

Ю.В. Ващенко, М.М.Вознюк, О.В. Вабіщевич, Т.В. Бабкіна

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО ВИБОРУ АВТОНОМНИХ АГРЕГАТИВ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ДЛЯ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ

У статті розглянуто актуальне науково-технічне завдання з вибору сучасних аеродромних автономних агрегатів електроживлення для забезпечення швидкої і якісної підготовки літальних апаратів державної авіації до виконання завдань за призначенням в умовах ведення бойових дій з оперативних і базових аеродромів. Проведено аналіз характеристик сучасних зразків аеродромних автономних агрегатів електроживлення іноземного і вітчизняного виробництва. Розроблено порядок їх вибору. Застосовано апарат багатокритерійної оптимізації.

Ключові слова: автономний агрегат електроживлення, аеродромно-технічне забезпечення, види підготовок, літальний апарат, державна авіація, технічні характеристики, ефективність, порядок вибору.

Вступ

У сучасних умовах, коли український народ протистоїть російській агресії, авіаційна підтримка військ на лінії зіткнення є основа успішних дій Збройних Сил України загалом. У системі застосування державної авіації важливу роль займає підготовка літального апарата (ЛА) до польоту. Фаховість персоналу – важливий аспект, але без наявності визначеного переліку аеродромних засобів аеродромно-технічне забезпечення польотів державної авіації неможливе.

Основа забезпечення видів підготовок бойових літаків, особливо при їх дислокації не на базових аеродромах – пересувні електроагрегати типу АПА-5Д [1]. Відомо, що ще з 1992 року оновлення відповідного парку аеродромних засобів не проводилось. На сьогодні проблемну ситуацію щодо подальшої їх експлуатації створюють:

- вичерпання ресурсів (строків служби);
- ураження аеродромної інфраструктури при ракетних обстрілах;
- відсутність зразків вітчизняного виробництва;
- неможливість закупівлі нових аеродромних пересувних агрегатів, виробником яких є росія.

Тому у разі вичерпання встановлених показників аеродромних автономних пересувних агрегатів та відсутності на складах запасного фонду, виникає **актуальне науково-технічне завдання** прийняття обґрунтованого рішення щодо забезпечення видів підготовок літальних апаратів до виконання завдань за призначенням.

Не менш важливий аспект є передача країнами-партнерами літаків західного виробництва, що спонукає до переосмислення та адаптації до

західної системи експлуатації літаків. При цьому задача виконання видів підготовок на цих ЛА є не тільки актуальною, а ставить певні виклики, які необхідно подолати.

Аналіз попередніх досліджень

Вирішенню питань аеродромно-технічного забезпечення польотів державної авіації присвячено ряд наукових праць [2, с. 112...115; 3, с. 29...32].

У [2, с. 112...115] наведено методику оцінювання ефективності застосування авіаційної наземної техніки під час формування системи експлуатації повітряних суден цивільної авіації. Її основа – використання номенклатури порівняльних показників досконалості засобів наземного обслуговування літаків.

У [3, с. 29...32] розглядаються задачі ефективного вибору раціонального варіанту джерела живлення для бойового літального апарата, що полягає в оцінюванні його характеристик та ефективності використання апріорно відомих умов і обмежень.

Однак у зазначених дослідженнях не розглянуто питання щодо підтримання справності існуючих автономних агрегатів електроживлення (ААЕ) та вибору їх альтернативи, враховуючи сучасні реалії.

Тому **мета статті** полягає у розробці методичного підходу до вибору сучасних ААЕ в мовах переоснащення бойового авіаційного парку Збройних Сил України.

Виклад основного матеріалу

ААЕ постійного та змінного струму, зарядно-розрядні пристрої, статичні перетворювачі частоти 400 Гц різної потужності та комбіновані установки, спеціально спроектовані та призначені для запуску двигунів ЛА, запуску допоміжної силової установки, перевірки бортового обладнання, а також проведення всіх видів підготовок та будь-якого технічного обслуговування на базових аеродромах та поза їх межами.

ААЕ повинні відповідати Єдиному класифікатору предметів постачання ДК 020:2016 “Національний класифікатор”, що тотожний Багатомовному класифікатору предметів постачання НАТО – NATO Multilingual Supply Classification Handbook (ACodP-2), прийнятому країнами НАТО відповідно до угоди зі стандартизації STANAG 3150 [4, с. 45].

Основна перевага ААЕ є простий та невибагливий принцип експлуатації, що не потребує додаткового технічного обслуговування, має мінімальну вагу та габарити, залишається експлуатаційним і спроможним у температурному діапазоні від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, а також має високий ступінь захисту від впливу навколишнього середовища.

На сьогодні переоснащення авіаційних підрозділів ЗСУ та адаптація вітчизняних підприємств до сучасних реалій залежить від співпраці з країнами НАТО.

Розвиток авіації напряму впливає і на розвиток виробництва сучасних ААЕ.

Найбільш використовувані іноземні ААЕ приведено на рис. 1...6.



Рис. 1. Автономне джерело живлення літаків LUZES V/D серія V.
Джерело [5].



Рис. 2 Автономне джерело живлення літаків LUZES V/N серія III.
Джерело [5].



Рис. 3. Автономне джерело живлення літаків LUZES-V/N серія IV.
Джерело: [5].



Рис. 4. Автономне джерело живлення літаків LUZES-IIM серія VI.
Джерело: [5].



Рис. 5. Автономне джерело живлення літаків LUZES-IIM
Джерело [5].



Рис. 6. Автономне джерело живлення літаків LZE6M
Джерело [5].

Технічні характеристики даних ААЕ приведено в таблиці 1.

Розробки ААЕ вітчизняних підприємств автономних джерел живлення представлено на рис. 7...10.

Таблиця 1

Технічні характеристики іноземних ААЕ

№ з/п	Найменування характеристики	LUZES V/D серія V	LUZES V/N серія III	LUZES-V/N серія IV	LUZES-ІІМ серія VI	LUZES-ІІМ серія V	LZE6 M
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Номінальна трьохфазна напруга частотою 400 Гц, В	115/200	115/200	115/200	115/200	115/200	-
2	Діапазон регулювання напруги, В	112...118	112...118	112...118	112...118	112...118	-
3	Неперервна потужність, кВА	125 для $\cos \varphi 0,8-1$	125 для $\cos \varphi 0,8-1$	125 для $\cos \varphi 0,8-1$	90 для $\cos \varphi 0,8-1$	111 для $\cos \varphi 0,8-1$	-
4	Номінальний струм у фазі, А	360 (260 на 1 кабелі)	360 (260 на 1 кабелі)	360 (260 на 1 кабелі)	-	-	-
5	Максимальний струм у фазі, А	400 (260 на 1 кабелі)	-	400 (260 на 1 кабелі)	260	260	-
6	Номінальна однофазна напруга частотою 400 Гц, В	115	115	115	115	115	-
7	Номінальний струм для напруги 115В 400 Гц, А	50	50	50	52	45	-
8	Номінальна трьохфазна напруга частотою 400 Гц, В	36	36	36	36	36	-
9	Номінальний струм для напруги 36В 400 Гц, А	25	25	25	25	30	-
10	Номінальна напруга постійного струму, В	28	28	28	28	28	28
11	Діапазон регулювання напруги, В	26...29	26...29	26...29	26...29	26...29	
12	Номінальний струм, А	800	800	800	800	500	800
13	Максимальний струм, А	1800 (30 сек.) / 2500 (4 сек.)	1800 / 2500	1800 (50 сек.) / 2500 (4 сек.)	1800 (30 сек.) / 2500 (4 сек.)	1000 (5 сек.) / 2000 (1 сек.)	2500 (4 сек.)
14	Вхідна напруга частотою 50 Гц, В	-	-	-	-	3x400В	3x400В
15	Вхідний струм, А	-	-	-	-	130	42
16	Габарити (довжина x ширина x висота), мм	7600 x 2440 x 2700	5740 x 1860 x 1810	4630 x 2550 x 2550	2900 x 1827 x 1628	2030 x 1400 x 1290	1300 x 1110 x 1190
17	Вага, кг	12400	4000	4000	3200	1200	580

Джерело: розроблено авторами за матеріалами [5].



Рис. 7. Джерело живлення автономне аеродромне пересувне АПДЖ-45/1800-1. Джерело [6].



Рис. 8. Випрямляч аеродромний інверторний BAI-2400/28/2. Джерело [6].



Рис. 9. Випрямляч аеродромний інверторний ВАІ-1500/28.
Джерело [6].



Рис. 10. Перетворювач частоти ПЧ-ТТП- 95-200-400-УХЛ з додатковим виходом 1800 А, 28 В.
Джерело [6].

Технічні характеристики ААЕ вітчизняного виробництва наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Технічні характеристики ААЕ вітчизняного виробництва

№ з/п	Найменування характеристики	АПДЖ-45/1800-1	ВАІ-2400/28/2	ВАІ-1500/28	ПЧ-ТТП- 95-200-400-УХЛ
1	2	3	4	5	6
1	Номинальна трьохфазна напруга частотою 400 Гц, В	115/200	-	-	115/200
2	Неперервна потужність, кВА	45	-	-	45
3	Номинальний струм у фазі, А	95	-	-	95
4	Номинальна напруга постійного струму, В	28,5	28,5	28,5	-
5	Номинальний струм, А	300	2000	1200	-
6	Максимальний струм, А	1800 (до 30 сек.)	2400 (до 30 сек.)	1500 (до 30 сек.)	-
7	Зарядний пристрій	25А, 300 В	-	-	-
8	Габарити (довжина х ширина х висота), мм	1800 х 1825 х 2600	550 х 750 х 1100	550 х 750 х 700	700 х 600 х 850
9	Вага, кг	1400	310	230	280

Джерело: розроблено авторами за матеріалами [6].

Ураховуючи реалії сьогодення, головна вимога до ААЕ – можливість комплексного та надійного обслуговування літальних апаратів різних модифікацій, бортове обладнання яких буде забезпечено електроенергією потрібної якості відповідно до стандартів MIL-STD-704, NATO-STANAG 3456 [4, с. 49].

Задачу вибору прийнятного ААЕ представимо як оцінювання його характеристик та ефективності при виконанні апріорно відомих умов і обмежень через багатокритерійні рішення [7, с. 352].

Показники, від яких залежать якості ААЕ, кількісно описують деякими змінними дискретними величинами $x_1, x_2, \dots, x_n$, що задані в області визначення x , – аргументи оптимізації. У свою чергу, кожна з властивостей ААЕ кількісно можна описати за допомогою змінної y , значення

якої і характеризує ААЕ відносно показників якості [7, с. 352].

У загальному випадку показники $y_1, y_2, \dots, y_s$ – це критерії якостей, які формують вектор $y = \{y_k\}_{k=1}^s$, визначений у допустимій області M . Його компоненти кількісно відображають якості ААЕ при завданій сукупності аргументів оптимізації $x = \{x_i\}_{i=1}^n \in X$.

Функція $y = f(x)$ зв'язує критерії якості з аргументами оптимізації (у векторних задачах за таку функцію, як правило, використовують скалярну згортку $Y = Y[y(x)]$ часткових критеріїв). У задачі, що розглядається, функція $f(x)$ є оцінювальна функція.

Отже, задачу дослідження формулюємо, як знаходження таких характеристик (сполучення аргументів з області визначення) ААЕ, при яких

Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2023. Вип. № 19 (26)
 функція оцінювання прийме екстремальне значення (найкращий результат вибору)

$$x^* = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} Y[y(x)].$$

Тобто завдання дослідження полягає у виборі такого варіанта ААЕ, який забезпечить кращі характеристики (у порівнянні з існуючими ААЕ) відносно апріорно відомої системи переваг замовника.

Методичний підхід до вибору ААЕ базується на застосуванні математичного апарата багатокритерійної оптимізації у комплексі з основними принципами системних досліджень. Методологічні основи для цього вже існують, а саме: розроблено загальну схему формалізації та специфічні методи розв'язання задач багатокритерійного вибору [7, с. 352].

Сутність таких підходів полягає у розгляді альтернатив відносно вектора часткових критеріїв. Завдання полягає в одночасній мінімізації (або максимізації) всіх n критеріїв

$$\Omega_{\bar{X}}^* : \bar{J}(x^*) = \operatorname{extr} \bar{J}(x), \quad x \in \Omega_{\bar{X}}.$$

Даний підхід дає змогу реалізувати вибір при одночасному обліку багатьох цільових установок як для випадку значної потужності множини варіантів для вибору, так і для випадку конкурентних (альтернатив) ААЕ.

Результуюча множина рішень $\Omega_{\bar{X}}^*$ може мати більше одного елемента у загальному випадку. Крім того, локальні екстремуми за окремими частковими критеріями можуть не бути рішенням головної багатокритерійної задачі, що значно ускладнює процедуру вибору. Вихід із ситуації, що склалась, – зведення даної багатокритерійної задачі до відомих задач вибору відносно одного критерію.

При виборі ААЕ як критерії запропоновано використовувати: технологічні та електричні характеристики, електричні характеристики використовуваних акумуляторних батарей (напруга U ; максимальний струм I_m ; ємність Q , встановлений строк служби T_{cl} ; ресурс (циклів); маса габаритні характеристики (габаритні розміри: довжина l ; ширина d ; висота h ; маса m); характеристики надійності (ресурсні показники) N ; коефіцієнт K_{TB} технічного використання); вартість (питома вартість закупівлі C_0 ; питома вартість технічного обслуговування C_{T0}).

При відборі для розгляду можливих варіантів застосування тих чи інших ААЕ використано методику перевірки достатності ємності АБ.

Узагальнений порядок вибору аеродромних автономних агрегатів електроживлення наведено на рис. 1.

Важлива ланка даного порядку є правильний вибір критеріїв ефективності роботи ААЕ.

Ефективністю роботи ААЕ будемо вважати властивість процесу їх функціонування під час запуску авіаційних двигунів, перевірки бортового обладнання, а також проведення всіх видів підготовок та технічного обслуговування ЛА державної авіації.

Показники ефективності роботи ААЕ можуть бути ймовірнісними, інформаційними, вартісними тощо.

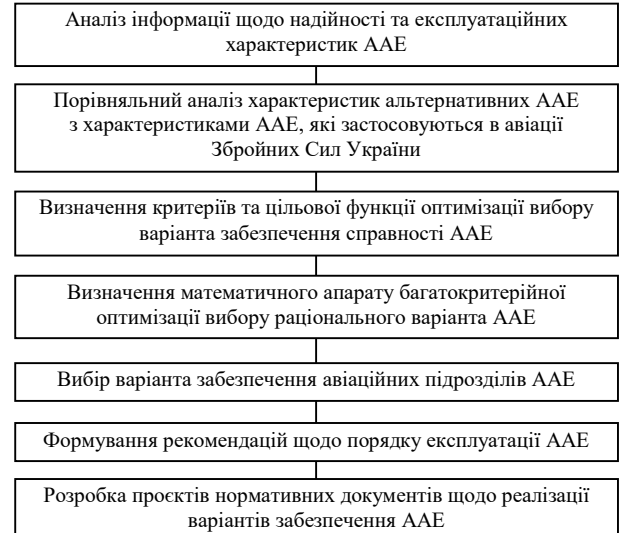


Рис. 1. Узагальнений порядок вибору аеродромних автономних агрегатів електроживлення.
 Джерело: [3, с. 32].

Загальні вимоги показників ефективності:

- досить наочний і зрозумілий фізичний зміст;
- відповідність поставлених перед ААЕ завдань;
- можливість досить простого визначення;
- однаковий фізичний зміст за різних варіантів використання ААЕ за призначенням [2, с.112].

Основний показник ефективності роботи ААЕ є ймовірність виконання поставленої функціональної задачі.

Використання ймовірнісного показника для оцінки ефективності роботи ААЕ задовольняють такі вимоги:

- облік чинників, які впливають на виникнення критичних ситуацій;
- зручність використання у ході розрахунків ефективності роботи ААЕ;
- можливість перевірки заданих вимог у процесі експлуатації і спеціальних випробувань [2, с. 112].

Забезпечення ефективності функціонування ААЕ полягає в розробленні методів, організаційно-технічних заходів і конструктивно-схемних рішень, спрямованих на досягнення необхідної ефективності виробничих процесів. Найбільш складний і важливий етап розв'язання задачі аналізу ефективності функціонування ААЕ

є одержання кількісних значень показників ефективності та її складових частин.

На етапі проектування ААЕ таку оцінку здійснюють для прогнозування очікуваної ефективності їх функціонування. Це необхідно для обґрунтування проекту ААЕ, а також розв'язання організаційно-технічних питань, пов'язаних з вибором [5, с. 112...115]:

- оптимального чи раціонального варіанта структури функціональних складників;
- способів резервування;
- глибини і методів контролю;
- кількості і номенклатури запасних комплектувальних виробів;
- базової періодичності профілактичних робіт;
- вимог до надійності комплектувальних виробів;
- характеристик ААЕ.

На етапі застосування оцінка їх ефективності дозволяє:

- розробляти організаційно-технічні заходи щодо підвищення ефективності роботи;
- уточнити тактико-технічні вимоги до знову створюваних ААЕ на основі досвіду експлуатації аналогів;
- оцінити перспективні напрями модернізації ААЕ;
- розробити експлуатаційні заходи для ефективнішого використання можливостей ААЕ.

Під час оцінювання ефективності функціонування ААЕ необхідно чітко сформулювати завдання, в якому повинно бути зазначено:

- призначення і специфічні особливості експлуатації ААЕ;

- найменування показників ефективності, які необхідно визначити;

- умови та особливості застосування ААЕ.

На основі одержаних даних визначають характер ефективності експлуатації та її складових частин.

Розв'язання задачі забезпечення необхідної ефективності функціонування ААЕ полягає в розробленні методів, організаційно-технічних заходів і конструктивно-схемних рішень, спрямованих на досягнення необхідних показників ефективності ААЕ. У разі технічної, організаційної або економічної неможливості задовольнити ці вимоги може поставати менш складна задача підвищення рівня ефективності порівняно з досягнутим.

Висновки

Запропонований методичний підхід до вибору сучасних аеродромних ААЕ в умовах переоснащення бойового авіаційного парку Збройних Сил України, дасть змогу вирішити завдання швидкої і якісної підготовки ЛА державної авіації до виконання завдань за призначенням. Тому **напрямом подальших досліджень** має бути проведення лідерної експлуатації вибраних ААЕ в авіаційних підрозділах державної авіації та за її результатами визначення можливостей їх адаптації при проведенні видів підготовки західних зразків авіаційної техніки.

Список літератури

1. АПА-5Д. [Електронний ресурс] //2023.-Режим доступу до ресурсу:<http://www.business-guide.ua/products/unit?pid=250871/>
2. Брусило Ю.В., Крамаренко Т.Ю. Особливості використання авіаційної наземної техніки під час оперативного обслуговування повітряних суден. ISSN 1813-1166. Вісник НАУ. 2011. №1. – С 112–115.
3. Агамов Л.Г., Єрко В.Б., Вознюк М.М., Бабкіна Т.В. Щодо забезпечення справності резервних і аварійних джерел живлення бортового обладнання суден Державної авіації. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2020. Вип. 16 (23). – С 29-32.
4. Жданюк М.М., Чередник Ю.М., Макаров С.М., Мотяков Ю.М., Швець С.А. Системний підхід до розробки загальних вимог до засобів наземного обслуговування польотів. Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. № 4 (2021). – С. 45–55. DOI: 10.37701/dndivsovt.10.2021.05.
5. Ground Support Equipment Ground Power Units. [Електронний ресурс] //2023.-Режим доступу до ресурсу:<http://www.wbkt.pl/en/offer/military-production/ground-support-equipment/ground-power-units>.
6. Promsiel.com. [Електронний ресурс] //2023.-Режим доступу до ресурсу:<http://www.promsiel.com>.
7. Воронин А.Н., Зиятдинов Ю.К., Куклинский М.В. Многокритериальные решения: модели и методы: монография. – К.: НАУ, 2011. – 352 с.

Надійшла до редколегії 05.12.2023

Схвалена до друку 20.12.2023

Відомості про авторів:

Вашченко Юрій Володимирович

науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0002-0261-0606>

Вознюк Микола Миколайович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
заступник начальника науково-дослідного відділу
Державного науково-дослідного інституту авіації
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9730-1376>

Вабіщевич Олена Валентинівна

науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3286-4140>

Бабкіна Тетяна Василівна

науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2611-3631>

Information about authors:

Yurii Vashchenko

Researcher Associate
of State Research Institute of Aviation
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0002-0261-0606>

Mykola Voznyuk

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Deputy Head of Research Department
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9730-1376>

Olena Vabishchevych

Researcher Associate
of State Research Institute of Aviation
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3286-4140>

Tetiana Babkina

Researcher Associate
of State Research Institute of Aviation
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2611-3631>

**A METHODOICAL APPROACH TO THE SELECTION OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY UNITS
FOR AIRFIELD TECHNICAL SUPPORT FOR STATE AVIATION FLIGHTS**

Y. Vashchenko, M. Voznyuk, O. Vabishchevych, T. Babkina

In modern conditions, when the Ukrainian people are resisting russian aggression, air support of the troops on the contact line is the basis of the successful actions of the Ukraine Army in general. In the system of application of state aviation, an important role is played by the preparation of the aircraft for flight. Staff expertise is an important aspect, but without a defined list of airfield facilities, airfield technical support for state aviation flights is impossible.

The basis for ensuring the types of training of combat aircraft, especially when they are deployed at non-base airfields, is mobile power units of the APA-5D type [1]. It is known that since 1992, the corresponding fleet of airfield equipment has not been updated. Today, the problematic situation regarding their further exploitation is created by:

exhaustion of resources (terms of service);

damage to airfield infrastructure during missile attacks;

lack of samples of domestic production;

impossibility of purchasing new airfield mobile units, the manufacturer of which is Russia.

Therefore, the adoption of a reasoned decision regarding airfield technical support of state aviation flights, especially in the conditions of arming the Ukraine Army with foreign-made aircraft, is relevant and prompts a rethinking and adaptation to the Western system of operating aviation equipment.

The purpose of the article is to develop a methodical approach to the selection of modern autonomous power supply units in the conditions of re-equipment of the combat aviation fleet of the Ukraine Army.

The authors considered the actual scientific and technical task of choosing modern airfield autonomous power supply units to ensure fast and high-quality preparation of state aviation aircraft to perform assigned tasks in the conditions of conducting combat operations from operational and base airfields. An analysis of the characteristics of modern samples of airfield autonomous power supply units of foreign and domestic production was carried out. The order of their selection has been developed. The apparatus of multi-criteria optimization is applied.

Keywords: autonomous power supply unit, airfield technical support, types of preparations, aircraft, state aviation, technical characteristics, efficiency, order of selection.