

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія Аеронавігації**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни

**«Безпілотні літальні апарати: загальні відомості»**

обов'язкових компонент

освітньо-професійної програми першого(бакалаврського) рівня вищої освіти

**272 Авіаційний транспорт  
(Оператор безпілотних літальних апаратів)**

**за темою – Класифікація і характеристики БПЛА**

**КРЕМЕНЧУК 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії Аеронавігації,  
протокол від 28.08.2023 № 1.

**Розробник:** викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист  
Волканін Є.Є.

**Рецензенти:**

1. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

### **План лекції:**

1. Різновиди та область застосування БПЛА.
2. Класифікація БПЛА за принципом польоту.
3. Перспективи використання електродвигунів в порівнянні з ДВЗ на БПЛА.
4. Зведена класифікація БПЛА БпАК за основними ознаками.
5. Зарубіжна класифікація БПЛА БпАК військового призначення.

### **Рекомендована література:**

#### **Основна література:**

1. Теорія і практика застосування безпілотних літальних апаратів (дронів) / [КНТ](#), 2023. – 126 с.
2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ “КОМАНДИРУ ПІДРОЗДІЛУ ПО ЗАСТОСУВАННЮ БпАК ТАКТИЧНОГО РІВНЯ” (за досвідом проведення ООС (раніше АТО), О.О. Павлишен (керівник розробки), Г.М. Тимчук, Т.В. Цокур, 2018. – 72 с.
3. UAV Based Remote Sensing, Volume 2, Special Issue Editors Felipe Gonzalez, Toro Antonios Tsourdos, 2017. – 406 p.
4. Aircraft General Knowledge 2 - Electrics and Electronics - 2014

#### **Допоміжна література:**

1. Unmanned aircraft systems : UAVS design, development and deployment / Reg Austin. This edition first published 2010. – 365 p.
2. Theory, design, and applications of unmanned aerial vehicles / A. R. Jha. Boca Raton, FL : CRC Press / Taylor & Francis Group, [2016]. 317 p.
3. SMART AUTONOMOUS AIRCRAFT Flight Control and Planning for UAV. Yasmina Bestaoui Sebbane, Université d'Evry, France. 2016 by Taylor & Francis Group, LLC – 434 p.
4. Безпілотна авіація у військовій справі: кол. монографія / С. П. Мосов и др. ; за ред. проф. С. П. Мосова. Київ : Інтерсервіс, 2019. 324 с.

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті:**

1. [https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/\[bpla\]\\_ua\\_dynamics\\_brochure.pdf](https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/[bpla]_ua_dynamics_brochure.pdf)
2. [https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/\[bpla\]\\_zastosuvannya\\_bpak\\_takty%60chnogo\\_rivnya.pdf](https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/[bpla]_zastosuvannya_bpak_takty%60chnogo_rivnya.pdf)
3. <https://defence-ua.com/tags/389/>
4. <file:///C:/Users/Volk/Downloads/116-Текст%20статті-857-1-10-20211230.pdf>
5. Дідур О. Стандарти НАТО в галузі безпіотної авіації. URL : <https://armyinform.com.ua/2020/03/standarty-nato-v-galuzibezpilotnoyi-aviacziyi/> (дата звернення : 01.01.2020).
6. Classification of the Unmanned Aerial Systems. URL : <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5> (last accessed : 03.11.2020).

## Текст лекції

### 1. Різновиди та область застосування БПЛА.

Існує велика кількість різновидів літальних апаратів, тому і класифікаційних ознак, також багато. Виділимо основні з них, та більш детально розглянемо найбільш вагомі.

Сучасні літальні апарати, а точніше – БПЛА класифікують за такими ознаками:

- 1) використання;
- 2) тип системи керування;
- 3) правила польоту;
- 4) клас повітряного простору;
- 5) тип ЛА;
- 6) тип крила;
- 7) напрямок зльоту / посадки;
- 8) тип зльоту / посадки;
- 9) тип двигуна;
- 10) паливна система;
- 11) тип паливного бака;
- 12) кількість використань;
- 13) категорія (з урахуванням маси та максимальної дальності дії);
- 14) радіус дії;
- 15) висота.
- 16) функціональне призначення.

**За призначенням БПЛА** бувають для наукових (випробування нової техніки, в тому числі нових принципів польоту, спостереження за природними явищами та ін.) та прикладних цілей (поділяються на БПЛА для військового і цивільного застосування).

**Військові БПЛА.** За функціональним призначенням класифікують на спостережні (можуть використовуватися, зокрема, для коригування вогню на поле бою); розвідувальні; ударні (для ударів по наземних цілях за допомогою ракетного озброєння; розвідувально-ударні; бомбардувальні; винищувальні для знищення повітряних цілей); радіотрансляційні; БПЛА РЕБ (для цілей радіоелектронної боротьби); транспортні; БПЛА-мішені; БПЛА-імітатори цілі; багатоцільові БПЛА.



Рисунок1. Приклад БПЛА, що використовують у військових цілях.

**Цивільні БПЛА.** Застосовуються для моніторингу різних об'єктів, відео спостереження з метою охорони; моніторинг лісових масивів службою лісоохорони; спостереження за рухом на залізничних і шосейних дорогах, контроль судноплавства; спостереження за посівами підприємств сільського господарства; картографування земної поверхні; розвідка і складання планів приміщень за допомогою малих БПЛА всередині зруйнованих або небезпечних будівель; моніторинг нафтогазових об'єктів, особливо трубопроводів; радіаційна і хімічна розвідка на небезпечних територіях; відео, фотозйомка важкодоступних промислових об'єктів (ліній електропередач, опор мостів, димових труб, вітрогенераторів, антен і т.д.); моніторинг небезпечних природних явищ (паводків, вивержень вулканів, лавинонебезпечних гірських районів і ін.); пошук корисних копалин за допомогою спеціальних засобів зондування та ін.; рекламних, пізнавальних акцій (відео- та фотозйомка об'єктів архітектури, природи, бізнесу, а також масових заходів з метою презентації або реклами; використання БПЛА в якості носіїв реклами; авіамоделізм і авіаконструювання; використання малих БПЛА в якості арт-об'єкта або об'єкта розваги та ін.); для доставки вантажів і подібних заходів (доставка пошти; доставка інструментів, комплектуючих і матеріалів на будівельні об'єкти; монтаж різних конструкцій; розпорошення хімікатів та внесення добрив на полях; прокладка кабелю в небезпечних зонах; доставка продуктів, пального, запчастин, джерел живлення і т. д. в важкодоступні райони для забезпечення альпіністів, туристів, експедицій; скидання маркерів - світлових,

радіовипромінювальних, для позначення будь-яких об'єктів; доставка медикаментів та медобладнання для постраждалих в зони аварій і катастроф та ін.); ретрансляції сигналів (ретрансляція радіосигналів з метою збільшення дальності дії каналів зв'язку; використання БПЛА в якості носіїв освітлювального обладнання та ін.).

**За методом керування** можна виділити наступні різновиди БПЛА:

1) Дистанційно-пілотований спосіб. керування польотом здійснюється в двох режимах:

- ручне керування, здійснюється за рахунок керування оператора безпілотного літального апарату в режимі реального часу;

- автоматизоване керування здійснюється автономно, з можливістю його коригування. Попередньо вводять координати точок маршруту, визначаючи поточний стан літального апарату за допомогою навігації.

2) Автоматичний спосіб, керування відбувається автопілотом по заздалегідь заданій траєкторії на заданій висоті із заданою швидкістю і зі стабілізацією кутів орієнтації.

Найбільш поширеним на сьогоднішній час є дистанційно - пілотований спосіб, що дозволяє в режимі реального часу проводити дослідження необхідної місцевості і об'єктів. Оператор з землі управляє безпілотним літальним апаратом або вносить зміни в заданому маршруті. Однак з точки зору перешкодозахищеності від електромагнітного впливу він є найбільш вразливим.

**За правилами польотів БЛА** діляться на: візуальні, приладові, візуально-приладові. Якщо БЛА знаходиться і виконує політ в межах видимості пілота, який керує і контролює його в світлий час доби, то політ - візуальний, а якщо виконується політ в автоматичному режимі ( «Автопілоті» для пілотованих ЛА) не тільки в видимій зоні, але і в сліпих зонах, а також в темний час доби з відповідною системою керування, то політ - приладовий. Візуально-приладові - коли під час одного польоту використовуються візуальні і приладові правила (наприклад, зліт і посадка - візуальні, а основна частина польоту - приладна).

Класифікація за правилами польотів виконується в залежності від системи керування БЛА, аналогічно пілотованим ЛА, згідно з міжнародними авіаційними стандартами, польоти виконуються за візуальними правилами (ПВП) і за приладами (ППП).

**По використовуваному класу повітряного простоту (ПП)** БЛА можна розділити на сегреговані і несегреговані. У свою чергу, несегреговані бувають класу А, В і С. Сегрегованого - виконують польоти в сегрегованому ПП (заборонених зонах, зонах обмеження польотів, а також спеціальних зонах польотів для БЛА (якщо це передбачено авіаційними стандартами держави)), а несегреговані відповідно в несегрегованому ПП класів А, В, С, де необхідно відповідні бортове обладнання, ліцензії та дозволи служб організації та обслуговування повітряного руху. Відповідно до документів ІКАО необхідно враховувати тип БЛА. Наприклад, А-несегрегований означає, що БЛА може виконувати польоти в несегрегованому ПП класу А; сегрегований - польоти

тільки в сегрегованому просторі; сегрегованого / АВС-несегрегований - в залежності від модифікації може виконувати польоти в сегрегованому просторі або в несегрегованому ПП класу А, В, С. Однак необхідно враховувати, що технології БАС розвиваються і до зазначених класів несегрегованого ПП можуть бути додані інші.

## **2. Класифікація БПЛА за принципом польоту.**

Існує два типи безпілотних літальних апаратів, крила, що обертається і фіксованого крила. Безпілотні літальні апарати фіксованого крила - це безпілотні літаки, які використовують прямий поштовх по фіксованому крилі, щоб отримати підйомну силу. Вони потребують відносно високої пускової швидкості, щоб отримати підйомну силу, тому не підходять для роботи в обмеженому або небезпечному навколишньому середовищу.

Безпілотні літальні апарати обертового крила також розділені ще на 2 типи: одногвинтової і багатогвинтові (мультикоптери). Одногвинтові схеми використовуються для побудови вертольотів. Вони зазвичай використовують приводний несучий гвинт, що забезпечує підйомну силу, яка врівноважується хвостовим рульовим гвинтом. Багатогвинтові вертольоти мають більше 2-х несучих гвинтів для керування всіма формами руху.

**БПЛА літакового типу.** У БПЛА літакового типу підйомна сила створюється аеродинамічним способом за рахунок напору повітря, що набігає на нерухоме крило. Апарати такого типу, як правило, відрізняються більшою тривалістю польоту, максимальною висотою польоту і високою швидкістю. БПЛА літакового типу розрізняються по злітній масі і бувають легкі (злітна маса менше 20 кг; виконані в основному за схемою «літаюче крило», що володіє найбільшою несучою площею і корисним об'ємом при мінімальних габаритах; використовується в основному електродвигун; час польоту близько 1 ч, висота польоту до 1 км), середні (від 20 до 200 кг; поряд з електродвигунами застосовують сучасні ДВС малої кубатури, час польоту кілька годин і висота до 3-5 км); важкі (понад 200 кг, час польоту 10-12 год і висота до 9-10 км; базуються на аеродромах, можуть злітати і сідати на асфальтові і ґрунтові аеродроми, а також злітати з катапульт або з використанням твердопаливних прискорювачів; в основному застосовуються бензинові двигуни внутрішнього згоряння, найчастіше 4-циліндрові, мають гіростабілізовану поворотну платформу для установки корисного навантаження), надважкі (понад 1500 кг, висота польоту до 20 км, час польоту 24 год і більше, а також вони апарати з'явилися порівняно недавно і мало поширені, використовуються як апарати -аналог пілотованих літаків і наддалекі стратегічні розвідники).

**БПЛА з гнучким крилом.** Це дешеві і економічні літальні апарати аеродинамічного типу, в яких в якості несучого крила використовується не жорстка, а гнучка (м'яка) конструкція, виконана з тканини, еластичного полімерного матеріалу або пружного композитного матеріалу, що володіє властивістю оборотної деформації. В цьому класі БПЛА можна виділити

безпілотні моторизовані пароплани, дельтаплани і БПЛА з пружно деформується крилом. Крило в апаратах такого типу виконується з композитного матеріалу з великим ступенем пружності. Це дозволяє згортати крило без побоювання втратити його форму.

**БПЛА вертолітного типу.** БПЛА з обертовим крилом. Підйомна сила у апаратів цього типу також створюється на основі аеродинамічних сил, але не за рахунок крил, а за рахунок обертових лопатей несучого гвинта (гвинтів). Крила або відсутні зовсім, або грають допоміжну роль. Очевидними перевагами БПЛА вертолітного типу є здатність зависання на місці і висока маневреність, тому їх часто використовують в якості повітряних роботів.

**За паливною системою** БЛА діляться на монозаправочні (одноразові) і полізаправочні (багаторазові). Монозаправочна - одноразова заправка паливної системи виконується в виробничих умовах виробником на заводі, а полізаправочна - багаторазова заправка, яка може в свою чергу бути: наземної (виконується на землі), платформної (морська (на борту морського судна), бортова (на борту пілотованого ЛА, призначеного для перевезення, запуску і заправки БПЛА)), польотної (заправка в повітрі під час польоту ЛА заправником).

За типом паливного бака бувають базовими та базово-резервними. Базові БЛА мають основний паливний бак, а базово-резервні - основний і резервні паливні баки.

За кількістю використань, в залежності від паливної системи, можуть бути одноразові (безпосадочні; посадкові) і багаторазові. Наприклад, якщо не передбачена система посадки - то він є одноразовим безпосадковим БЛА. Якщо використовується одноразова паливна система і є система посадки - то це одноразовий посадковий. Багаторазові БЛА використовуються не один раз і можуть вирішувати різні завдання [7].

### **3. Перспективи використання електродвигунів в порівнянні з ДВЗ на БПЛА.**

На даний момент залишається актуальною проблема створення безпілотного літального апарату (БПЛА) без двигуна внутрішнього згорання, який володів би аналогічними технічними характеристиками, при цьому перевершуючи свій аналог за деякими параметрами. Такий апарат повинен відповідати високим вимогам маневреності, швидкості польоту і надійності.

Існуючі зразки такого роду БПЛА недосконалі. Їх основними недоліками є:

- низька швидкість польоту;
- складна система керування польотом;
- висота польоту близько 8-12 тисяч метрів;
- невелика вага корисного навантаження, яка встановлюється на БПЛА.

В даний час наведені вище проблеми можна вирішити, якщо для БПЛА правильно підібрати електродвигуни та систему керування електродвигуном.

Застосування електродвигунів на БПЛА обумовлено рядом причин. По-перше, у сучасних електродвигунів високий коефіцієнт корисної дії (в разі



застосування безколекторного двигуна фактично може досягати 95%). По-друге, електродвигуни важать значно менше, ніж аналогічні за характеристиками двигуни внутрішнього згоряння. Більш того, до електродвигуна не потрібно підводити паливо для забезпечення його функціонування. Це розширює можливості конструювання БПЛА, адже не потрібно передбачати розміщення в корпусі БПЛА паливопроводів. Варто відзначити, що електродвигун і система його живлення (акумуляторна батарея) менш вибухонебезпечна, ніж аналогічна система з двигуном внутрішнього згоряння. По-третє, електродвигуни практично не випускають теплового випромінювання, тому БПЛА з електродвигунами важко виявити тепловим радаром. Це розширює можливості його застосування в розвідувальних цілях.

У більшості випадків передбачається, що БПЛА буде функціонувати на висоті близько 18000 тисяч метрів, для того щоб виключити можливість взаємодії БПЛА з судами цивільної авіації. В результаті випробувань одного з сучасних БПЛА були виявлені деякі особливості польоту даного апарату на розглянутих висотах.

Спочатку компанія ARCA передбачала оснащувати свої БПЛА AirStrato двома електричними двигунами. В ході випробувань були зроблені висновки про недостатню потужність застосовуваної силової установки. Надалі прототип отримав чотири електродвигуни, що також виявилось недостатнім для функціонування на висоті 18 тисяч метрів. Останній дослідний зразок БПЛА, а після нього і інші модифікації родинних БПЛА, отримали силову установку з шістьма електродвигунами. В даний час БПЛА цієї фірми Explorer і Pioneer, практично готові до серійного виробництва, планується оснащувати шістьма електродвигунами Robbe 8085/10, які передбачено розташувати біля задньої кромки крила. На цих двигунах встановлюються штовхаючі гвинти.

За даними, отриманими в результаті випробувань прототипів БПЛА AirStrato, причиною для доробок силової установки стала специфіка роботи повітряних гвинтів на великих висотах. Потужність електричних двигунів, встановлених на дослідних зразках, не залежить від висоти польоту БПЛА. При польоті на висоті до 9 тисяч метрів повітряні гвинти зберігають свою ефективність. Тобто, фактичні характеристики БПЛА на висотах до 9 тисяч метрів збігаються з розрахунковими характеристиками. При подальшому збільшенні висоти ефективність гвинтів помітно падає. Таким чином, для забезпечення необхідних характеристик при польоті на висоті, близькою до максимально можливої, БПЛА повинен оснащуватися великою кількістю електродвигунів з штовхаючими гвинтами.

БПЛА, в яких в якості силової установки використовуються електродвигуни, що живляться від акумуляторів, є перспективною розробкою з точки зору екології. Пояснюється це тим, що при функціонуванні таких БПЛА не відбувається шкідливих викидів в атмосферу, обумовлених згоряння палива.

Перевага використання електродвигунів на БПЛА полягає також в тому, що існує можливість забезпечити живлення електродвигунів за рахунок енергії, що накопичується сонячними батареями. Гарним прикладом використання

сонячної енергії є літак «Solar Impulse 2». Кругосвітній переліт літака, мотори якого живляться тільки за рахунок енергії сонця, на жодну хвилину не переривався, він пробув в повітрі близько п'яти діб. За цей час електричний літак подолав відстань 7212 км і встановив три абсолютних світових рекорди.

Першим досягненням став рекорд по тривалості (за часом) польоту - від моменту зльоту з Нагоя (Японія) і до моменту посадки на Гавайських островах судно провело в повітрі 117 годин і 52 хвилини.

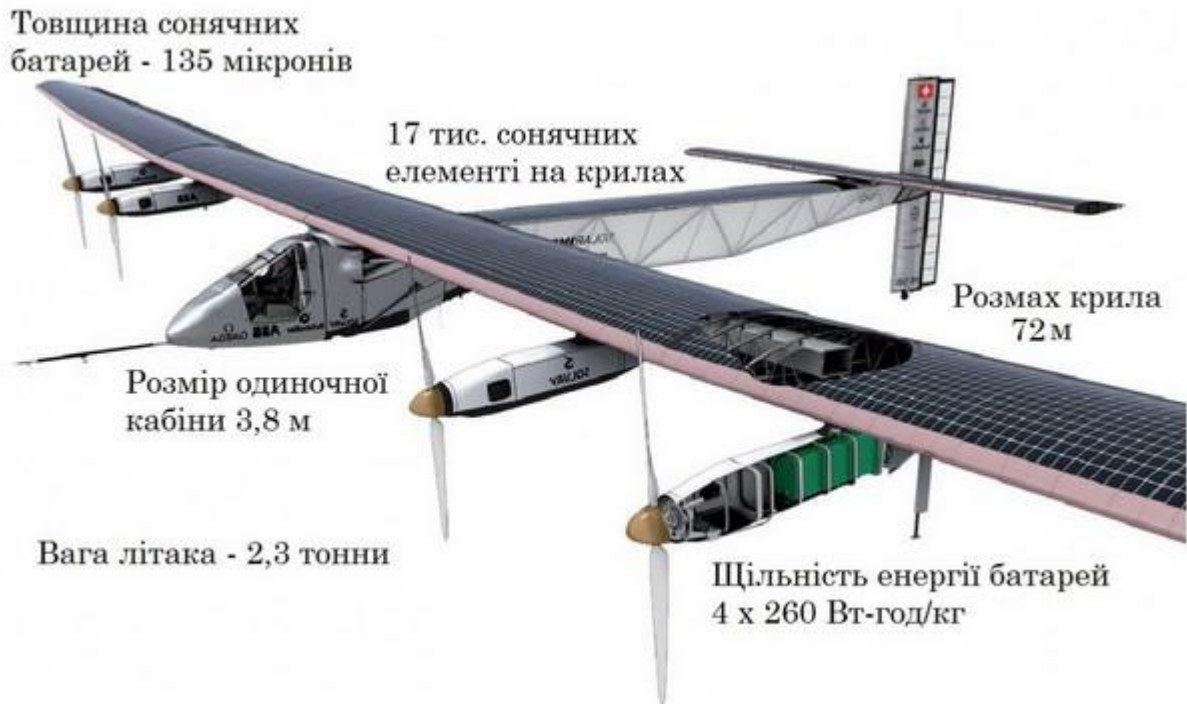


Рисунок 2. Масогабаритні характеристики літака Solar Impulse 2

Другим і третім - рекорди за часом і дальністю польоту літака, енергія для якого поставлялася тільки за рахунок фотоелементів, встановлених на його борту. Перебуваючи над Тихим Океаном, Solar Impulse 2 досягав максимальної висоти в 8364 метрів (вдень літак набирав висоту для нічного «планування» з метою економії заряду батарей), а середня швидкість судна становила приблизно 61,19 км / год.

Розмах крил літака становить 72 метри (для порівняння: розмах одного з найбільших авіалайнерів Boeing 747-8 - 69,8 м). При таких гігантських габаритах вага літака на сонячних батареях знаходиться в межах 2300 кілограм. Така легка конструкція забезпечується за рахунок застосування вуглецевого волокна і технологій, запозичених з кораблебудування.

Чотири електричних мотора (загальною потужністю 70 к.с.) «сонячного» літака забезпечуються енергією, що генерується 17248 осередками фотоелектричних елементів, товщина яких становить не більше 135 мікрон і на які нанесено захисне покриття з сополімера фтору. Енергії, що виробляється сонячними модулями в світлий час доби, достатньо не тільки для живлення

електродвигунів, а й для зарядки літій-полімерних батарей, вагою 633 кг, заряд яких споживається в нічний час польоту.

Побудовані за подібною схемою БПЛА в подальшому зможуть здійснювати польоти, тривалість яких буде обмежена лише технічним станом БПЛА.

Варто звернути увагу на те, що якщо у БПЛА електродвигуни розташовуються на крилах можливе застосування технології «гнучке крило». Особливістю такої технології є те, що на крилі відсутні звичні механізми, що відповідають за зміну напрямку польоту БПЛА і контроль швидкості польоту БПЛА. Маневрування і зміна швидкості БПЛА (наприклад, при посадці) здійснюється за рахунок зміни геометрії крила. Перевага даної технології полягає в тому, що при маневруванні або зміні швидкості крило зберігає обтічну форму. Застосування технології «гнучке крило» складне в реалізації при використанні двигунів внутрішнього згоряння, адже при установці двигунів внутрішнього згоряння на крилі необхідно забезпечити до них підведення палива. При використанні «гнучкого крила» підвести паливо до двигуна, розташованому на крилі, практично не здійсненна задача. Якщо в такому випадку використовувати електродвигун, що працює за рахунок того, що на нього по дротах подається електричний струм від акумулятора, труднощів для використання «гнучкого крила» не буде.

Варто зупинитися на тому, які конкретно електродвигуни застосовуються на сучасних БПЛА.

У застосуванні на БПЛА широкого поширення набули безколекторні електродвигуни. Безколекторні електродвигуни також називають вентильними.

Конструктивно безколекторний двигун складається з ротора з постійними магнітами і статора з обмотками. Варто відзначити, що в колекторному двигуні обмотки знаходяться на роторі. Тому, далі в тексті ротор - елемент електродвигуна з постійними магнітами, статор -Елемент двигуна, на якому розташовуються обмотки. Керування безколекторним електродвигуном на БПЛА здійснюється за рахунок електронного регулятора.

Використання безколекторного електродвигуна на БПЛА обумовлено рядом причин. У конструкції безколекторного електродвигуна відсутній колектор, за рахунок чого конструкція електродвигуна істотно спрощується. У зв'язку з цим безколекторний електродвигун також володіє меншими вагою і розміром, ніж аналогічний електродвигун з колектором. У безколекторного електродвигуна вище коефіцієнт корисної дії і показник потужності на кілограм власної ваги, ніж у електродвигуна з колектором. Більш того у безколекторного електродвигуна більш широкий діапазон швидкості обертання гвинтів, що забезпечує більш широкі можливості для пілотування БПЛА і відповідно обумовлює розширення характеристик БПЛА. Дуже важливо для БПЛА те, що фактично безколекторні електродвигуни гріються менше, ніж електродвигуни з колекторами. Безколекторні електродвигуни практично не створюють радіоперешкод і відповідно практично не впливають на функціонування бортового обладнання.

Перевагою безколекторного електродвигуна також є те, що він може бути набагато менших розмірів, ніж електродвигун з колектором, тому що можливе застосування потужних і невеликих неодимових магнітів на роторі.

Єдиним недоліком безколекторного електродвигуна вважають складний дорогий електронний блок керування (електронний регулятор), за рахунок якого відбувається керування кількістю оборотів двигуна.

За рахунок того, що у безколекторного електродвигуна високий коефіцієнт корисної дії, досягається велика тривалість польоту БПЛА. Високі значення крутного моменту безколекторного електродвигуна дозволяють відмовитися від використання редуктора і забезпечують можливість використання безпосереднього з'єднання двигуна і пропелера, що сприяє зменшенню ваги БПЛА і відповідно дозволяє встановлювати на БПЛА більше додаткового обладнання.

Як було сказано раніше, безколекторні електродвигуни не мають колектора, точніше щітково-колекторного вузла, в якому щітки і пластини колектора безперервно розмикаються, що викликає іскріння, що приводить до втрат і створює радіоперешкоди. Коефіцієнт корисної дії безколекторних електродвигунів вище, ніж у електродвигунів з колектором тому, що в електродвигуні з колектором щітки постійно труться об колектор, зношуються і підгорає, погіршуючи струмопропускну здатність щітково-колекторного вузла, що тягне за собою зменшення потужності двигуна. Варто зазначити, що частина потужності електродвигуна з колектором витрачається на подолання тертя між щітками і колектором. Відсутність щітково-колекторного вузла у безколекторного двигуна дозволяє на практиці досягти значення коефіцієнта корисної дії 95%. Відсутність щіток і колектора спрощують обслуговування двигуна, в зв'язку з тим що відсутня необхідність періодично міняти щітки і чистити колектор використовуваного електродвигуна. Ресурс безколекторного двигуна в основному залежить від підшипників ротора. За рахунок цього досягається висока надійність двигуна.

На сьогоднішній день існує велика кількість безколекторних електродвигунів, тому існує можливість підібрати електродвигун для даного БПЛА, відповідний бажаним характеристикам БПЛА. Тобто безколекторний електродвигун для БПЛА підбирається виходячи з передбачуваних маси БПЛА, швидкості польоту, тривалості польоту, енергоспоживання безколекторного електродвигуна і розмірів безколекторного електродвигуна (обумовлюються конструкцією БПЛА).

#### 4. Зведена класифікація БпЛА БпАК за основними ознаками.

Клас	Рівень застосування	Бойовий радіус	Категорія БпЛА БпАК держав - членів НАТО
I клас < 150 кг	мікро (тактичні) злітна маса < 2 кг	до 5 км (зона прямої видимості)	micro
	міні (тактичні поля бою) 2 кг ≤ злітна маса ≤ 15 кг	більше 5 км (зона прямої видимості)	mini
	малі (тактичні) злітна маса > 15 кг	більше 25 км (зона прямої видимості)	small
II клас 150-600 кг	тактичні (оперативно-тактичні)	більше 50 км (зона прямої видимості)	tactical
III клас > 600 кг	оперативні	більше 200 км (поза зоною прямої видимості)	MALE
	стратегічні	більше 200 км (поза зоною прямої видимості)	HALE

#### 5. Зарубіжна класифікація БпЛА БпАК військового призначення.

Клас БпЛА	Абревіатура	Дальність, км	Тривалість польоту, год	Висота, м	Призначення	БПЛА (приклад)
МікроБпЛА	μ	<10	<1	250	Розвідка, цілевказання, ретрансляція зв'язку, пошук, РХР, РЕБ	Black Widow; Microbat; Microstar
МініБпЛА	Mini	<10	<2	250	Розвідка, цілевказання, ретрансляція зв'язку, пошук, РХР, РЕБ	Pointer; Raven
БпЛА близької дії	CR	10–30	2–4	3000	Розвідка, корегування вогню, виявлення мін, ретрансляція зв'язку, пошук, РЕБ	Luna; Dragon; Vigilant; «Пчела-ТМ», «Шмель»
БпЛА малої дальності	SR	30–70	3–6	3000	Розвідка, цілевказання, оцінка результатів ударів, виявлення мін, РХР, РЕБ	Mirach-26; Phoenix; BP-3 «Рейс»
БпЛА середньої дальності	MR	70–200	6–10	3000–5000	Розвідка, цілевказання, оцінка результатів ударів, виявлення мін, РХР, РЕБ, ретрансляція зв'язку	Pioneer; Shadow-200; CL-327; Brevel; BP-2 «Стриж»
Мало-висотні БпЛА глибинної розвідки	LADP	>250	0.5–1	50–9000	Розвідка	CL-289; Mirach-100
БпЛА великої дальності	LR	>500	10–18	5000–8000	Розвідка, цілевказання, оцінка результатів ударів, РХР, РЕБ, ретрансляція зв'язку	Hermes-450; Shadow-600
Середньовисотні БпЛА великої тривалості польоту	MALE	>500	24–48	500–8000	Розвідка, цілевказання, оцінка результатів ударів, РЕБ, ретрансляція зв'язку	Predator; Hermes-1500; Altus
Висотні БпЛА великої тривалості польоту	HALE	>1000	24–48	15000–20000	Розвідка, цілевказання, оцінка результатів ударів, РЕБ, ретрансляція зв'язку, перехоплення БР на активній ділянці	Global Hawk; Raptor; Condor
Ударні БпЛА	LETH	300	3–4	3000–4000	Протитанкові, протитранспортні, протикорабельні, протиоб'єктові дії	Predator; K-100; Taifun; Futura;