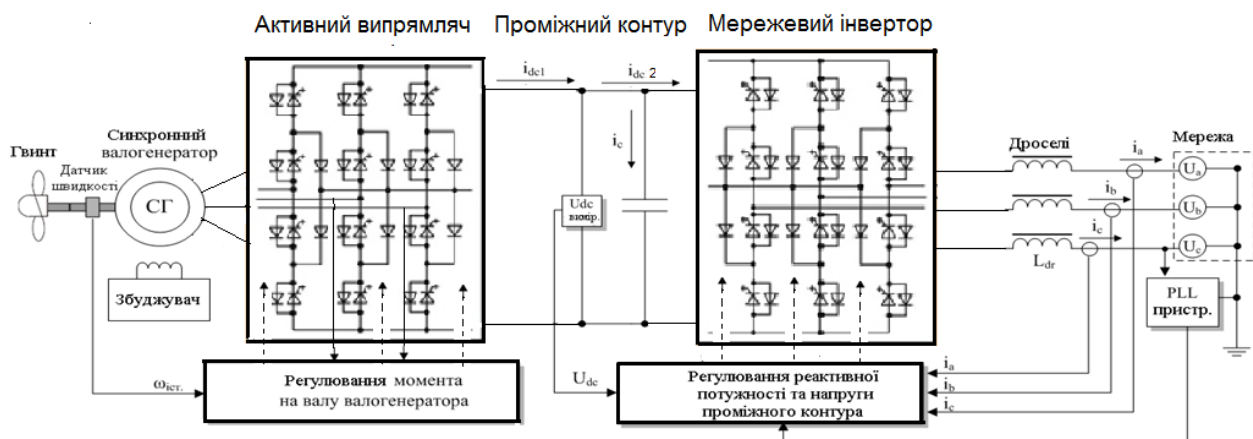


Рис. 5 – Силова схема для роботи синхронного ВГ з судбною мережею

Судновий ВГ/Д фірми SIEMENS має наступні технічні показники: потужність 2500/6000 кВт, напруга 3 × 6,6 кВ, коефіцієнт потужності 0,7, частота обертання валу 45 – 82/45 – 90 об/хв, момент інерції 3675 кг·м<sup>2</sup>, навантажувальні діаграми наведені на рис. 6.

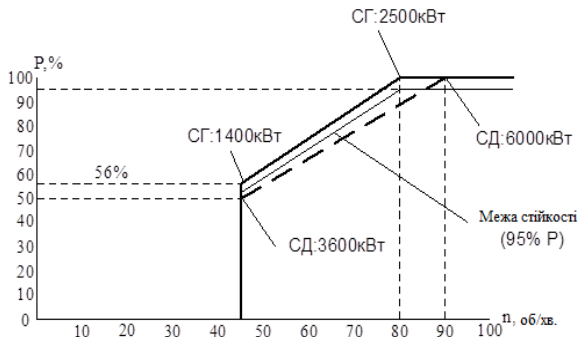


Рис. 6 – Навантажувальні діаграми ВГ/Д

В якості ПЧ можуть бути використані перетворювачі частоти фірми SIEMENS – Sinamics SL150 (SM150) [9] морського виконання. Sinamics SL150 це IGBT (IGCT) циклоконвертор (cycloconverter) для тихохідних синхронних й асинхронних двигунів з високим обертовим моментом і перевантаженнями (табл. 3).

Перевагою названих перетворювачів частоти є можливість забезпечити роботу СМ на частотах обертання нижчих 30 об/хв., а також регулювання моменту за рахунок використання принципів векторного управління [7].

**Мета роботи.** Забезпечення високих показників ПУ в широкому діапазоні режимів за рахунок оптимізації управління технологічними процесами використання енергії.

**Методи дослідження.** Основні рівняння синхронної явнополюсної машини при постійному потоці, які записані для системи координат *d-q* [ 12 ], орієнтованої за потоком ротора, дозволяють скласти структурну схему машини, яка подана на рис.7.

Таблиця 3 – Технічні характеристики перетворювачів частоти Sinamics SL150

Потужність, МВ·А	7,6
Значення напруги живлення, В	6600
Частота мережі живлення, Гц	50/60
Струм, А	350
Коефіцієнт потужності	0,8
ККД, %	≥ 99
Закони управління	U/f; векторне
Вихідна частота, Гц	0 - 30
Перевантажувальна спроможність	200 % (60 с); 250 % (20 с)
Обмін даними	Profibus DP

Оскільки принципи векторного управління дозволяють реалізувати вільне орієнтування вектора потоку статора в системі координат *d-q*, значення електромагнітного моменту можна визначити як [7, 8 ]:

$$M_{CM} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot (\Psi_{sd} \cdot i_{sq} - \Psi_{sq} \cdot i_{sd}), \quad (1)$$

Для структурної схеми (рис.7) згідно з (1):

$$M_{CM} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot (\Psi_p \cdot i_{sq} + i_{sd} \cdot i_{sq} \cdot (L_{sd} - L_{sq})), \quad (2)$$

де:  $M_{CM}$  – момент на валу СМ,  $z_p$  – кількість пар полюсів машини,  $\Psi_p$  – потік збудження,  $L_{sd}$ ,  $L_{sq}$  – індуктивності статора за віссю *d* і *q*,  $i_{sd}$ ,  $i_{sq}$  – проекції струму статора на вісь *d* і *q*, відповідно.

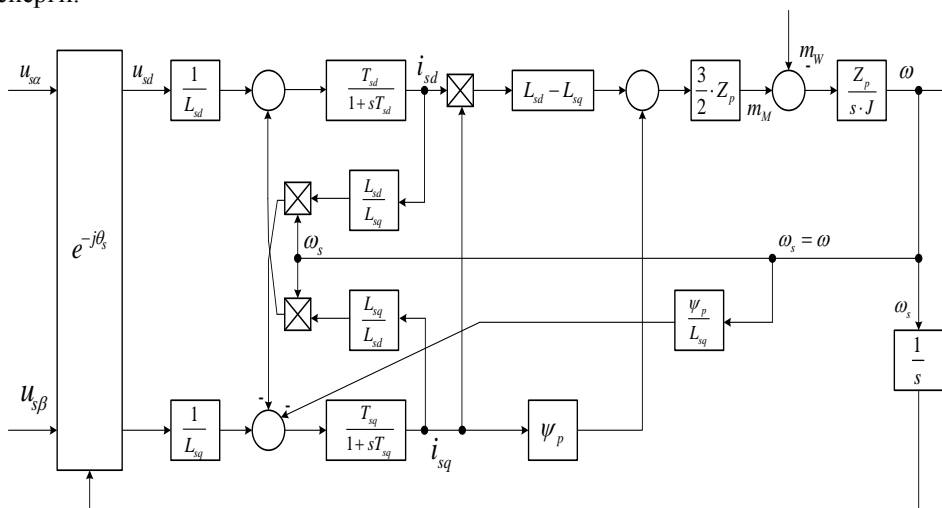


Рис. 7 – Структурна схема синхронної машини в системі координат *d-q*

Лише при перпендикулярному розташуванні струму статора по відношенню до потоку проекції струму статора на вісь *d* -  $i_{sd}$  дорівнює нулю. Тоді момент СМ можна обчислювати за спрощеною формулою:

$$M_{CM} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \Psi_p \cdot i_{sq}, \quad (3)$$

тобто для регулювання моменту достатнім є вплив на проекцію струму статора на вісь *q* -  $i_{sq}$ .

В такому випадку система регулювання набуває вигляду (рис.8). При такій системі регулювання полярність сигналу завдання на момент буде визначати режим роботи СМ, тобто при позитивному завданні

СМ буде працювати двигуном, при негативному завданні – генератором.

Швидкодію контурів струму забезпечують П-регулятори сумісно з блоком компенсації ЕРС. Процес регулювання здійснюється в системі координат  $d-q$ , яка орієнтована за потоком ротора. Необхідна орієнтація вектору напруги в просторі забезпечується модулятором, який працює на частоті модуляції 8 кГц, при цьому забезпечується якісна форма струму СМ [7, 8].

Для вибору параметрів СМ необхідно виконати перерахунок значень моменту гребного гвинта, який для морських суден здійснюється за співвідношенням:

$$M_{Rx} = M_{R1} \cdot \left( \frac{n_{Rx}}{n_{R1}} \right)^2, \quad (4)$$

де  $M_{R1}$  – значення номінального моменту;  $n_{R1}$  – швидкість обертання з номінальним моментом;  $n_{Rx}$  – швидкість обертання у будь-якому режимі [2].

Визначення потужності на валу ГЕД для забезпечення руху судна, здійснюється за співвідношенням:

$$P_{Rx} = P_{R1} \cdot \left( \frac{n_{Rx}}{n_{R1}} \right)^3, \quad (5)$$

Формула (5) дозволяє, використавши значення з рис. 2, 6 для номінального режиму, визначити потужність СМ, яка становить майже 5МВт при приблизно 40 об/хв. Тобто для живлення ГЕД буде достатньою потужність двох ДГ, увімкнених на паралельну роботу.

Паспортні дані генераторів, які входять до складу суднової електростанції, представлені в [11] і в табл. 4. Значення потужності суднової електростанції в режимі маневрування (PTN mode) подані в табл. 5.

Таблиця 5 – Значення потужності суднової електростанції в режимі маневрування

Параметри режиму	Режим: Маневрений
Сумарна активна потужність $P_1$ , кВт	5057
Коефіцієнт потужності $\cos\phi_{св}$	0,82
Повна потужність $S$ , кВ·А	6173

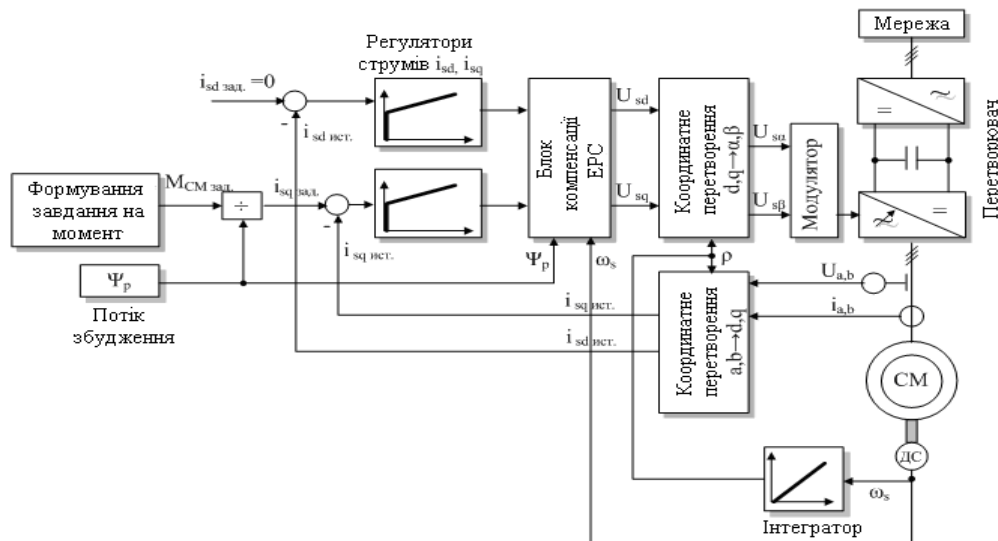


Рис. 8 – Структура системи регулювання моменту синхронної машини

Таблиця 4 – Паспортні данні генераторів

Генератор (кількість)	Тип	Потужність, кВ·А	Частота обертання, об/хв.	Напруга, В	Струм, А	Частота, Гц	$\cos \phi$
ДГ (3)	«Siemens» 1DK4531-8BF05-Z	3600	1800	6600	315,3	60	0,7
ВГ/Д (1)	«Siemens» 65L3710-8LG42-4AW0	3571	45-82	6600	328,5	60	0,7

Попередня оцінка ефективності використання РТН mode може бути зроблена підрахунком питомих витрат палива (ПВП) за добу на ГД порівняно з ПВП за добу на два ДГ, що працюють на ВГ/Д, якщо швидкість руху судна обмежена потужністю приблизно 4000 - 5000 кВт.

Наведені на рис. 9 ПВП можна апроксимувати поліномом другого ступеню (6) і (7) [11]:

$$ПВП_{ГД} = 0.01 \cdot L^2 - 1.513 \cdot L + 226.33, \quad (6)$$

$$ПВП_{ДГ} = 0.006 \cdot L^2 - 0.9586 \cdot L + 230.16, \quad (7)$$

де: ПВП – питомі витрати палива, г/кВт·год;  
 $L$  – навантаження дизеля, %.



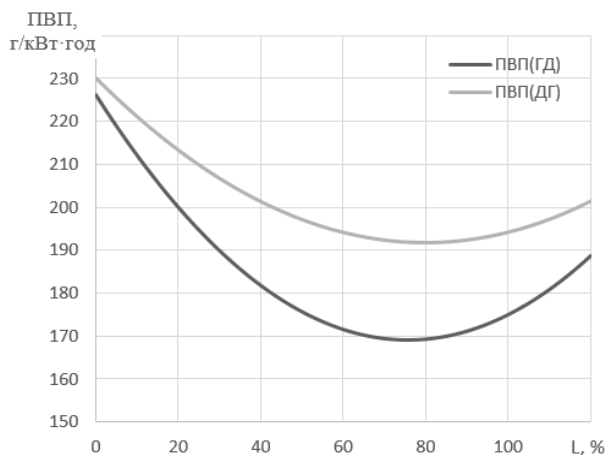
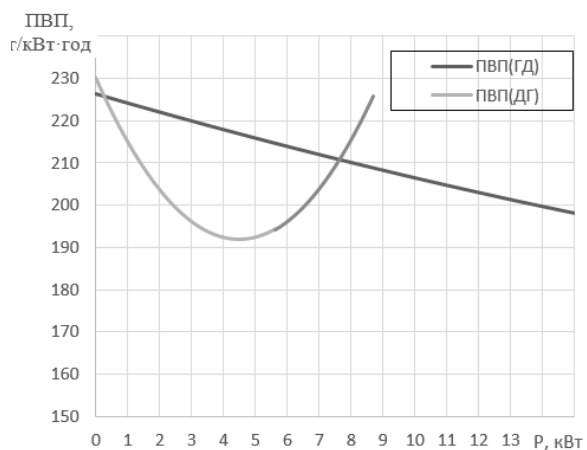


Рис. 9 – Питомі витрати палива для ГД і ДГ

Для отримання оцінки економічної ефективності краще відобразити навантаження дизелів в розмірній формі (кВт) (рис.10), що чітко покаже зниження витрати палива в режимі електричного руху: навантаження ГД складає  $L_{ГД} = 6,5 \%$ ,  $PVP_{ГД} = 216,9$  г/кВт.год, а ДГ, відповідно,  $L_{ДГ} = 80 \%$ ,  $PVP_{ДГ} = 191,9$  г/кВт.год. Витрати палива за добу складуть: на ГД 20,82 тони, а на ДГ, відповідно, 18,42 тони.

Рис. 10 – Питомі витрати палива для ГД і ДГ:  $PVP = f(P)$ 

### Висновки.

Використання іншого по відношенню до існуючого схемного рішення розглянутої ПУ в складі: СМ, перетворювача частоти з активним випрямлячем і гідравлічної муфти, що призначена для від'єднання ГД від гребного валу, дозволяє досягти підвищення рівня безпеки судна (РТН mode) за рахунок додаткового незалежного від ГД електропривода гребного гвинта.

Незважаючи на переваги електронного управління малооборотного ГД, довгочасна його експлуатація з наднизькою частотою обертання неможлива, ефективність робочого процесу дизеля при цьому низька, витрата палива на одиницю потужності і часу велика.

Для скорочення витрат палива і, відповідно, шкідливих викидів в навколишнє середовище в якості джерела електроенергії можуть використовуватися дизель-генератори при оптимальних в сенсі мінімуму витрати палива режимах навантаження, близьких до номінальної потужності.

В порівнянні з прямою передачею механічної енергії від ГД до гребного гвинта, додаткове обладнання для реалізації електричного привода гвинта: генератори, перетворювач частоти, синхронний гребний двигун – має високий ККД, тому втрати в передачі є відносно малими: 1 – 2 %.

Аналіз процесів пуску і реверсу електропривода гвинта у складі: синхронний генератор – ПЧ – СМ за спрощеною моделлю показав можливість реалізації РТН mode в ПУ з структурою, що запропонована.

Наступним кроком досліджень буде доповнення і уточнення моделі і моделювання електромеханічних перехідних процесів з урахуванням сучасних рекомендацій відносно надійності і ефективності суднових рушійних комплексів, вимог Міжнародних конвенцій, правил Класифікаційних суспільств, економічних аспектів модернізації і використання РТНmode.

### Список літератури

1. SULZER RTA96C Marine Installation Manual [Electronic sources]. / Issue May 2004. <https://ru.scribd.com/doc/11498707/RTFLEX96C>.
2. Дизели. Справочник [Текст]. Изд. 3-е, перераб. и доп. Под общей редакцией В. А. Ваншейдта, Н. Н. Иванченко, Л. К. Коллерова. – Л.: «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1977. – 480с. – с ил.
3. Marine Machinery & Engine 2013 Marine. [https://www.mhi-mme.com/cms\\_docs/products\\_en.pdf](https://www.mhi-mme.com/cms_docs/products_en.pdf).
4. Судновий механік: Довідник / Авт. кол.: За ред. А. А. Фока. Д-ра техн. наук, суднового старшого механіка. – У 3-х т. – Т.1. – Одеса: Фенікс. 2008. – С. 714-715.
5. Технично-економічні характеристики судов морського флоту [Текст] РД 31.03.01-90. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1992. – 232 с.
6. Возницкий, И. В. Двигатели MAN B&W модельного ряда MS 50-98. Конструкция, эксплуатация, техническое обслуживание / И. В. Возницкий. – М.: МОРКНИГА, 2008. – 264 с. – ил.
7. Nguyen Phung Quang, Jörg-Andreas Dittrich. Praxis der feldorientierten Drehstrom - antriebsregelungen. Expert Verlag, 1999, p. 267.
8. Elektrische Antriebstechnik. Von Professor Dr.-Ing. habil. Ulrich Riefenstahl. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. B.G. Teubner Stuttgart-Leipzig 2000. Mit 290 Bildern, 9 Tafeln und 66 Beispielen.
9. SINAMICS SL150 Cycloconverters. Highest marks in robustness and reliability. <https://siemens.com/sinamics-sl150>
10. Innovative Power Transmission. Propeller Shaft Clutch (PSC). RENK Aktiengesellschaft. RENK. Edition 08/2016. 12 p. <https://www.renk.eu>
11. Рак О.М. Визначення генеруючих потужностей в термoeфективній системі суднової електростанції та її техніко-економічних показників / О. М. Рак, О. В. Глазєва, С. А. Дудко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – К.: Техніка, 2018. – Вип. 28(104). – С. 147-153.
12. Черних І. В. Моделювання електротехнічних пристроїв в Matlab, SimPowerSystems та Simulink / І. В. Черних. – СПб.: Пітер, 2007.

### References (transliterated)

1. SULZER RTA96C Marine Installation Manual / Issue May 2004, available at: <https://ru.scribd.com/doc/11498707/RTFLEX96C>.
2. Vansheyd V. A., Ivanchenko N. N., Kollerov L. K. *Dizeli. Spravochnik* [Diesel engines. Directory]. Leningrad, Mashinostroenie, Publ., 1977, 480 p.
3. Marine Machinery & Engine 2013 Marine available at: [https://www.mhi-mme.com/cms\\_docs/products\\_en.pdf](https://www.mhi-mme.com/cms_docs/products_en.pdf).
4. A. A. Foka. *Sudnoviy mehanik: Dovidnik*, [Directory]. Odesa, Feniks, Publ., 2008, Vol. 1., pp. 714-715.
5. Rules of technical operation of sea and river vessels. Electrical equipment [Pravila tehnichejskoj ekspluatatsii morskijh I rechnijh sudov. Elektrooborudovanie]. KND 31.2.002.07-96.
6. Voznitsky, I. V. *Dvigateli MAN B&W modelnogoryada MS 50-98. Konstruktsiya, ekspluatatsiya, tehnichejskoe obsluzhivanie* [Engines

- MAIN B & W of the modelrange MC 50-98. Construction, operation, maintenance]. MORKNIGA, Moscow, 2008, 264 p.
7. Nguyen PhungQuang, Jörg-Andreas Dittrich. Praxis der feldorientierten Drehstrom - antriebsregelungen. Expert Verlag, 1999, p. 267.
  8. Elektrische Antriebstechnik. Von Professor Dr.-Ing. habil. Ulrich Riefenstahl. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. B.G. Teubner Stuttgart-Leipzig 2000. Mit 290 Bildern, 9 Tafeln und 66 Beispielen.
  9. SINAMICS SL150 Cyclo converters. Highest marks in robustness and reliability. <https://siemens.com/sinamics-sl150>
  10. Innovative Power Transmission. Propeller Shaft Clutch (PSC). RENKAktiengesellschaft. RENK. Edition 08/2016. 12 p., available at: <https://www.renk.eu>
  11. Rak O. M., Glazeva O. V., Dudko S. A. Opredelenie generiruyuschih moschnostey v termoeffektivnoy sisteme sudovoy elektrostantsii i ee tehniko-ekonomicheskikh pokazateley [Determination of generating capacities in the thermoeffective system of the shipboard power plant and its techno-economic indicators] *Electrotechnical and computer systems*, 2018, Vol. 28(104), pp.147-153. (Rus)
  12. Chernyh I. V. [Modelling of Electrotechnical Units on Matlab, SimPowerSystems and Simulink]. SPb., Piter, 2007. (Ukr)

Надійшло (received) 21.01.2020

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

Самонов С. Ф. Підвищення ефективності та надійності комбінованих суднових пропульсивних установок / С. Ф. Самонов, О. М. Рак, О. В. Глазева // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – 2020. – № 3 (1357). – С. 29-35. – doi:10.20998/2409-9295.2020.3.05.

Самонов С. Ф. Повышение эффективности и надежности комбинированных судовых пропульсивных установок / С. Ф. Самонов, А. Н. Рак, О. В. Глазева // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – 2020. – № 3 (1357). – С. 29-35. – doi:10.20998/2409-9295.2020.3.05.

Samonov S. F. Improving the efficiency and reliability of combined ship propulsions / S. F. Samonov, A. N. Rak, O. V. Glazeva // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – 2020. – № 3 (1357). – С. 29-35. – doi:10.20998/2409-9295.2020.3.05.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Самонов Сергій Федорович (Самонов Сергей Федорович, Sergii Samonov)**, кандидат технічних наук, Національний університет «Одеська морська академія», доцент кафедри суднової електромеханіки і електротехніки, (067)-994-03-42, ORCID ID: 0000-0002-8984-0393; e-mail: samonovsf@gmail.com

**Рак Олександр Миколайович (Рак Александр Николаевич, Alexandr Rak)**, кандидат технічних наук, Донецький національний технічний університет, доцент кафедри електромеханіки і теоретичних основ електротехніки, (050)-273-85-42, ORCID ID: 0000-0003-2809-6529; e-mail: lion15ua@rambler.ru

**Глазева Оксана Володимирівна (Глазева Оксана Владимировна, Oksana Glazeva)**, кандидат технічних наук, Національний університет «Одеська морська академія», доцент кафедри суднової електромеханіки і електротехніки, (067)-994-03-42, ORCID ID: 0000-0002-4992-7697; e-mail: o.glazeva@gmail.com