

# До питання модернізації комплексу електропостачання-електроспоживання літальних апаратів

Бойко С. М., к.т.н., ORCID [0000-0001-9778-2202](https://orcid.org/0000-0001-9778-2202)

e-mail [boikosn2017@gmail.com](mailto:boikosn2017@gmail.com)

Шмельов Ю. М., к.т.н., ORCID [0000-0002-7344-3924](https://orcid.org/0000-0002-7344-3924)

e-mail [nml.nv.klknau@gmail.com](mailto:nml.nv.klknau@gmail.com)

Носач І. В., к.п.н., ORCID [0000-0001-6977-2541](https://orcid.org/0000-0001-6977-2541)

e-mail [nml.nv.klknau@gmail.com](mailto:nml.nv.klknau@gmail.com)

Кірюхіна М. В., ORCID [0000-0003-2155-8102](https://orcid.org/0000-0003-2155-8102)

e-mail [nml.nv.klknau@gmail.com](mailto:nml.nv.klknau@gmail.com)

Хебда А. С., ORCID [0000-0003-1917-9509](https://orcid.org/0000-0003-1917-9509)

e-mail [alenahebda@gmail.com](mailto:alenahebda@gmail.com)

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету  
Кременчук, Україна

*Реферат*—У статті розглянуто особливості побудови бортового комплексу електропостачання-електроспоживання літального апарату з використанням відновлюваних джерел енергії та силових установок на базі асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором, з можливістю їх використання у генераторному режимі. Встановлено, що впровадження відновлюваних джерел електричної енергії в системи бортового електропостачання літальних апаратів має місце, між тим перспективним та актуальним залишається питання впровадження їх в структуру первинного та аварійного живлення бортових комплексів літальних апаратів. Авторами запропоновано впровадження додаткових джерел електричної енергії в структуру основної бортової системи електропостачання на базі відновлюваних джерел енергії та додаткових, паралельно встановлених авіадвигунам, силових установок на базі електродвигунів, що в свою чергу підвищить надійність та енергетичну ефективність комплексу в цілому.

Бібл. 13, рис. 3.

*Ключові слова* — відновлювані джерела енергії; електропостачання; літальні апарати.

## I. ВСТУП

Висота польоту значно впливає на роботу всього комплексу електрообладнання та іншого бортового обладнання літального апарату (ЛА).

Зовнішні впливи, які діють на електротехнічні установки, можуть призвести до різного роду пошкоджень, наприклад, до обриву проводів і обмоток, особливо в місцях їх пайки, до появи тріщин і псування електроізоляційних матеріалів, прискореного зносу осей і підшипників у виконавчих електричних приладах, відхилень від нормальної роботи пружинних і рухомих елементів механічних комплексів [1].

Тактико-технічні вимоги, які пред'являються до устаткування ЛА, розроблені з урахуванням умов роботи електрообладнання та його призначення, включають наступні показники: надійність і безвідмовність роботи, вимоги щодо маси і габаритів, міц-

ність електрообладнання, хімічна стійкість електрообладнання, простота експлуатації та ремонту електроустаткування, економічні вимоги [2-5].

Від бортових генераторів живиться вся електроніка на борту ЛА, тому вихід з ладу генераторів призведе до знеструмлення всієї бортової техніки. На цей випадок у деяких типах ЛА виробники встановлюють висувні вітроенергетичні установки (ВВЕУ), які виробляють струм за рахунок того, що вітроколесо крутиться під дією зустрічного потоку повітря на лопаті, що дає можливість хоча б відстежувати критично важливі технічні показники стану бортового обладнання та систем ЛА [1, 2].

Наразі, ще одним із перспективних альтернативних джерел електричної енергії в умовах ЛА є сонячні батареї (СБ). Враховуючи, той факт, що СБ знайшли застосування в космонавтиці, де займають домінуюче положення серед інших джерел автономного електроживлення, можна говорити про подальше



активне їх провадження в системі первинного аварійного електроживлення бортових комплексів ЛА, як додаткових джерел електричної енергії [9 - 12].

Тому, зважаючи на актуальність проблеми підвищення надійності функціонування всього комплексу устаткування ЛА, з метою підвищення безпеки експлуатації, є доцільним розглянути питання модернізації бортового комплексу електропостачання-електроспоживання літальних апаратів з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [6 - 13].

*Метою роботи є розробка структури комбінованого бортового комплексу електропостачання-електроспоживання літальних апаратів з використанням відновлюваних джерел енергії та електромеханічних комплексів силової системи.*

## II. МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Враховуючи особливості сучасних ЛА, авторами рекомендується структура системи електропостачання ЛА (рис.1), яка містить: ВДЕ1 та ВДЕ2 – відновлювані джерела енергії, БАК – блок акумуляторних батарей, БКС АКБ – блок контролю стану акумуляторних батарей, СК – система керування, ЕД1 та ЕД2 – електромеханічні комплекси силової системи електродвигунів на базі асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором (АДКЗ), Г1 та Г2 – генератори, Д1 та Д2 – авіаційні двигуни внутрішнього згорання.

У сучасних ЛА структура електропостачання побудована таким чином, що основними джерелами електричної енергії (ЕЕ) є генератори, робота яких напряму пов'язана з роботою двигунів внутрішнього згорання (авіадвигунів). У разі виходу із ладу двигунів внутрішнього згорання, під час польоту система електропостачання ЛА живиться виключно від акумуляторних батарей, що є аварійним джерелом ЕЕ на борту ЛА. Між тим, аварійна система електропостачання на базі акумуляторних батарей (АКБ) призначена для живлення електростартерів та апаратури запалювання при автономному запуску авіадвигунів, життєво важливих споживачів під час польоту.

Термін служби є важливою характеристикою для акумуляторів і залежить від багатьох внутрішніх і зовнішніх факторів [8].

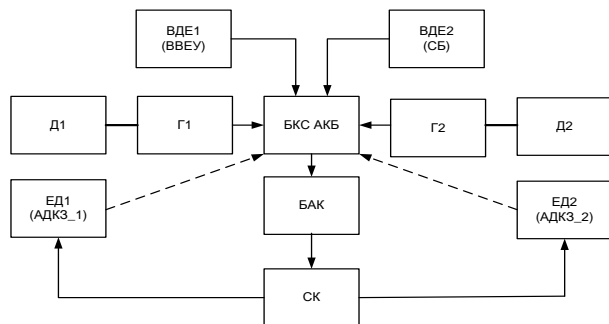


Рис. 1 Рекомендований варіант бортового комплексу електропостачання-електроспоживання літального апарату

Складні специфічні умови експлуатації обумовлюють необхідність контролю стану бортових акумуляторних батарей ЛА. Авторами запропоновано реалізувати контроль стану бортових акумуляторних батарей у блоці БКС АКБ (див. рис.1). Між тим, блок БКС АКБ буде виконувати ще й функції зарядного пристрою.

Авторами також пропонується крім авіадвигунів, що стандартно встановлюються на ЛА, паралельно встановлювати електродвигуни та, як додаткове джерело основної бортової системи електропостачання, відновлювальні джерела енергії.

Зважаючи на основні тенденції розвитку ЛА у світі на сьогоднішній день, серед основних показників автономних енергетичних систем ЛА є їх енергетична ефективність, надійність та масогабарити. Таким чином, розглянемо далі кожний показник окремо.

До основних факторів, що формують особливості застосування додаткових джерел електричної енергії малої потужності на борту ЛА, можна віднести мінімізацію масогабаритних характеристик і необхідність використання проміжного накопичувача енергії зі спеціалізованим зарядно-розрядним контролером.

За рекомендованим варіантом системи електропостачання ЛА (рис. 1) блок акумуляторних батарей має ємність, достатню для живлення в аварійній ситуації під час польоту не тільки відповідальних споживачів (засоби управління та навігації), а й живлення електромеханічних комплексів силової системи електродвигунів (ЕД).

З аналізу характеристик електродвигунів на рис. 2 можна зробити висновок про те, що асинхронний генератор у діапазоні потужності (5 ÷ 100) кВт приблизно в півтори рази легший за синхронний генератор, а також має менші габарити [5].

На рис. 3 показана залежність маси асинхронного і синхронного генераторів із пристроями збудження від потужності [5].

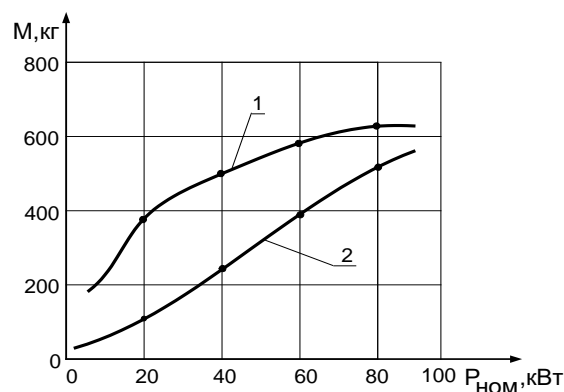


Рис. 2 Залежність маси асинхронного і синхронного генераторів від потужності: 1 – синхронний генератор, 2 – асинхронний генератор з короткозамкнутим ротором



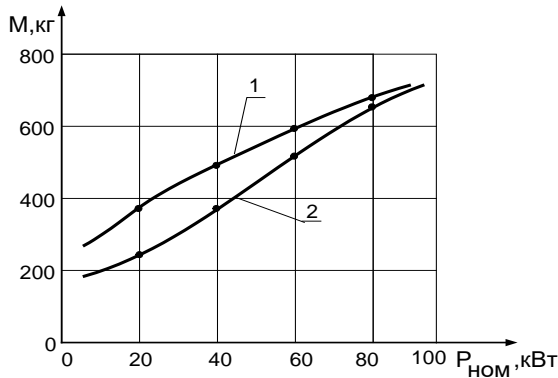


Рис. 3 Залежність маси асинхронного і синхронного генераторів від потужності із пристроями збудження: 1 – синхронний генератор, 2 – асинхронний генератор з короткозамкненим ротором

Хоча в генераторному режимі асинхронна машина з короткозамкненим ротором (АДКЗ) застосовується рідко через наявність зовнішньої крутоспадної характеристики і недосконалість конденсаторного збудження, але таке її застосування має ряд безперечних переваг перед синхронними генераторами [5], а саме: простота і надійність конструкції; малі маса та габарити; низька вартість; простота монтажу та обслуговування.

Враховуючи можливість ЕД, у тому числі і АДКЗ, працювати як у силовому, так і у генераторному режимі та оптимальні масогабаритні показники, АДКЗ є оптимальним варіантом для реалізації додаткових джерел електричної енергії малої потужності на борту ЛА.

Енергетична ефективність бортової системи електропостачання може бути виражена як відношення різниці між енергією, що вироблена  $W_{ps}$ , і втратами енергії в перетворюючих  $\Delta W_p$  та акумуляторних батареях  $\Delta W_b$ :

$$k_e = (W_{ps} - \Delta W_p - \Delta W_b) / W_{ps\_max} \quad (1)$$

З аналізу формули (1) видно, що енергетична ефективність бортової системи електропостачання-електроспоживання ЛА залежить від його структури та коефіцієнтів корисної дії перетворюючих пристроїв. Комплексний підхід до побудови системи електропостачання-електроспоживання ЛА сприятиме зменшенню втрат у розподільчій бортовій мережі [9-10].

Наступним розглянемо показник надійності, що тісно пов'язаний з резервуванням. Оскільки при загальному резервуванні відмова бортового електрообладнання ЛА настане при відмові всіх резервних і одного основного, то при роздільному резервуванні та при наявності резервних ланцюгів ймовірність відмови бортового електрообладнання ЛА буде дорівнювати добутку ймовірностей відмови основного  $Q_{осн}$  та резервного  $Q_{резі}$  ланцюгів:

$$Q(t) = Q_{осн}(t) \prod_{i=1}^m Q_{резі}(t) = \prod_{i=1}^{m+1} Q_i(t) \quad (2)$$

При роздільному резервуванні, якщо кожен основний елемент має  $m$  резервних елементів, ймовірність відмови бортового електрообладнання ЛА через відмову елементів  $i$ -го типу дорівнює добутку ймовірностей відмов  $i$ -го елемента  $q_i$  й усіх резервуючих його елементів, тобто:

$$Q_i(t) = \prod_{i=1}^{m+1} q_i = \prod_{i=1}^{m+1} (1 - p_i(t)) \quad (3)$$

де  $p_i(t)$  - ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента й усіх його резервних:

$$p_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^{m+1} (1 - p_i(t)) \quad (4)$$

Як видно з формул (2-4), при під'єднанні додаткових джерел електричної енергії до бортової системи електропостачання ЛА за допомогою резервних ланцюгів, ймовірність відмов бортового електрообладнання буде зменшуватися, що підвищить надійність системи електропостачання бортового комплексу.

При чому, ймовірність безвідмовної роботи системи електропостачання бортового комплексу при загальному резервуванні склала 0,98, а при схемі попереднього з'єднання 0,85.

Сучасна концепція розвитку ЛА висуває вимоги, пов'язані з мініатюризацією бортових систем енергетики та електроніки, а також вимоги до використання передових технологій виготовлення конструкції ЛА. Враховуючи застосування нанотехнологій у виробництві СБ, є перспектива збільшення ефективності їх функціонування і в той же час суттєвого зменшення їх собівартості. Актуальним також є впровадження, при можливості такої реалізації (в залежності від конструкції ЛА), як додаткові джерела основної бортової системи електропостачання висувні вітроенергетичні установки та використовувати у якості силових систем електродвигунів встановлювати асинхронні двигуни з коротко замкнутим ротором, з можливістю їх використання у генераторному режимі.

#### ВИСНОВКИ

- 1) Авторами запропоновано структуру бортового комплексу електропостачання-електроспоживання ЛА з використанням додаткових джерел електричної енергії та додаткових силових установок на базі асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором.
- 2) Визначено, що основними серед показників автономних енергетичних систем ЛА є їх енергетична ефективність, надійність та масогабарити.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Bunacov I.YU. Sovremennye systemy starter-generatorov (Obzor). Electronnyy jurnal «Molodjg i nauka». Izd: Uralskij gosudarstvennij agrarnij universitet (Ecatereburg), eISSN: 2308-0426, №2 (2013).
- [2] Florin Jurca and Daniel Fodorean. Steady-state Analysis of Permanent Magnet Synchronous Machine for Integrated Starter-alternator Applications. PIERS Proceedings, Prague, Czech Republic, July, 2015.
- [3] Sarvaiya G., Makwana J., Bhatt K. Sensorless Rotor Position Estimation of PMSM by flux linkage method. International journal of innovative research in electrical, electronics, instrumentation and control engineering. Vol. 2, issue 6, June 2014.
- [4] Sasi D., Kuruvilla J. Modelling and simulation of SVPWM inverter fed Permanent Magnet Brushless DC Motor drive. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. Vol. 2, Issue 5, May 2013.
- [5] Shen J.X., Zhu Z.Q., Howe D. Improved speed estimation in sensorless PM brushless AC drives, IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 38 Issue: 4, July-Aug. 2002, Pages:1072-1080.
- [6] Bely V.D., Myalitsa A.K., Grebenikov A.G., Cheranovskiy V.O., Parfenyuk V.V. Formirovaniye oblika mnogofunktsional'nogo bespilotnogo aviatsionnogo kompleksa grazhdanskogo naznacheniya [Forming the appearance of a multifunctional unmanned civil aviation complex]. *Otkrytye informatsionnyye i komp'yuternyye integrirovannyye tekhnologii. Kharkiv: NAKU «KHAi». 2001. Vyp. 9. Pp. 3-16.*
- [7] Vieri Xue. Center-Aligned SVPWM Realization for 3- Phase 3-Level Inverter. Application Report – October 2012, p 18.
- [8] Betancourth N.P., Villamarin J.P., Rios J.V., Bravo-Mosquera P.D., Cerón-Muñoz H.D. Design and Manufacture of a Solar-Powered Unmanned Aerial Vehicle for Civilian Surveillance Missions. // *Journal of Aerospace Technology and Management. 2016. V. 8, Iss. 4. Pp. 385-396. ISSN 1984-9648*
- [9] Shmelev Yu, Boyko S., Gorodny A., Chernikhova E., Vladov S. Elektrotekhnicheskiy kompleks kontrolya sostoyaniya aviatsionnykh akkumulyatornykh batarey [Electrotechnical complex for monitoring the state of aviation batteries]. *Technical sciences and technologies: scientific journal. Chernihiv National University of Technology. Chernihiv: Chernihiv National University of Technology, 2017. № 4 (10). Pp. 123-132. ISSN 2411-5363*
- [10] Boyko S.M., Chernikhova O.S., Shmel'ov YU.M., Vladov S.I., Vyshnevs'kiy S.YA. Sistema keruvannya elektrotekhnichnym kompleksom vysuvnoyi vitroenerhetychnoyi ustanovky lital'nykh aparativ na bazi teoriiy nechitkykh mnozhyn [Control system of the electrotechnical system of a retractable wind power installation of aircraft on the basis of the theory of fuzzy sets]. *Bulletin of the Khmelnytsky National University series: Engineering Khmelnytsky National University Khmelnytsky, 2018, No. 1 (257), Pp. 113-117. ISSN 2307-5732*
- [11] Zachepa Iurii Load Operational Modes of Autonomous Asynchronous Generator with DC Consumers / Zachepa Iurii. XIV International PhD Workshop OWD. 2012. p. 425–429.
- [12] Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005–2030. DoD, Office of the Secretary of Defence, 2005.
- [13] Morteza Soleimania Design for Reliability of Complex System with Limited Failure Data; Case Study of a Horizontal Drilling Equipment Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 12. June 2014.

Надійшла до редакції 11 липень 2018 р.

УДК 621.311.4.031

## К вопросу построения комплекса электроснабжения электропотребления летательных аппаратов

Бойко С. Н., к.т.н., ORCID [0000-0001-9778-2202](https://orcid.org/0000-0001-9778-2202)

e-mail [boikosn2017@gmail.com](mailto:boikosn2017@gmail.com)

Шмельёв Ю. Н., к.т.н., ORCID [0000-0002-7344-3924](https://orcid.org/0000-0002-7344-3924)

e-mail [nml.nv.klknau@gmail.com](mailto:nml.nv.klknau@gmail.com)

Носач И. В., к.п.н., ORCID [0000-0001-6977-2541](https://orcid.org/0000-0001-6977-2541)

e-mail [nml.nv.klknau@gmail.com](mailto:nml.nv.klknau@gmail.com)

Кирюхина М. В., ORCID [0000-0003-2155-8102](https://orcid.org/0000-0003-2155-8102)

e-mail [nml.nv.klknau@gmail.com](mailto:nml.nv.klknau@gmail.com)

Хебда А. С., ORCID [0000-0003-1917-9509](https://orcid.org/0000-0003-1917-9509)

e-mail [alenahebda@gmail.com](mailto:alenahebda@gmail.com)

Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета



Copyright (c) 2018 Бойко С. М., Шмельёв Ю. М., Носач И. В., Кирюхина М. В., Хебда А. С.

Кременчук, Україна

*Реферат*—В статье рассмотрены особенности построения бортового комплекса электроснабжения-электропотребления летательного аппарата с использованием возобновляемых источников энергии и силовых установок на базе асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, с возможностью их использования в генераторном режиме. Установлено, что внедрение возобновляемых источников электрической энергии в системы бортового электроснабжения летательных аппаратов имеет место, между тем перспективным и актуальным остается вопрос внедрения их в структуру первичного и аварийного питания бортовых комплексов летательных аппаратов. Авторами предложено внедрение дополнительных источников электрической энергии в структуру основной бортовой системы электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии и дополнительных, параллельно установленных авиадвигателям, силовых установок на базе электродвигателей, что, в свою очередь, повысит надежность и энергетическую эффективность комплекса в целом.

Библ. 13, рис. 3.

*Ключевые слова* — возобновляемые источники энергии; электроснабжение; летательные аппараты.

UDC 621.311.4.031

## On the Issue of Building a Power Supply Complex-Electric Power Consumption of Aircraft

S. M. Boiko, PhD, ORCID [0000-0001-9778-2202](https://orcid.org/0000-0001-9778-2202)

e-mail [boikosn2017@gmail.com](mailto:boikosn2017@gmail.com)

Yu. M. Shmelov, PhD, ORCID [0000-0002-7344-3924](https://orcid.org/0000-0002-7344-3924)

e-mail [nml.nv.klknau@gmail.com](mailto:nml.nv.klknau@gmail.com)

I. V. Nosach, PhD, ORCID [0000-0001-6977-2541](https://orcid.org/0000-0001-6977-2541)

e-mail [nml.nv.klknau@gmail.com](mailto:nml.nv.klknau@gmail.com)

M. V. Kiriukhina, ORCID [0000-0003-2155-8102](https://orcid.org/0000-0003-2155-8102)

e-mail [nml.nv.klknau@gmail.com](mailto:nml.nv.klknau@gmail.com)

A. S. Khebda, ORCID [0000-0003-1917-9509](https://orcid.org/0000-0003-1917-9509)

e-mail [alenahebda@gmail.com](mailto:alenahebda@gmail.com)

Kremenchuk Flight College of National Aviation University

Kremenchuk, Ukraine

*Abstract*—The article deals with the features of construction of combined airborne power supply of aircraft with the use of renewable energy sources. It has been established that the introduction of renewable energy sources into airborne electrical supply systems of aircraft takes place, however, the issue of their introduction into the structure of the primary and emergency power supply of airborne aircraft complexes remains promising and topical.

Thus, due to the complex specific operating conditions, it is necessary to monitor the state of aircraft battery-operated batteries, the authors propose to implement monitoring of the status online of on-board batteries in the block, which will also perform the functions of the charger.

From the onboard generators, all the electronics are powered on board aircraft, so if the generators stop working, then all the onboard equipment of the electric system of the aircraft will be blown away. In this case, in some types of aircraft, manufacturers install retractable wind power plants. In the meantime, solar cells are another of the most persistent alternative sources of electric energy in aircraft.

Thus, according to the recommended variant of the system of power supply of aircraft, the unit of storage batteries has a capacity sufficient to supply in an emergency during the flight not only responsible consumers (control and navigation), but also the power supply of electromechanical complexes of the power system of electric motors.

Proceeding from the fact that the modern concept of the development of aircraft put forward the requirements related to the miniaturization of onboard systems of energy and electronics, as well as requirements for the use of advanced technologies for the manufacture of aircraft design, the implementation is also relevant, if possible, (depending on the design aircraft) as an additional source of the main on-board power supply system for solar panels at level with retractable wind power plants.



The article presents the version recommended by the authors of the system of airborne electrical supply of the aircraft using renewable energy sources. The authors propose the introduction of additional power sources into the structure of the main power supply system on the basis of renewable energy sources and additional, electric motors, installed in parallel with aircraft engines, with the purpose of safety-free landing of the aircraft, in the event of failure of aircraft engines and extension of its flight time.

Ref. 13, fig. 3.

*Key words* — *renewable energy sources; power supply; aircrafts.*

