



Shaft Generator-Motor with Pulse Width Modulation

Olexander Shvydkiy and Vitalii Budashko

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

December 28, 2023

ВАЛОГЕНЕРАТОР-ДВИГУН З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

Швидкий О.С., здобувач другого рівня вищої освіти.

Будашко, В.В., д.т.н., професор

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: розглянуто принцип роботи валогенератора в судновій електроенергетичній установці та підвищення ефективності роботи пропульсивної установки за рахунок використання валогенератора в режимі двигуна.

Ключові слова: Валогенератор з режимами PTO/PTI, широтно-імпульсна модуляція, компенсація реактивного струму, індекс енергоефективності EEDI.

Гібридні (комбіновані) пропульсивні комплекси (КПК) поєднують в собі переваги класичної дизельної енергетичної установки з особливостями гребної електричної установки [1-5]. У своїй найпростішій формі конфігурація складається з підключеного до редуктора малообертового дизельного двигуна (МОД), працюючого на гвинт та електричної машини (ЕМ), яка може працювати в режимі генератора або в режимі двигуна. Це дає можливість роботи КПК в режиму відключення живлення (PTO – Power take off) або режиму накопичення енергії (PTI – Power take in) в межах основного діапазону обертів головного двигуна [6-10].

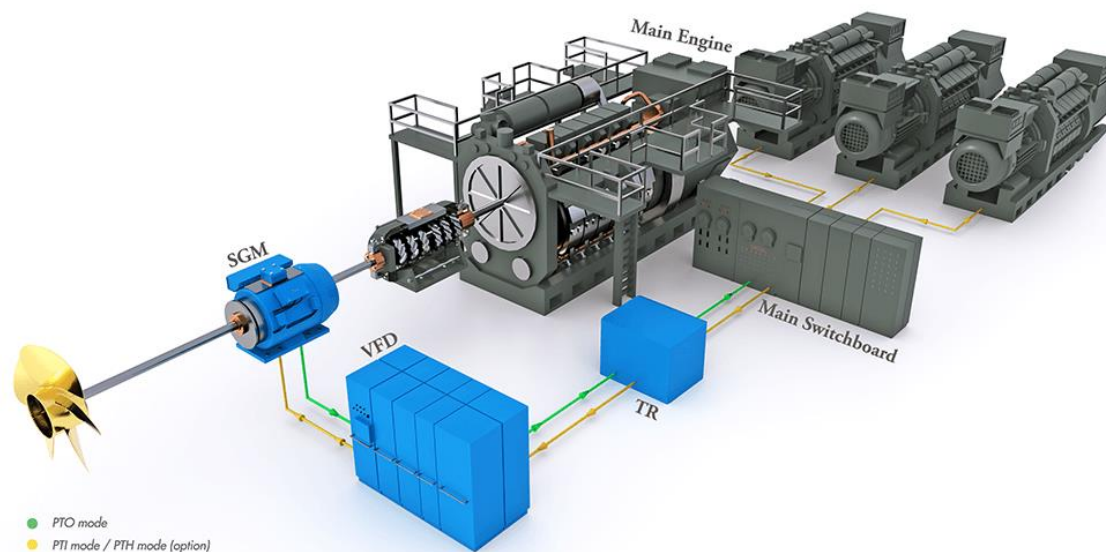


Рисунок 1 – Конфігурація комбінованого пропульсивного комплексу та валогенератора з режимами PTO/PTI

(Main Engine – головний двигун пропульсивної установки судна, Main Switchboard – головний розподільчий щит, TR – трансформатор напруги, VFD (Variable-frequency drive) – перетворювач частоти, SGM (Shaft Generator Motor) – валогенератор-двигун, PTO/PTI mode – лінії зв'язку при роботі пропульсивного комплексу в режимі PTO/PTI)

Power Take-Off (PTO) - це режим роботи пропульсивного комплексу та суднової електростанції, коли валогенератор відбирає потужність та оберти від головного двигуна судна і працює як генератор, тобто подає живлення до електростанції з номінальною напругою та частотою [11-16].

PTO може бути здійснений за допомогою механічних з'єднань, гідравлічних насосів або інших методів передачі потужності.

- Спеціалізоване програмне забезпечення: управління SGM також може включати в себе спеціалізоване програмне забезпечення для налаштування режимів роботи, моніторингу та збереження даних про роботу системи.

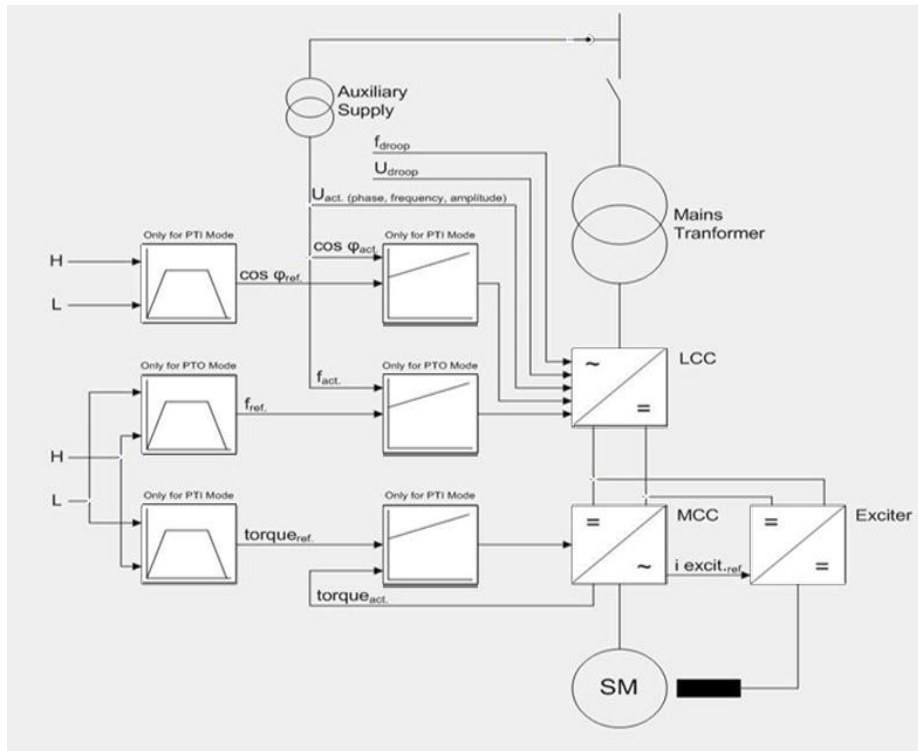


Рисунок 4 – Схема керування валогенератора зі зворотнім зв'язком Closed-loop (*Mains Transformer* – трансформатор мережі, *Auxiliary Supply* – додаткове живлення, *LCC* (*Line Connected Converter*) – конвертер під'єднаний до мережі, *MCC* (*Motor Connected Converter*) – конвертер під'єднаний до валогенератора, *Exciter* – збудження валогенератора, U, f_{act} – фактична напруга та частота мережі, U, f_{droop} – функція спаду напруги та частоти, яка визначає як змінюється U, f при зміні навантаження, $torque_{act}, ref$ – момент на валу двигуна SGM реальний та заданий, $cos\phi_{act}, ref$ – коефіцієнт потужності реальний та заданий (відношення активної потужності P до загальної S), f_{ref} – задана частота валогенератора)

Компанія SIEMENS для керування SGM використовує конвертори - перетворювачі частоти (ПЧ) SINAMICS з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) на базі IGBT транзисторів [17-22].

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) - це метод керування електричними сигналами, де час увімкнення (ширина імпульсу) і час вимкнення змінюються з необхідною частотою (частота комутації) для створення бажаної величини напруги або струму на виході .

Чим ширший імпульс, тим більша потужність або напруга. Частота зміни імпульсів також впливає на характеристики сигналу. Для отримання правильної синусоїдальної форми напруги змінного струму напруга вирівнюється за допомогою фільтрів, і частота модуляції вища, ніж для стандартних рішень активного фільтра електромережі (AFE). Це спрямовано на забезпечення надійної та ефективної роботи системи.

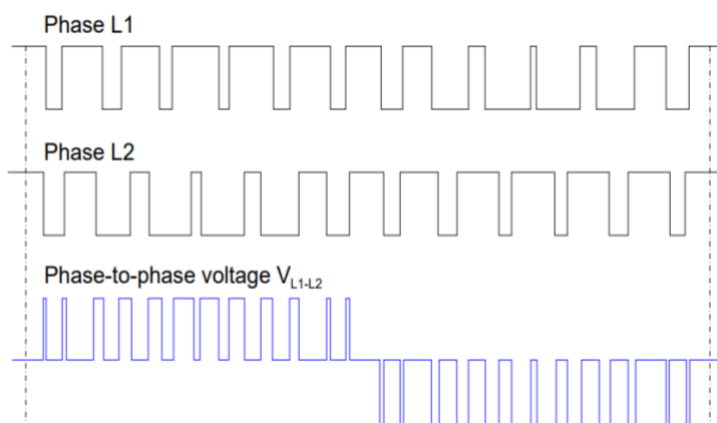


Рисунок 5 – Формування імпульсів різної ширини (*Phase L1 – фаза L1, Phase L2 – фаза L2, Phase-to-phase voltage V_{L1-L2} – фазна напруга L1-L2*)

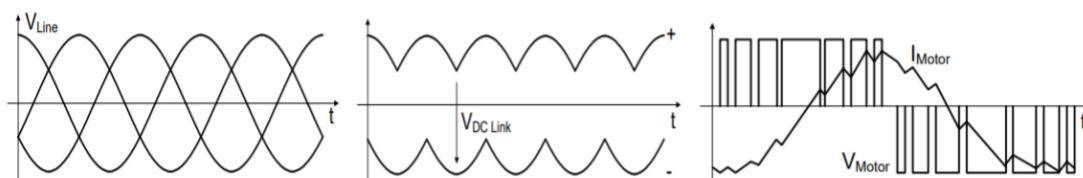


Рисунок 5 – Формування напруги за допомогою ШІМ (*V line – лінійна напруга, V dc link – напруга ланки постійного струму, I, V motor – струм та напруга валогенератор-двигуна*)

Цікавою особливістю конверторів SIEMENS є наявність режиму компенсації реактивної потужності (Reactive Current Compensation, RCC).

В режимі RCC конвертер працює для подачі реактивного навантаження в електромережу, навіть якщо основний двигун не працює або оберти основного двигуна нижчі від мінімального обмеження роботи генератора. У цьому випадку працює тільки LCC (рис. 4), MCC та Exciter не працюють, щоб уникнути втрат в системі.

Таким чином системи управління SIEMENS SINAMICS надають можливість використовувати всі переваги валогенератора та двигуна як гребної електричної установки.

Комбіновані пропульсивні комплекси на сьогоднішній день все частіше використовуються на судах з метою відповідності резолюціям MARPOL [23-28].

Судновласники зобов'язані розраховувати енергетичні показники ефективності (EEDI) з метою зменшення викидів вуглекислого газу та підвищення енергоефективності суднових пропульсивних комплексів [29-34].

На прикладі розрахунків EEDI компанією MAN розглянемо як КПК допомагають досягти бажаного показника енергоефективності [35-39].

$$EEDI \text{ with PTO} = \frac{\left(\left(P_{ME} - \frac{P_{AE,PTO}}{0.75}\right) \times 0.75 + P_{AE,PTO}\right) \times C_{F,ME} \times SFOC_{ME} + \left(P_{AE} - P_{AE,PTO}\right) \times SFOC_{AE} \times C_{F,AE}}{dwt \times V_{ref}} = \quad (1)$$

$$\frac{\left(\left(7800 - \frac{281}{0.75}\right) \times 0.75 + 281\right) \times 3.206 \times 167.1 + (390 - 281) \times 210 \times 3.206}{50000 \times 13.06} = 4.84$$

де, P_{ME} - потужність головного двигуна при 75% MCR (максимальна номінальна потужність);

$P_{AE,PTO}$ - потужність валогенератора-двигуна; C_F - коефіцієнт вуглецю, який враховує масу

CO₂, викинуту на одиницю маси пального, яке спалюється при роботі головного двигуна

судна; $SFOC$ - витрата пального (Specific Fuel Consumption) в г/кВт-год при 75% від

максимальної номінальної потужності (MCR); dwt (deadweight tonnage) - показник

вантажопідйомності судна, що визначає максимальну вагу вантажу та пального, яку судно

може перевозити. В даному випадку було проведено розрахунок для танкера вантажопідйомністю 50000 dwt; V_{ref} - швидкість судна.

$$\text{Relative EEDI} = \frac{4.84}{1,218.8 \times 50000^{-0.488}} = 79.1\% \quad (2)$$

Судна, побудовані після 1 січня 2020 року, повинні відповідати другій фазі EEDI, яка передбачає зменшення посиленних вимог до базового значення на 20%.

Зниження EEDI на 20,9% можна досягти завдяки системі прийому енергії (РТО), що відповідає EEDI фазі 2. Для відповідності EEDI фазі 3 у 2025 році може бути розглянуто зниження потужності SMCR (Specific maximum continuous rating) та використання альтернативних видів палива з меншим вмістом вуглецю.

Висновки. Метою даної роботи було показати дослідження розвитку суднових комбінованих пропульсивних систем в напрямку покращення електроенергетичних показників. Судновласники віддають перевагу комбінованим пропульсивним комплексам з валогенераторами, які можуть працювати в режимах РТО/РТІ, а також гібридним комплексам з системами акумуляції енергії в батареї (Battery storage) [40].

Отже SGM РТО/РТІ має наступні переваги:

- зниження витрат на пальне та мастильні матеріали;
- системи РТО вимагають менше обслуговування;
- використання системи РТО може покращити безпеку судна та екіпажу, зменшуючи залежність від традиційних дизельних генераторів.
- системи РТО можуть працювати з низьким рівнем шуму, що робить їх придатними для застосування на пасажирських суднах.
- за допомогою систем РТО можна зменшити розмір або кількість дизельних генераторів, що веде до зменшення ваги та об'єму на судні.
- системи РТО можуть бути легко інтегровані з дизельними генераторами, що дозволяє їм працювати разом для надійного забезпечення електроенергією судна.

Ці переваги роблять комбіновані пропульсивні комплекси привабливими для застосування в морській галузі та допомагають покращити ефективність та надійність роботи суден, але потребують подальшого дослідження в сфері якості електроенергії, оскільки перетворювачі частоти, які використовуються в системах управління потужними генераторами, створюють вищі гармоніки, що спотворюють якість напруги суднової електромережі.

ЛІТЕРАТУРА

1. V.V. Budashko. Ship's power plants of combined propulsion complexes: concepts, technologies, researching: Monograph. - NU "OMA" ISBN 978-617-7857-01-2, 2020. – 136р. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.academia.edu/44250509/SHIPS_POWER_PLANTS_OF_COMBINED_PROPULSION_COMPLEXES_CONCEPTS_TECHNOLOGIES_RESEARCHING Monograph
2. Nikolskyi, V. Development of a Computer System of Technical Condition for the Electric Podded Azimuth Thrusters [Text] / V. Nikolskyi, V. Budashko, S. Khniunin, M. Nikolskyi // Information technologies and computer modelling: proceedings of the International Scientific Conference May 14-19, 2018 Ivano-Frankivsk, Ukraine: Suprun V. P. – P. 157-160. ISBN 978-617-7468-26-3. Режим доступу: \WWW/ URL: <http://itcm.comp-sc.if.ua/2018/zbirnyk.pdf>. – 5.6.2018 р. – Загол. з екрану.
3. Nikolskyi, V. Parametrization and identification of energy flows in the ship propulsion complex [Text] / V. Nikolskyi, V. Budashko, S. Khniunin, M. Nikolskyi // 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer

- Engineering (TCSET)*, Slavske, 20-24 Feb. 2018, Ukraine: IEEE. – P. 288-294. Doi: [10.1109/TCSET.2018.8336205](https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336205). Режим доступу: \WWW/ URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8336205>. – 5.9.2018 р. – Загол. з екрану. *Scopus, Web of Science*.
4. Будашко, В. В. Підвищення ефективності функціонування суднових енергетичних установок комбінованих пропульсивних комплексів. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту (0701 – транспорт і транспортна інфраструктура). – Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, 2017, 422 с. Режим доступу: \WWW/ URL: http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2016/09/Thesis_Budashko_END-1.pdf. – 5.9.2018 р. – Загол. з екрану.
 5. Budashko, V. Synthesis of the Management Strategy of the Ship Power Plant for the Combined Propulsion Complex [Text] / V. Budashko, V. Shevchenko // 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), Kyiv, 16-18 Oct. 2018, Ukraine: IEEE. P. 106-108. Doi: [10.1109/MSNMC.2018.8576266](https://doi.org/10.1109/MSNMC.2018.8576266). Режим доступу: \WWW/ URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8576266>. – 5.1.2019 р. – Загол. з екрану.
 6. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – 204 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2022.22.11.22_1.pdf
 7. Будашко, В.В. Підвищення ефективності гібридних суднових комбінованих пропульсивних комплексів за різними критеріями стратегій енергоменеджменту [Текст] / В. В. Будашко // Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика // Матеріали науково-методичної конференції, 05.12.2018 – 06.12.2018. – Одеса: НУ ОМА, 2019. – С. 10-27. Режим доступу: \WWW/ URL: http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/electro_conf_50_60ka_228str.pdf – 5.1.2019 р. – Загол. з екрану.
 8. Budashko, V.V. Integration of expert systems for the design of marine power plants of combined propulsion complexes [Text] / V.V. Budashko // SEA-CONF 2019 The 5th International Scientific Conference, May 17th - 18th, 2019. – Constanta: “MIRCEA CEL BATRAN” NAVAL ACADEMY. – P. 20-21. Режим доступу: \WWW/ URL: <https://www.anmb.ro/ro/conferinte/sea-conf/arhiva/program%20sea-conf%202019.pdf>. – 5.9.2019 р. – Загол. з екрану.
 9. Budashko, V. Multicriteria strategy of power managing system for ships power plants for combined propulsion complexes [Text] / Budashko V. // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE). – 2019. – V. 14, I. 5. – P. 14-28. e-ISSN: 2278-1676, p-ISSN: 2320-3331. Doi: [10.9790/1676-1405011428](https://doi.org/10.9790/1676-1405011428).
 10. Budashko, V. Вдосконалення стратегії управління багатомасовою електромеханічною системою [Текст] / V. Budashko, V. Shevchenko // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). – 2019. – V. 9 (49). – P. 38-43. Режим доступу: \WWW/ URL: https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/EESA_september_part_3.pdf. – 5.11.2019 р. – Загол. з екрану.
 11. LEROY SOMER Marine Solutions/Proven solutions for Marine applications Propulsion & Power Grid 6097 en - 2022.06 / а. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/6097_en.pdf
 12. Budashko, V. V. Increasing the efficiency of hybrid propulsion complexes for multipurpose vessels by different criteria of the energy management strategies [Text] / V. V. Budashko // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). – 2019. – V. 10 (50). – P. 53-62. Режим доступу: \WWW/ URL: https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/EESA_1050_oct_2019_part_4.pdf. – 5.11.2019 р. – Загол. з екрану.
 13. Hvozdeva, I. Problems of Improving the Diagnostic Systems of Marine Diesel Generator Sets [Text] / I. Hvozdeva, V. Myrhorod, V. Budashko, V. Shevchenko // 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske, 25-29 Feb. 2020, Ukraine: IEEE. – P. 350-354. Doi: [10.1109/TCSET49122.2020.235453](https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235453).
 14. Budashko, V. Thrusters physical model formalization with regard to situational and identification factors of motion modes [Text] / V. Budashko // International journal of energy and environment. – 2020. – V. 14. – P. 5-8, ISSN: 2308-1007. Doi: [10.46300/91012.2020.14.2](https://doi.org/10.46300/91012.2020.14.2).
 15. Budashko, V. Thrusters physical model formalization with regard to situational and identification factors of motion modes [Text] / V. Budashko // 2020 International Conference on Electrical,

- Communication, and Computer Engineering (ICECCE), Istanbul, 12-13 June 2020, Turkey: IEEE. Pp. 1-6. Doi: [10.1109/ICECCE49384.2020.9179301](https://doi.org/10.1109/ICECCE49384.2020.9179301).
16. Myrhorod, V. Multi-parameter Diagnostic Model of the Technical Conditions Changes of Ship Diesel Generator Sets [Text] / V. Myrhorod, I. Hvozdeva, V. Budashko // 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP), Kremenchuk, 21-25 Sept. 2020, Ukraine: IEEE. Pp. 1-5. Doi: [10.1109/PAEP49887.2020.9240905](https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240905).
 17. SIEMENS Low Voltage Engineering manual Version 6.7 – June 2020, Supplement to Catalogs D 11 and D 21.3., 2020. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/185/83180185/att_1026522/v1/G130_G150_S120_S150_ext_config_man_0620_en-US.pdf
 18. Будашко, В. В. Високовольтні технології в морській електроінженерії: монографія [Текст] / В. В. Будашко, О. М. Піпченко, В. В. Пономаренко, В. А. Шевченко // Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 398 с. ISBN 978-617-7857-02-9.
 19. Budashko, V. Power plant, propulsion complex and control system of autonomous dual-purpose underwater vehicle [Text] / V.V. Budashko // 15th International Naval Engineering Conference and Exhibition (INEC/iSCSS 2020), 5-9 October 2020, Virtual online conference. Pp. 1-9. Available at: <https://events.rdmobile.com/Lists/Details/1071014>.
 20. Budashko, V. Main problems of creating energy-efficient positioning systems for multipurpose sea vessels [Text] / V. Budashko, T. Obniavko, O. Onishchenko, Y. Dovidenko, D. Ungarov // 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), 20-23 Oct. 2020, KYIV, Ukraine: IEEE. Pp. 106-109. Doi: [10.1109/MSNMC50359.2020.9255514](https://doi.org/10.1109/MSNMC50359.2020.9255514).
 21. Budashko, V. The synthesis of control system to synchronize ship generator assemblies [Text] / V. Budashko, V. Shevchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – V. 1. – № 2(109). – P. 45-63. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2021.225517](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225517).
 22. Budashko, V. Solving a task of coordinated control over a ship automated electric power system under a changing load [Text] / V. Budashko, V. Shevchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – V. 2. – № 2(110). – P. 54-70. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2021.229033](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229033).
 23. Annex 1 Resolution MEPC.328(76)., [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/eedi/MEPC.328\(76\).pdf](https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/eedi/MEPC.328(76).pdf)
 24. Будашко, В. В. Координоване управління судновою автоматизованою електроенергетичною системою при змінах навантаження [Текст] / В. В. Будашко, В. А. Шевченко, С. О. Зеленюк, Д. І. Марфела // Results of modern scientific research and development Proceedings of the 7th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Madrid, Spain. 2021. Pp. 109-116. Режим доступу: \WWW/ URL: <https://sci-conf.com.ua/vii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-results-of-modern-scientific-research-and-development-19-21-sentyabrya-2021-goda-madrid-ispaniya-arhiv/>. – 21.09.2021 р. – Загол. з екрану.
 25. Гвоздева, І. М. Двовимірне сингулярне розкладання компонент часових рядів [Текст] / І. М. Гвоздева, В. Ф. Миргород, В. В. Будашко // Прикладні питання математичного моделювання. – 2021. – Т. 4 (№ 2.1). – С. 66-75. – Херсон: ХНТУ. ISSN 2618-0332. Doi: [10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.2-1.6](https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.2-1.6). Режим доступу: \WWW/ URL: <https://ojs.kntu.net.ua/index.php/aqmm/issue/download/7/6>. – 21.09.2021 р. – Загол. з екрану.
 26. Гвоздева, І. М. Двовимірне сингулярне розкладання компонент часових рядів / І. М. Гвоздева, В. Ф. Миргород, В. В. Будашко // Матеріали XXII Міжнародної конференції з математичного моделювання (МКММ-2021), 13-17 вересня 2021 р., м. Херсон. – 2021. – Херсон: ХНТУ. – С. 30. Режим доступу: \WWW/ URL: <http://surl.li/agrpi> – 21.09.2021 р. – Загол. з екрану.
 27. Budashko, V. Diagnosis of the Technical Condition of High-Tech Complexes by Probabilistic Methods [Text] / V. Budashko, I. Hvozdeva, V. Shevchenko, V. Myrhorod, A. Sandler, O. Glazeva // 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske, 22-26 Feb. 2022, Ukraine: IEEE TCSET 2022. – P. 7-14.
 28. Budashko, V. Optimization of the control system for an electric power system operating on a constant power hyperbole [Text] / V. Budashko, A. Sandler, V. Shevchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – V. 1. – № 8(115). – P. 6-17. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2022.252172](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252172).
 29. Annex 9 Resolution MEPC.364(79)., [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

- [https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/eedi/9_MEPC.79\(15\).pdf](https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/eedi/9_MEPC.79(15).pdf)
30. Budashko, V. V. Prospektive globale wissenschaftliche Trends: Modern technologies and concepts of researching for ship power plants of combined propulsion complexes: Monograph [Text] / V.V. Budashko // ScientificWorld-NetAkhatAV Lußstr 13, Karlsruhe, Germany in conjunction with Institute «SE&E», 2021. – Book 7. – Part 7. – 152 p. ISBN 978-3-949059-43-8 Doi: [10.30890/2709-2313.2021-07-07](https://doi.org/10.30890/2709-2313.2021-07-07).
 31. Budashko, V. Diagnosis of the Technical Condition of High-tech Complexes by Probabilistic Methods [Text] / V. Budashko, A. Sandler, V. Shevchenko // International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav). – 2022. – V. 16. – № 1. – P. 105-111. ISSN 2083-6473, ISSN 2083-6481 (electronic version). Doi: [10.12716/1001.16.01.11](https://doi.org/10.12716/1001.16.01.11).
 32. Миргород, В.Ф. Апроксимаційно–марківські моделі зміни параметрів технічного стану енергетичних установок / В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева, В.В. Будашко // Тези доповідей 27 Міжнародного конгресу двигунобудівників [Збірка тез (5-10 вересня 2019 р.)]. – Харків: НАУ «ХАІ», 2022. – С. 54. Режим доступу: \WWW/ URL: https://drive.google.com/file/d/1b_3rP4XqCNBXd998KagqKTCxE8KP3C9z/view?usp=sharing. – 28.09.2022 р. – Загол. з екрану.
 33. Myrhorod, V. Approximation-markov models of changes in the technical condition parameters of power and energy installations in long-term operation [Text] / Myrhorod, V., Gvozdeva, I., Budashko, V. // Aerospace technic and technology. – 2022. – V. 4 (I.2). – P. 73-79. Doi: [10.32620/aktt.2022.4sup2.11](https://doi.org/10.32620/aktt.2022.4sup2.11).
 34. Будашко, В. В. Захист причипних артилерійських гармат [Текст] / В. В. Будашко, А. К. Сандлер, А. А. Шевченко, Д. І. Марфела // Патент UA на корисну модель № 150836, 2022. Режим доступу: \WWW/ URL: <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search>. – 28.09.2022 р. – Загол. з екрану.
 35. MAN, Energy Solutions / Shaft generator for low-speed main engines., [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/tools/5510-0003-03ppr.pdf?sfvrsn=b570e4e5_12
 36. Sandler, A. Improving tools for diagnosing technical condition of ship electric power installations [Text] / A. Sandler, V. Budashko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – V. 5. – № 5(119). – P. 25-33. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2022.266267](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266267).
 37. Budashko, V., Sandler, A., & Khniunin, S. (2023). Improving the method of linear-quadratic control over a physical model of vessel with azimuthal thrusters. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(2 (121), 49–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273934>.
 38. Будашко, В. В. Волоконно-оптичний інклінометр [Текст] / А. К. Сандлер, В. В. Будашко // Патент UA на корисну модель № 153064, 2023, МПК (2023.1) G01M 11/00 G01C 9/00; Заявник та володар патенту Національний університет "Одеська морська академія". – u202203784. – заявл. 11.10.2022; опубл. 17.05.2023, бюл. № 20/2023. – 3 с. Режим доступу: \WWW/ URL: <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search>. – 28.05.2023 р. – Загол. з екрану.
 39. Sandler, A., Budashko, V., Khniunin, S., Bogach, V. (2023). Improving the mathematical model of a fiber-optic inclinometer for vibration diagnostics of elements in the propulsion system with sliding bearings. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Applied physics, 5 (5(125)), 24-31. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289773>.
 40. Elizabeth Lindstada, Torstein Ingebrigtsen. Potential power setups, fuels and hull designs capable of satisfying future EEDI requirements., [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920918302578>

Швидкий Олександр Сергійович

магістр, національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса;

e-mail: shvydkyio@gmail.com

Науковий керівник Будашко Віталій Віталійович

д.т.н., доцент кафедри електричної інженерії національного університету «Одеська морська академія», м. Одеса.