

## **НОВІТНІ СТАТИЧНІ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА МОРСЬКИХ СУДНАХ**

**Сущенко В. М.**

*Херсонська державна морська академія*

*Керівник: к.т.н., доц. Дощенко Г. Г.*

**Вступ.** У сучасному суднобудуванні та експлуатації морського транспорту важливе місце займає питання забезпечення надійного та ефективного електропостачання.

Традиційно основними джерелами електроенергії на суднах залишаються генераторні агрегати, серед яких найбільше поширення отримали дизель-генератори. Проте зростання екологічних вимог, підвищення цін на паливо та необхідність підвищення енергоефективності стимулюють пошук альтернативних рішень.

Останніми роками активно розвивається застосування статичних джерел електроенергії, які здатні як генерувати, так і накопичувати енергію. Використання акумуляторних батарей нового покоління, суперконденсаторів, сонячних батарей та паливних елементів відкриває перспективи зменшення витрат палива, зниження рівня шкідливих викидів та покращення маневрових характеристик суден. Особливої актуальності ці технології набувають у системах з електрорухом, які потребують стабільного та високоякісного енергопостачання.

Розвиток силової електроніки та сучасних матеріалів створив умови для впровадження таких джерел у практику морського транспорту. У статті розглядаються особливості різних типів статичних джерел, їх класифікація, переваги та перспективи застосування в судових енергетичних установках [1].

**Виклад основного матеріалу.** В останні роки на зарубіжних та вітчизняних суднах почали застосовувати статичні джерела та накопичувачі електроенергії.

Відносно низькі техніко-експлуатаційні характеристики традиційних акумуляторних батарей, такі як питома ємність, струм заряду-розряду, а також невелика кількість циклів заряду-розряду обмежували область їх застосування. Найбільшого поширення акумуляторні батареї знайшли для аварійного електропостачання судна та електростартерного запуску теплових двигунів.

Підвищення екологічних норм і зростання цін на паливо зумовлюють необхідність і доцільність пошуку для суден та морських об'єктів нових видів джерел електроенергії, які можна використовувати як основні, у тому числі для живлення судової системи електроруху.

Розвиток силової електроніки та поява електротехнічних матеріалів з високими питомими характеристиками в останні роки дозволили створити статичні джерела електропостачання нового покоління, які набувають поширення як на наземних об'єктах, так і на морських суднах, у тому числі з електрорухом.

До статичних джерел електропостачання нового покоління можна віднести: акумуляторні батареї на новій елементній базі, суперконденсатори, сонячні батареї, паливні елементи. Статичні джерела електропостачання можна розділити на дві групи – генеруючі та накопичувальні.

До генеруючих статичних джерел електропостачання відносяться джерела, що виробляють електричну енергію з інших видів енергій. Генеруючі джерела здатні безперервно працювати у генераторному режимі. До таких статичних джерел електропостачання відносять паливні елементи та сонячні батареї. До накопичувальних статичних джерел електропостачання відносяться джерела, які здатні накопичувати електричну енергію, поглинаючи її від інших джерел, з подальшою віддачею. До таких статичних джерел електропостачання відносять акумуляторні батареї та суперконденсатори [2].

Найбільш перспективними для застосування на суднах є акумуляторні батареї на новій елементній базі та суперконденсатори. Серед акумуляторних батарей на новій

елементній базі слід зазначити літійні (Li-Ion) батареї. Дані батареї мають найбільшу питому енергію, що запасється на одиницю маси. Цей тип акумуляторів дозволяє створювати джерела електроенергії з найменшою масою при рівній ємності. Срібно-цинкові акумуляторні батареї (Ag-Zn) мають найбільшу щільність енергії, що запасється на одиницю об'єму, що дозволяє створювати джерела енергії з найменшим займаним об'ємом при рівній ємності [3].

Для застосування на судах найперспективнішим типом акумуляторних батарей є батареї літій-іонного типу (Li-Ion), що випускаються у вигляді окремих елементів. Для досягнення необхідного значення напруги, електричної ємності напруги та електричної ємності акумуляторні групи збирають послідовно-паралельно.

Суперконденсатор є елементом з двома електродами, між якими розташовується електроліт. Суперконденсатори відрізняються від акумуляторних батарей значно вищими швидкостями заряду і розряду і більшим терміном служби. Суперконденсатори здатні поглинати і виділяти велику кількість електроенергії за короткий проміжок часу, тому їх доцільно використовувати у буферному режимі. Діапазон робочих температур суперконденсатора значно ширший, ніж аналогічний показник у акумуляторних батареях.

Суперконденсатори, на відміну від акумуляторних батарей, практично не застосовуються як основне джерело електроенергії на судах у зв'язку з тим, що вони мають значно гірші показники по питомій енергії, що запасється, та щільності запасеної енергії. Для збільшення потужності суперконденсаторні елементи об'єднують у модулі, модулі – у системи [4].

На принципі перетворення енергії сонячного світла на електричну енергію побудовано інший тип статичних джерел електропостачання нового покоління – сонячні батареї. Сонячні батареї випускаються як у вигляді окремих сонячних елементів, з'єднаних у сонячні модулі. Особливістю генеруючих статичних джерел електропостачання є те, що вони виробляють електричну енергію безпосередньо з хімічної чи світлової.

До теперішнього часу розроблено велику кількість різних паливних елементів, які можна класифікувати за різними ознаками: за реагентами та способами їх використання, іонними провідниками (електролітами), каталізаторами та температурами експлуатації.

На даний час найбільш активно розвиваються такі типи паливних елементів:

- з протоно-обмінною мембраною — твердополімерні;
- твердооксидні;
- на основі розплавів карбонатів.

Паливні елементи відрізняються від акумуляторних батарей тим, що для вироблення електроенергії в них потрібна постійна подача палива та окислювача для підтримки хімічної реакції. Паливні елементи мають такі переваги в порівнянні з тепловими двигунами, що обертаються: низький рівень шуму; відсутність шкідливих викидів; відсутність рухливих елементів; простота технічного обслуговування.

Кількість електроенергії, що виробляється, визначається тільки наявними запасами палива і окислювача і може значно перевищувати аналогічний параметр у акумуляторних батареях. Технічне обслуговування паливних елементів є відносно простим і вимагає великих витрат.

Традиційний судовий генераторний агрегат складається з приводного теплового двигуна та електричної машини, що працює у генераторному режимі. Генератор обертається із постійною частотою обертання, у результаті виробляє електроенергію з номінальним значенням частоти електричного струму. Напруга підтримується постійною за допомогою системи збудження генератора, що змінює величину струму в обмотці збудження. Функціональна схема традиційного генераторного агрегату представлена на рис. 1, а [3].

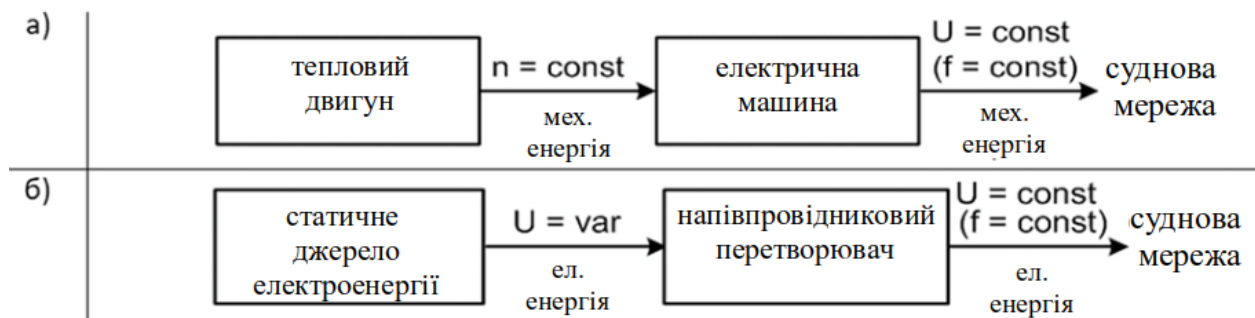


Рисунок 1 — Функціональні схеми суднових джерел електроенергії:  
а — генераторний агрегат; б — вентильне статичне джерело електропостачання

Для перетворення та стабілізації вихідних параметрів статичні джерела електропостачання застосовується напівпровідниковими перетворювачами (інвертор, перетворювач постійно-постійного струму), який перетворює електроенергію постійного струму на електроенергію змінного або постійного струму зі стабілізованими (номінальними) параметрами.

У сукупності статичне джерело електропостачання та напівпровідниковий перетворювач складають вентильне статичне джерело електроенергії. Функціональна схема вентильного статичного джерела електроенергії представлена рис. 1, б.

У разі застосування статичного джерела електропостачання, здатного запасати електроенергію, напівпровідниковий перетворювач виконується оборотним, здатним здійснити заряд акумуляторної батареї або конденсатора.

Акумуляторні батареї на новій елементній базі та суперконденсатори можуть використовуватись у двох режимах експлуатації:

- буферному, в якому статичне джерело працює паралельно з основними, поглинаючи надлишок електроенергії або заповнюючи нестачу електроенергії в судновій мережі;

- автономному, у якому статичне джерело функціонує як основне і єдине джерело для живлення загальносуднових приймачів та суднової системи електроруху.

Застосування статичних джерел електропостачання в буферному режимі дозволяє істотно знизити витрату палива в динамічних режимах експлуатації суднової системи електроруху, наприклад, на криголамах і суднах льодового плавання під час льоду або хвилювання.

Сонячні батареї та паливні елементи можуть працювати лише у режимі генерування електричної енергії. Акумулятори, паливні елементи та сонячні батареї мають обмежені максимальні струми навантаження. Для забезпечення пускових струмів електродвигунів, що запускаються прямим пуском, можуть застосовуватись суперконденсатори [5].

У буферному режимі працюють лише акумуляторні батареї та суперконденсатори. При роботі акумулятора та суперконденсатора в буферному режимі може відбуватися як заряд, так і розряд. У буферному режимі при розряді статичного джерела електропостачання характерна короткочасна робота - компенсація потужності на момент різкої зміни навантаження, наприклад під час роботи підйомно-транспортних машин, палубних механізмів і т.інше. Заряд статичного джерела електропостачання може здійснюватись короткочасно великим струмом, що характерно для суперконденсатора, або тривало обмеженим струмом (характерно для акумуляторних батарей). Для суперконденсатора такий буферний режим роботи здебільшого є основним.

У режимі паралельної роботи з генераторними агрегатами можуть експлуатуватись всі типи статичних джерел електропостачання. Питання синхронізації та розподілу навантаження вирішуються за допомогою напівпровідникових перетворювачів та систем автоматичного управління. Розподіл навантаження між паралельно працюючими

статичними джерелами електропостачання різних типів може відбуватися непропорційно до їх потужності і залежатиме від номінальної ємності джерела. В даний час паливні елементи та суперконденсатори працюють в основному в паралельному режимі з судновими генераторними агрегатами або іншими типами статичні джерела електропостачання.

Акумуляторні батареї мають обмежені струми заряду та розряду. Розмір струму заряду залежить від типу акумулятора. При нормальному режимі заряду акумуляторної батареї характерні обмежені струми заряду ( $0,2^0 \dots 0,5^0$  C). Заряд акумуляторної батареї струмом вище за номінальний ( $1^0$  C) вважається прискореним. У режимі прискореного заряду акумуляторів необхідно дотримуватись температурних режимів. Прискорений заряд акумуляторної батареї може негативно впливати на термін служби [5].

Суперконденсатори мають однаково високу ефективність при заряді і розряді і практично не мають обмежень по струмах розряду/заряду. Швидкість заряду суперконденсатора залежить від обмежувальної здатності по пропускаемому струму напівпровідникового перетворювача, спільно з яким суперконденсатор використовується.

**Висновки.** Статичні джерела електроенергії нового покоління, до яких належать акумуляторні батареї, суперконденсатори, сонячні батареї та паливні елементи, є перспективним напрямом розвитку суднових енергосистем.

Для забезпечення стабільної роботи в судовій мережі необхідне застосування напівпровідникових перетворювачів. Залежно від типу джерела можливі різні режими роботи: автономний, буферний або паралельний. При цьому буферний режим характерний лише для накопичувальних джерел, тоді як усі типи можуть застосовуватися в автономному та паралельному режимах.

Використання статичних джерел електропостачання дозволяє знизити витрати палива, підвищити енергоефективність та екологічну безпеку сучасних суден.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Hybrid power and propulsion systems for ships: Current status and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 156, March 2022, 111965.
2. Solar Energy-Powered Boats: State of the Art and Perspectives. Giangiacoimo Minak et al., *Journal of Marine Science and Engineering*, 2023, 11(8):1519.
3. Stability Analysis in a Direct-Current Shipboard Power System with Parallel Permanent Magnet Synchronous Generators and Supercapacitor Integration. Qinsheng Yun, Xiangjun Wang, Shenghan Wang, Wei Zhuang, Wanlu Zhu. *J. Mar. Sci. Eng.* 2024, 12(4), 578.
4. Assumptions of the optimisation of a ship power station use and application in a simulator. Witold Stanisławski, Grzegorz Grzeczka. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 2017/2018.
5. Marine Electrification is the Future: A Tugboat Case Study. Hayton, M. (2023).