

Висновки. На думку авторів, запропонована інтелектуальна система управління має цілу низку переваг перед типовими САР з ПІ – регуляторами. Інтелектуальний контролер здатний до роботи зі складними об'єктами управління та адаптації до можливих невизначених ситуацій у процесах експлуатації в умовах змін навантаження СГД та погодних умов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Heat Exchanger and Marine Cooling Systems // <https://www.marine-power.net>
2. Mykhailenko V.S. Analysis of Traditional and Neuro Fuzzy Adaptive System of Controlling the Primary Steam Temperature in the Direct Flow Steam Generators in Thermal Power Stations / V.S. Mikhailenko, R.Yu. Kharchenko. // Automatic Control and Computer Sciences. – 2014. – Vol. 48, № 6. – P. 334 – 343.
3. Шостак В.П. Системи суднових дизельних установок. Навчальний посібник – Миколаїв:НУК, 2021 - 128 с.

Жакота Олександр Вікторович

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

Науковий керівник Петрушин Віктор Сергійович

*д.т.н., професор кафедри електричної інженерії та електроніки
національного університету «Одеська морська академія», м. Одеса.*

e-mail: victor_petrushin@ukr.net

УДК 629.56.064.5+620.9+629.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Артюх В.О., Бічев В.І.

Національний університет «Одеська морська академія»

Вітрогенератор, також відомий як вітряна турбіна або вітряний генератор - це пристрій, який перетворює кінетичну енергію вітру в електричну. Ця технологія відновлюваної енергії набула популярності як чиста та стійка альтернатива традиційним джерелам енергії.

Під якістю електроенергії розуміють надійність і характеристику електроенергії, яка постачається споживачам. Для забезпечення ефективної роботи пристроїв і обладнання вкрай важливо, щоб система постачання електроенергії відповідала певним стандартам.

Дослідження якості електричної енергії вітряного генератора на судні передбачає оцінку різних аспектів продуктивності системи та її впливу на електричну мережу судна. Основні фактори, які слід враховувати під час дослідження це:

1. Стабільність напруги та частоти: наскільки добре генератор інтегрується в електричну систему судна та його здатність підтримувати стабільну вихідну потужність;
2. Гармонійні створення: вміст гармонік у згенерованому електричному сигналі;
3. Коефіцієнт потужності: низький коефіцієнт потужності може призвести до неефективного використання електроенергії та вплинути на її загальну якість;
4. Перехідна характеристика: реакція вітрогенератора на раптові зміни навантаження або умов навколишнього середовища;

5. Ефективність: загальна ефективність вітрогенератора, включаючи ефективність турбіни, генератора та компонентів перетворення електроенергії. Врахування як механічних, так і електричних втрат;

6. Реєстрація та моніторинг даних: надійна система реєстрації даних і моніторингу для постійного відстеження та аналізу ефективності вітрогенератора з плином часу.

При проектуванні таких систем перспективним є використання комп'ютерних моделей. Використання такої моделі дозволяє значно скоротити стадії стендових випробувань і тим самим здешевити її ведення в експлуатацію [1-5].

Комп'ютерне моделювання передбачає використання комп'ютерів для створення та імітації моделей реальних систем. Воно часто включає математичні моделі, але поширюється на більш складне моделювання [6-11].

Спілкування з експертами, відновлюваних джерел енергії та морських технологій допоможе отримати цінну інформацію для нашого дослідження. Польові випробування та безперервний моніторинг роботи вітряного генератора на реальному судні можуть надати практичні дані для комплексної оцінки, але в даний момент можемо зробити лише моделювання системи [12-15].

Спираючись публікації [16-20], було створено модель ВЕУ у програмному застосунку Matlab-Simulink за допомогою вбудованих бібліотек та були отримані певні дані про якість електроенергії, яку виробляє вітрогенератор [21-24].

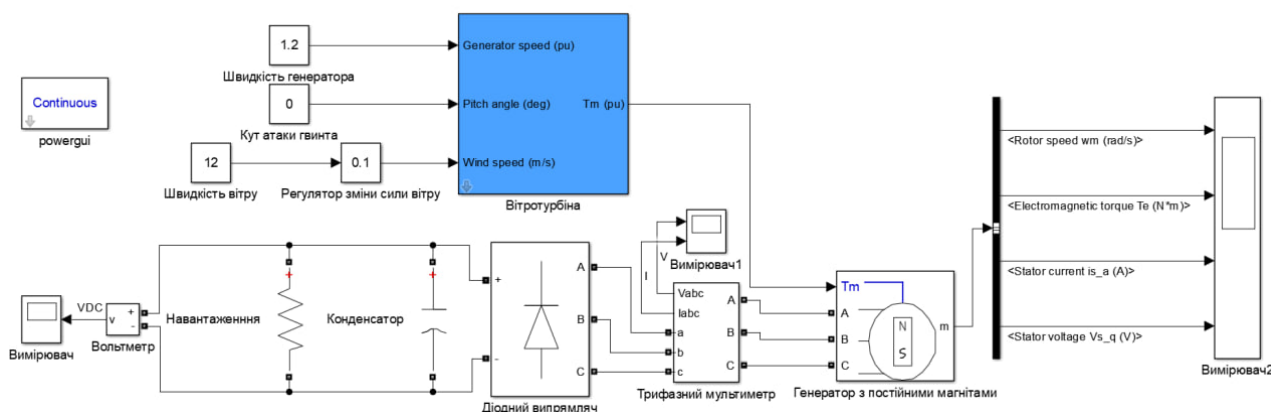


Рисунок 1 – Схема ВЕУ у Simulink при певному куті атаки лопатей

(Powergui - блок для задання параметрів розрахунку; швидкість генератора - блок для задання номінальної частоти обертання генератора в умовних одиницях; кут атаки гвинта – блок для задання кута атаки лопаті; швидкість вітру - блок для задання швидкості вітру; регулятор зміни сили вітру - блок для регулювання швидкості вітру; вітрогенератор - блок для симуляції механічної частини вітрогенератора; генератор з постійними магнітами - блок для симуляції генератора електроенергії; трифазний мультиметр - блок служить для вимірювання напруги та частоти; діодний випрямляч - блок для випрямлення напруги; конденсатор - блок для згладжування випрямленої напруги; навантаження - блок грає роль навантаження; вольтметр - блок служить для вимірювання випрямленої напруги; вимірювач - блоки для виводу графіків)

Таблиця 1- Вхідні параметри моделі

$P_{\text{ген}}, \text{кВт}$	$V_{\text{вітер}}, \text{м/с}$	$\beta_{\text{гвинта}}, \text{град}$	$\text{RPM}_{\text{ген}}, \text{в.о.}$	$R_{\text{нав}}, \text{Ом}$
7	12	0	1.2	1000

де $P_{\text{ген}}$ - потужність генератора;

$V_{\text{вітер}}$ - швидкість вітру;
 $\beta_{\text{гвинта}}$ - кут атаки гвинта;
 $\text{RPM}_{\text{ген}}$ - частота обертання генератора в відносних одиницях;
 $R_{\text{нав}}$ - опір навантаження.

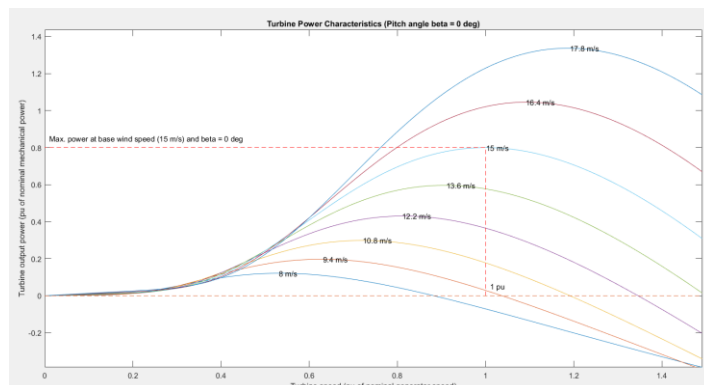


Рисунок 2 – Потужність турбіни у відносних одиницях ($\beta=0$) при відповідних значеннях швидкості вітру (*Turbine output power* - вихідна потужність турбіни; *Turbine speed* - номінальна швидкість турбіни)

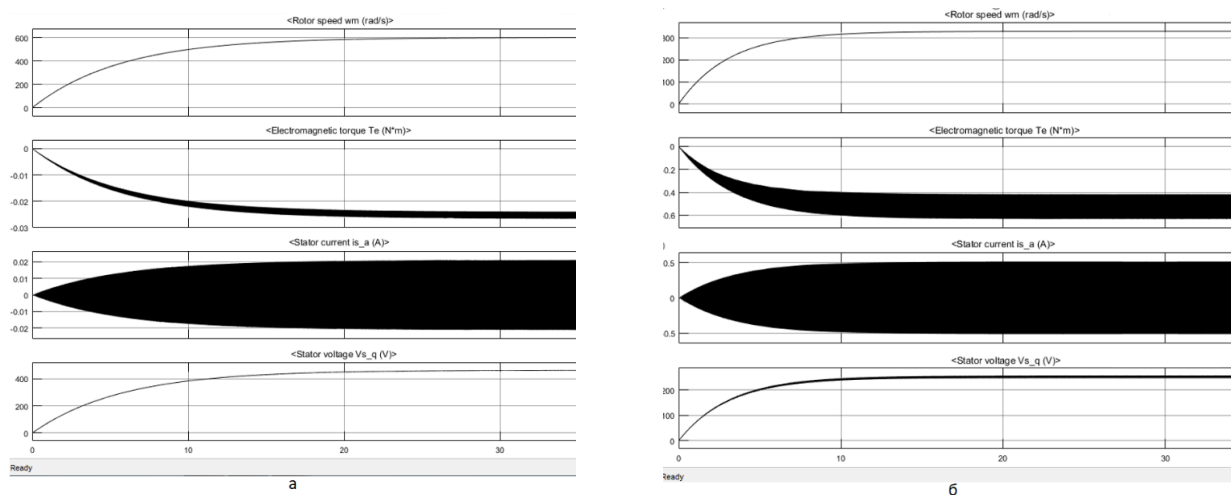


Рисунок 3 – Параметри генератора: а - без навантаження; б - під навантаженням

де: Rotor speed - швидкість ротора; Electromagnetic torque - електромагнітний момент; Stator current - струм статора; Stator voltage - напруга статора.

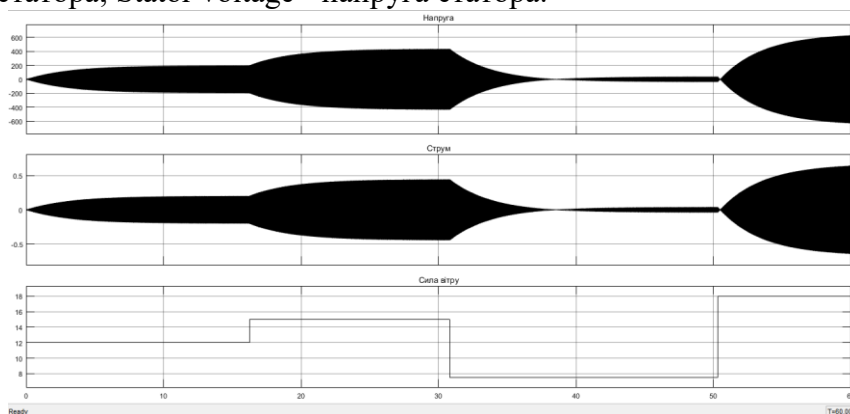


Рисунок 5 – Залежність вихідної напруги та струму від швидкості вітру (при $\beta=0$)

де Напруга - напруга виміряна за допомогою трифазного мультиметра;
Струм - струм виміряний за допомогою трифазного мультиметра;
Сила вітру - швидкість вітру в момент часу.

Висновки. Як видно із результатів моделювання якості електроенергії, яку виробляє вітрогенератор, дуже низька та не придатна для використання в судовій енергосистемі за умов не стабільності вихідних параметрів генератора, які прямо залежать від швидкості вітра. Модель була побудована у спрощеному вигляді для наглядної демонстрації [25].

Для можливості використання електроенергії виробленої вітрогенератором її потрібно перетворювати. Отриману «брудну» синусоїдальну напругу звести до напруги яка відповідає судовій системі електроживлення [26].

Якщо порівняти енергію, яку в теорії може виробляти суднова вітроелектростанція, та витрати на її обладнання і обслуговування, можна дійти до висновків, що дана система не є доцільною, тому що потребує більше витрат ніж виробляє електроенергії [27-35].

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. – 136p. [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 p. – 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 p. – Загол. з екрану. Scopus, Web of Science.
4. Будашко, В. В. Підвищення ефективності функціонування судових 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 p. – 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 p. – Загол. з екрану.
6. Thomas Ackerman, "Wind Power In Power Systems", Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, Edition: John Wiley and sons, Ltd, 2005.
7. Будашко, В.В. Підвищення ефективності гібридних судових 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 p. – 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 p. – 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. 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.
12. 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).
13. 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).
14. 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).
15. 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).
16. 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.
17. 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>.
18. 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).
19. 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).
20. 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).
21. 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.
22. 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-](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.
23. 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.
24. 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.
25. Modeling and Simulation of Windgenerator with Fixed Speed Wind Turbine Under Matlab-Simulink
26. Roshen T. Ahmad, Mahdi A. Abdul-Hussain, Modeling and Simulation of Wind Turbine Generator Using Matlab-Simulink
27. 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).
28. 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).
29. 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).
30. 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).
31. 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.
32. 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).
33. 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>.
34. 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.
35. 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>.

Артюх Владислав Олексійович

магістр, Національний університет "Одеська морська академія", м. Одеса;

e-mail: artiukh27@gmail.com

Бічев Владислав Іванович

магістр, Національний університет "Одеська морська академія", м. Одеса;

e-mail: vbichev61@gmail.com

Науковий керівник Будашко Віталій Віталійович

д.т.н., директор ННІ А та ЕМ національного університету "Одеська морська академія", м. Одеса;

e-mail: bvv@te.net.ua