



Analysis of the Main Causes of Electricity Quality Violations on Ships

Daniil Dmukhailov and Vitalii Budashko

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

December 23, 2024

УДК 629.56.064.5+620.9+629.5

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИЧИН ПОРУШЕНЬ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА СУДАХ

Дмухайлов Д. Д. здобувач другого рівня вищої освіти
В. В. Будашко, д.т.н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: у статті розглядається питання якості електроенергії на сучасних комерційних судах з автономними електроенергетичними системами (СЕЕС). З розвитком технологій виробництва та розподілу електроенергії підвищилися вимоги до її якості, що впливає на надійність і безпеку роботи суден. Автори аналізують проблеми, пов'язані з погіршенням якості електроенергії, такі як гармонічні спотворення, помилки в проектуванні СЕЕС і недостатній моніторинг. Описуються наслідки цих проблем, зокрема аварія на борту RMS Queen Mary 2. Пропонуються рішення, включаючи розробку стандартів, встановлення систем моніторингу та використання сучасних фільтрів.

Ключові слова: якість електроенергії, автономні електроенергетичні системи, комерційні судна, гармонічні спотворення, активні фільтри, системи моніторингу, частотно-регульовані приводи, проектування СЕЕС, безпека судна, аварія RMS Queen Mary 2.

ANALYSIS OF THE MAIN CAUSES OF ELECTRICITY QUALITY VIOLATIONS ON SHIPS

D. Dmukhailov, second-level graduate of higher education
V. Budashko, Dr. of Science, Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: the article examines the issue of power quality on modern commercial vessels with autonomous electric power systems (SEPS). With the development of technologies for the production and distribution of electricity, the requirements for its quality have increased, which affects the reliability and safety of the vessels. The authors analyze the problems related to the deterioration of the power quality, such as harmonic distortions, errors in the design of the SEPS, and insufficient monitoring. The consequences of these problems are described, including the accident on board RMS Queen Mary 2. Solutions are proposed, including the development of standards, the installation of monitoring systems and the use of modern filters.

Keywords: power quality, autonomous power systems, commercial ships, harmonic distortion, active filters, monitoring systems, frequency-controlled drives, SEPS design, ship safety, RMS Queen Mary 2 accident.

Сучасні великогабаритні комерційні судна обладнані автономними електроенергетичними системами (СЕЕС) великої потужності [1]. В наслідок впровадження в СЕЕС нових методів виробництва та розподілу електроенергії важливість якості електроенергії на судах зростає, що призвело до появи нових завдань для проектувальників, членів екіпажу та судових класифікаційних товариств [2]. Тому, питання, пов'язані із якістю електроенергії та її впливу на безпеку судна, є актуальними та такими, що потребують додаткових досліджень [3].

Одним із яскравих прикладів наслідків використання технологій покращення якості електричної енергії стала подія на борту *RMS Queen Mary 2* у вересні 2010 року [4, 5], яка пов'язана з відмовою конденсатора у кормовому приміщенні фільтра гармонік. Ця аварія виявила серйозні проблеми якості електроенергії на судах та необхідність покращення правил та процедур суднових класифікаційних товариств [6].

Дослідження, які проводяться, підтверджують, що якість електроенергії на суднах є критичною для забезпечення надійності та безпеки СЕЕС [7-11]. Низька якість електроенергії може призвести до серйозних збоїв у роботі обладнання, включаючи перетворювачі частоти та електродвигуни, що, у свою чергу, може спричинити аварії та аварійні ситуації на судні. Крім того, сучасні судна стають дедалі більш залежними від складних електричних систем, що робить їх уразливими до порушень якості електроенергії [12, 13].

Основними причинами, які призводять до порушень якості електроенергії на суднах, є:

– Використання частотно-регульованих приводів для живлення двигунів створює нелінійні навантаження, що генерують гармоніки, які спотворюють форми струму та напруги, що призводить до погіршення якості електроенергії. Такі гармоніки можуть викликати серйозні проблеми, зокрема підвищене тепловиділення в обмотках двигунів та трансформаторів, зниження ефективності роботи обладнання, підвищений знос і скорочення терміну служби електрообладнання [14-18]. Крім того, гармонічні викривлення можуть негативно впливати на роботу систем автоматики та навігаційного обладнання, що є критично важливим для безпеки судноплавства. Зниження якості електроенергії також може призводити до коливань напруги, що впливає на чутливі електронні прилади на борту суден, створюючи загрозу для їх коректної роботи. Усе це вимагає впровадження рішень, таких як активні фільтри потужності (SAPF), які здатні ефективно компенсувати гармоніки та забезпечувати стабільну і якісну електроенергію для суднових систем [19];

– Помилки в проектуванні СЕЕС та неадекватний вибір компонентів можуть призвести до зниження якості електроенергії. Наприклад, недостатня кількість фільтрів гармонік може не справлятися з наявними спотвореннями. Також неправильний вибір потужності генераторів може призвести до нестабільності напруги та частоти, особливо при змінних навантаженнях. Важливим фактором є узгодженість між джерелами живлення та споживачами, що може викликати перевантаження або неефективну роботу системи. Неправильне розташування та підключення кабельних трас, а також відсутність належної ізоляції можуть спричинити електромагнітні завади, що погіршують якість електроенергії. Крім того, зовнішні фактори, такі як погодні умови або коливання частоти мережі на березі при підключенні до берегового живлення, також можуть впливати на стабільність електропостачання на судні [20-22];

– Недостатній моніторинг та відсутність систем оцінки якості електроенергії можуть ускладнити виявлення та виправлення проблем. Крім того, вплив нестабільних навантажень, таких як великі електродвигуни або обладнання з перетворювачами частоти, може призводити до коливань напруги, гармонічних спотворень та інших порушень якості електроенергії. На суднах ці порушення можуть стати критичними, оскільки стабільне енергопостачання є важливим для безпеки, ефективної роботи систем навігації, комунікацій та життєзабезпечення. Відсутність належної системи моніторингу якості електроенергії та своєчасного реагування на виявлені проблеми може призвести до збільшення витрат на ремонт обладнання та втрат енергоефективності, а також підвищити ризик відмов критичних систем судна [23, 24].

Запропоновані шляхи для покращення якості електроенергії.

Для вирішення проблем, пов'язаних з якістю електроенергії на судах, необхідно розробити низку рекомендацій:

- Створення універсальних стандартів якості електроенергії: необхідно розробити та впровадити стандарти, які враховують специфічні умови роботи суден та регулюють параметри якості електроенергії та їх допустимі межі.
- Встановлення систем моніторингу: використання сучасного обладнання для постійного контролю якості електроенергії допоможе оперативно виявляти та усувати проблеми.
- Використання сучасних фільтрів та пристроїв: досліджувати та впроваджувати нові технології, такі як активні фільтри та системи корекції потужності, які можуть більш ефективно зменшувати гармонійні спотворення.
- Розробка рекомендацій щодо проектування систем: включення заходів щодо пом'якшення гармонік на стадії проектування суднових енергетичних систем.
- Проведення регулярних перевірок: регулярні перевірки та тестування систем дозволять заздалегідь виявляти потенційні несправності та мінімізувати ризики.
- Навчання екіпажу: навчання членів екіпажу новим стандартам та технологіям допоможе підвищити кваліфікацію та готовність до управління складними системами.

Узагальнюючи викладене, можна стверджувати, що якість електроенергії на сучасних комерційних судах є критично важливим фактором для забезпечення надійності та безпеки автономних електроенергетичних систем. Виявлені проблеми, такі як гармонічні спотворення, помилки в проектуванні та недостатній моніторинг, можуть призвести до серйозних збоїв у роботі обладнання і загрожувати безпеці судноплавства. Подія на борту RMS Queen Mary 2 яскраво ілюструє необхідність термінового вдосконалення існуючих стандартів і процедур.

Для підвищення якості електроенергії важливо впроваджувати нові технології, стандарти та системи моніторингу, а також забезпечити навчання екіпажу. Запропоновані рішення, такі як створення універсальних стандартів, впровадження активних фільтрів потужності та проведення регулярних перевірок, можуть значно покращити ситуацію. Тільки комплексний підхід до вирішення цих проблем дозволить зменшити ризики, пов'язані з електроенергією на судах, та забезпечити безпечну і ефективну експлуатацію морських суден у майбутньому.

Крім того, для досягнення стійкого розвитку морського транспорту необхідно активніше залучати наукове співтовариство до досліджень у цій галузі. Це дозволить розробити інноваційні рішення, спрямовані на підвищення енергоефективності та екологічності судноплавства, що є актуальними в умовах сучасних екологічних викликів. Впровадження цих заходів не тільки сприятиме підвищенню якості електроенергії, але й забезпечить безпечніші умови для всіх учасників морських перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ma, S. Effects of adverse sea conditions on the dynamic performance of a cruise ship integrated power system / S. Ma, Y. Ding, G. Liu, C. Sui, L. Xiang // *Ocean Engineering*. – 2024. – V. 310, Part 1. – 118715. ISSN 0029-8018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118715>.
2. 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>.
3. Budashko, V., Sandler, A., Khniunin, S., & Bogach, V. (2024). Design of the predictive management and control system for combined propulsion complex. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(2 (131)), 90–102. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313627>.

4. Frković, L. Shore-to-ship: Enabling the electrification sustainability of maritime transport with the nexus between berthed cruise ships and renewables in the isolated energy systems / L. Frković, B. Čosić, A. Falkoni, T. Pukšec, N. Vladimir // *Ocean Engineering*. – V. 302. – 117537. ISSN 0029-8018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117537>.
5. 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).
6. 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).
7. Atiz, A. Integrating renewable energy technologies in green ships for mobile hydrogen, electricity, and freshwater generation // A. Atiz, M. Erden, H. Karakilcik, M. Karakilcik // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2024. – V. 89. – P. 1368-1382. ISSN 0360-3199. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.09.302>.
8. Rodrigues, T.A. Impact of electric propulsion on the electric power quality of vessels // T.A. Rodrigues, G.S. Neves, L.C.S. Gouveia, M.A. Abi-Ramia, M.Z. Fortes, S. Gomes // *Electric Power Systems Research*. – 2018. – V. 155. – P. 350-362. ISSN 0378-7796. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.11.006>.
9. 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).
10. 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).
11. Mindykowski, J. Problems of power quality in the wake of ship technology development / Janusz Mindykowski, Tomasz Tarasiuk // *Ocean Engineering*. – 2015. – V. 107. – P. 108-117. ISSN 0029-8018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.07.036>.
12. Liang, Q. A review of maritime equipment prognostics health management from a classification society perspective / Q. Liang, K. E. Knutsen, E. Vanem, V. Æsøy, H. Zhang // *Ocean Engineering*. – 2024. – V. 301. – 117619. ISSN 0029-8018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117619>.
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. Guerrero-Rodríguez, N.F. Modelling real non-linear loads for a Controller Hardware-in-the-Loop configuration to evaluate a Shunt Active Power Filter / N.F. Guerrero-Rodríguez, V. Nuñez-Ramírez, R. O. Batista-Jorge, R. Mercado-Ravelo, F.A. Ramírez-Rivera, J. A. Ferreira, E. Reyes-Archundia // *Energy Reports*. – 2024. – V. 12. – P.1947-1976. ISSN 2352-4847. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.07.056>.
15. 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).
16. 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).
17. Hänninen, Satu K. Development of vertical second harmonic wave loads of a large cruise ship in short and steep head waves / S. K. Hänninen, T. Mikkola, J. Matusiak // *Ocean Engineering*. – 2016. – V. 118. – P. 17-27. ISSN 0029-8018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.03.052>.

18. Shaik Abdul Gafoor, Om Prakash Mahela. Power quality assessment and event detection in hybrid power system / A. G. Shaik, O. P. Mahela // *Electric Power Systems Research*. – 2018. – V. 161 – P. 26-44. ISSN 0378-7796. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.03.026>.
19. 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).
20. Budashko, V. V. Ship's power plants of combined propulsion complexes: concepts, technologies, researching: Monograph / Budashko V. V.. – Odessa: NU “OMA”, 2020. – 136 p. ISBN 978-617-7857-01-2.
21. 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.
22. 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).
23. 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>.
24. V. Budashko, A. Sandler and O. Glazeva, "Improvement of the Predictive Control Method for the High-Level Controller," *2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv, Ukraine, 2024, pp. 294-297, Doi: <https://doi.org/10.1109/TCSET64720.2024.10755561>.