

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

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

## **ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни «Загальні знання дистанційно пілотованих суден:  
Бортове і наземне обладнання БПЛА»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

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

**За темою № 2 - Електричне обладнання БПЛА**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.23 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.23 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.23 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного  
обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1

**Розробник:** викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного  
обладнання, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист  
Стущанський Ю.В.

**Рецензенти:**

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії  
авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР  
ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

### План лекцій:

1. Загальна характеристика електричного обладнання БПЛА.
2. Системи електричного живлення БПЛА
3. Система передавання та розподілу електричної енергії БПЛА

### Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

#### Основна література:

1. Повітряний кодекс України.
2. Наказ Державної авіаційної служби України, Міністерства оборони України 06.02.2017 № 66/73 АВІАЦІЙНІ ПРАВИЛА УКРАЇНИ «Загальні правила польотів у повітряному просторі України».
3. Наказ Державної авіаційної служби України 09 грудня 2021 року № 1920 АВІАЦІЙНІ ПРАВИЛА УКРАЇНИ «Організація повітряного руху».
4. Климаш М.М. Теоретичні основи телекомунікаційних мереж: навч. посіб. /М.М. Климаш, Б.М.Стрихалюк, М.В.Кайдан. – Львів: вид-во УАД, 2011. – 496 с.
5. Логачова Л.М. Поширення земних радіохвиль та мобільний зв'язок / Л.М. Логачова, Т. І. Бугрова / Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 236 с.
6. Пилінський В.В. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль/ навчальний посібник/ В.В. Пилінський – Національний технічний університет України «КПІ», 2014. – 336с.

#### Допоміжна література:

1. Харченко В.П. Авіоніка. Навчальний посібник. К.: НАУ. 2013. – 272 с.
2. Eurocontrol airspace strategy for the ECAC states. ASM.ET 1. ST 03.4000 – EAS – 01-00. - Luxembourg, Eurocontrol, 2001. – 74 p.
3. Eurocontrol manual for airspace planning, common guidelines – Vol. 2. Luxembourg, Eurocontrol, - 2003. – 95 p.
4. Guidelines document for the implementation of the concept of the flexible use of airspace. ASM.ET 1. ST 08.5000 – GUI – 02-00. - Luxembourg, Eurocontrol, 2003. – 43 p.

#### Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. Юринець Ю. Л. Правовий статус безпілотних літальних апаратів [Електронний ресурс] / Ю. Л. Юринець, І. І. Романович // «АЕРО – 2017. Повітряне і космічне право»: матеріали Всеукраїнської конференції молодих і студентів. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/31654.html>
2. Седов А. Поради дронаводам-початківцям [Електронний ресурс] / Аркадій Седов // 50o NORTH. – Опубліковано 31.07.2017. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://www.50northspatial.org/ua/tips-getting-started-with-drones/>

3. Седов А. Огляд сфер використання БПЛА в повсякденному житті [Електронний ресурс] / Аркадій Седов // 50o NORTH. – Опубліковано 13.05.2016. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://www.50northspatial.org/ua/uavs-everyday-life/>

## Текст лекції.

### 1. Загальна характеристика електричного обладнання БПЛА.

Електричне обладнання БПЛА можна розподілити на 3 групи:

- джерело електричного живлення;
- лінії, мережі передачі електричної енергії;
- споживачі електричної енергії.

Вид джерела електричної енергії безпілотного літального апарату визначається ніж за все видом двигуна БПЛА. Це можуть бути або двигуни внутрішнього згоряння, або реактивні двигуни, або електричні двигуни.

Для БПЛА з механічними двигунами в якості джерела електричного струму використовують електричні генератори різної конструкції.

Для БПЛА з електричною тягою використовують акумуляторні батареї.

В загальному плані основними вимогами до бортових джерел електричного струму є найменші масо-габаритні показники при максимальній потужності.

Лінії передачі електричної енергії БПЛА призначені для передачі електричної енергії з заданими параметрами напруги та струму від джерела до бортових споживачів електричних вузлів та агрегатів систем БПЛА.

Споживачами електричної енергії БПЛА можуть виступати:

- електродвигун, в БПЛА на електричній тязі;
- електричні механізми керування тягою, рульовими поверхнями БПЛА, що забезпечують політ за вибраною траєкторією;
- системи пілотажно – навігаційного комплексу
- обладнання формування каналу телеметрії БПЛА – оператор БПЛА;
- електричні механізми та пристрої, що визначаються призначенням БПЛА.

Електрична система БПЛА є неодмінною складовою будь-якого модуля авіоники сучасного БПЛА. Найбільш жорсткі вимоги ставляться до стабільності та надійності систем електроживлення БПЛА. Від функціонування систем електроживлення залежить функціонування майже кожної системи БПЛА.

Електрообладнання БПЛА можна поділити на три основні групи:

- 1) джерела та перетворювачі електричної енергії разом з їх контрольним обладнанням;
- 2) системи передавання та розподілу електричної енергії;
- 3) споживачі електричної енергії.

Для потреб систем авіоніки сучасного літака системи електроживлення забезпечують мережу змінного струму (Alternating Current – AC) 115/36 В частотою 400 Гц та постійного струму (Direct Current – DC) – 27/28/270 В

Основні переваги використання мережі постійного струму на борту БПЛА:

- генератори DC підживлюють акумуляторні батареї у польоті;
- під час зміни частоти обертання центральної частини двигуна дуже легко регулювати постійність напруги;
- простота побудови систем з паралельним використанням генераторів.

Основним недоліком у застосуванні мережі DC є те що електричну енергію DC важко перетворювати в інші види.

Основні переваги змінного струму:

- легкість побудови систем трансформації напруги;
- генератори та двигуни AC дешевші та легші;
- простота трансформації напруги у будь-яку іншу.

Основні недоліки використання мережі змінного струму:

- потреба у спеціальному обладнанні, що забезпечує стабільність обертів генератора.
- неможливість використання акумуляторних батарей як резервного джерела живлення;
- потреба в окремому генераторі для забезпечення електроживлення в умовах непрацюючого двигуна.

Системи електроживлення БПЛА можна поділити на три основні типи побудови:

1. Генератор постійного струму як основне джерело електроенергії. Для отримання змінного струму використовують перетворювачі DC/AC.
2. Генератор змінного струму як основне джерело електроенергії. Генератор з'єднується з приводом двигуна ПК. Для вироблення постійної напруги використовують випрямлячі AC/DC.
3. Змішана система електроживлення. Використовуються генератори змінного та постійного струмів.

## **2. Системи електричного живлення БПЛА**

Електричний генератор — пристрій, призначений для перетворення енергії механічного руху на енергію електричного струму, здебільшого з використанням принципу електромагнітної індукції. Електричний генератор є електричною машиною з дією, протилежною роботі електродвигуна. Генератори поділяються на генератори змінного струму й генератори постійного струму. Більшість генераторів використовує механічну енергію обертання.

Виходячі з комплексу споживачів електричної енергії БПЛА, основним для застосування в них будуть генератори постійного струму з вихідною напругою від 12 до 48В. Хоча генератори змінного струму мають більшу потужність при

таких же масо – габаритних розмірах, що у генераторів постійного струму, але застосування генераторів змінного струму потребує застосування додаткового регулюючого обладнання та перетворювачів напруги змінного струму в напругу постійного струму.

Акумуляторні батареї, як правило, використовуються в БПЛА, як основне джерело енергії для маршового електродвигуна та живлення інших електричних систем літального апарату. Також можуть використовуватися в якості резервного джерела електроенергії для тимчасового живлення електроспоживачів БПЛА при відмові генератора, або зупинці механічного маршового двигуна.

Основною вимогою до бортових акумуляторів є максимальна ємність АКБ при мінімальних масо-габаритних характеристиках.

Акумуляторами, що найбільш підходять під ці характеристики є сучасні літєві акумулятори. При подачі на електроди напруги іони літію мігрують з літійового катода в вугільний анод, окислюючи його, а при підключенні навантаження – в зворотному напрямку. При розряді відновлення негативного електрода відбувається в повному обсязі, продукти окислення накопичуються, і акумулятор поступово втрачає ємність. Літєві акумулятори складаються в основному з чотирьох основних компонентів: катода, анода, електроліту і сепаратора. Кожен компонент літєвого акумулятора важливий, оскільки він не може працювати, якщо один з компонентів відсутній. Існує кілька видів літєвих акумуляторів, кожен з яких має свої особливості та використовується для різних застосувань. Літій-іонні акумулятори (Li-ion) – це найбільш поширений вид літєвих акумуляторів.

#### Катод

Катод визначає ємність і напругу літій-іонної батареї. Літій-іонний акумулятор виробляє електрику за рахунок хімічних реакцій літію. Оскільки літій нестабільний в формі елемента, для катода використовують комбінацію літію та кисню, оксид літію. В катоді літій-іонної батареї, оксид літію використовується в якості активного матеріалу. Катод відіграє важливу роль у визначенні характеристик батареї, оскільки ємність і напруга батареї визначаються типом активного матеріалу, використовуваного для катода. Чим більше літію, тим більше ємність; і чим більше різниця потенціалів між катодом і анодом, тим вище напруга.

Анод посиляє електрони по дроту. Коли акумулятор заряджається, іони зберігаються на аноді, а не на катоді. У цей момент, коли провід з'єднає катод з анодом (стан розряду), іони літію природним чином повертаються до катода через електроліт, і електрони ( $e^-$ ), відокремлені від іонів літію, рухаються по дроту, генеруючи електрику.

Для анода використовується графіт, який має стабільну структуру. Завдяки оптимальним якостям графіту, таким як структурна стабільність, низька електрохімічна реактивність, умови для зберігання великої кількості іонів літію і ціна, матеріал вважається придатним для використання в якості анода.

Електроліт допускає рух тільки іонів. Електроліт – це компонент, який грає важливу роль. Він служить середовищем, яка дозволяє переміщати тільки іони літію між катодом і анодом. В якості електроліту в основному використовуються матеріали з високою іонною провідністю, так що іони літію легко переміщуються вперед і назад. Електроліт складається з солей, розчинників і добавок. Солі – це прохід для іонів літію, розчинники – це органічні рідини, які використовуються для розчинення солей, і добавки що додаються в невеликих кількостях для певних цілей. Швидкість руху іонів літію залежить від типу електроліту.

Сепаратор, абсолютний бар'єр між катодом і анодом. У той час як катод і анод визначають основні характеристики батареї, електроліт і сепаратор визначають безпеку батареї. Сепаратор діє як фізичний бар'єр, що розділяє катод і анод. Він запобігає прямий потік електронів і дозволяє акуратно пропускати тільки іони через внутрішній мікроскопічний отвір. Отже, він повинен відповідати всім фізичним і електрохімічним умовам. Сьогоднішні промислові сепаратори представляють собою синтетичні смоли, такі як поліетилен (PE) і поліпропілен (PP).

Частіше всього літій-іонні акумулятори формують у блоки, з'єднують послідовно та паралельно одиночні акумуляторні елементи рис.1. Цим досягається необхідна вихідна напруга банки та електрична ємність, що виражається в А/ч.



Рисунок 1 – Літій – іонний елемент акумуляторної батареї

Основним недоліком літій-іонних АКБ є втрата працездатності при глибокому розряді та великий час, що необхідний для їхнього заряду.

### **3. Система передавання та розподілу електричної енергії БПЛА.**

Система передавання та розподілу електричної енергії складається з провідників та захисної електричної апаратури.

Як середовище передачі всередині електронних блоків використовують мідні провідники - у вигляді проводів або на печатних платах. Поза блоків використовують кабелі різних типів:

- звиту пару в екрані;
- коаксіальні кабелі;
- волоконно-оптичні лінії зв'язку.

Звита пара (біфіляр) являє собою два сплетених разом мідних дроти, укладених в загальну металізовану оплетку, яка служить екраном. Це найкомпактніший і дешевий вид кабелю. Іноді застосовується тріфіляр - три сплетених дроти в екрані. Звита пара (на англ. Twisted pair) вид кабелю, що складається з однієї або декількох пар провідників, які звиті один з одним. Провідники скручуються з метою мінімізації зовнішнього електромагнітного впливу. У кабелях категорії UTP 5 і вище застосовується переплетення провідників з різним кроком рис.2.



Рисунок 2 – багатопарний провідник.

Коаксіальний кабель являє собою мідну жилу, заключену внутрі пластикової оболонки, все разом знаходиться внутр. металізованої обплетення, що служить другим (нульовим) проводом. Коаксіальний кабель важче і дорожче, але дозволяє передавати сигнал на великі відстані і з більш високою швидкістю передачі, ніж звита пара. Частіше використовуються для передачі високочастотного сигналу до радіоантенита від неї. Така конструкція коаксиального фідера дозволяє забезпечити постійний хвильовий опір провідної середи для полегшення согласування з антеною та захист від втрат сигналу та дій електромагнітних завад. Дешевий коаксіальний кабель дозволяє передавати інформацію зі швидкістю 1 Гбіт / с на відстань до 25 м.



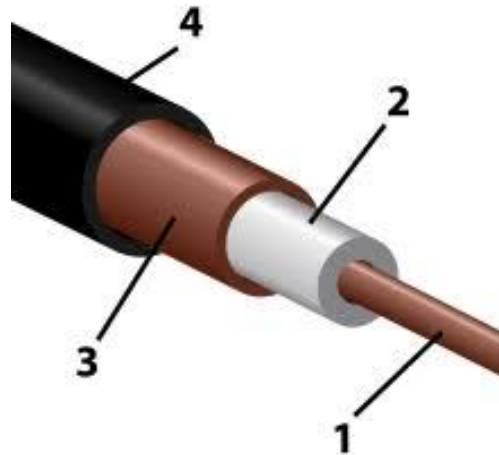


Рисунок 2 – Коаксиальний кабель, в якому 1- центральний стрижень, 2 – ізоляційний матеріал, 3 – екрануюча оплітка, 4- захисна оболонка

Волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ). Оптичне волокно в даний час вважається найдосконалішою фізичним середовищем для передачі інформації, а також самої перспективним середовищем для передачі великих потоків інформації на значні відстані. Підставою для такого висновку є ряд особливостей, властивих оптичних волокнах. У волоконно-оптичних лініях зв'язку (ВОЛЗ) дані передаються в середині прозорого середовища кабелю у вигляді світлових імпульсів. Волоконний світловод є тонкою двошарову скляну нитку (сердечника і оболонки), кожен елемент якої має різним показником заломлення. Показник заломлення ( $n$ ) прозорої речовини являє собою відношення швидкості світла у вакуумі ( $c$ ) до швидкості світла в даній речовині ( $v$ ), тобто  $n = c / v$ . Для передачі електромагнітної енергії по світловоду (рис. 3) використовується відоме явище повного внутрішнього відбиття на границі розділу двох діелектричних середовищ, тому необхідно, щоб  $n_1 > n_2$ .

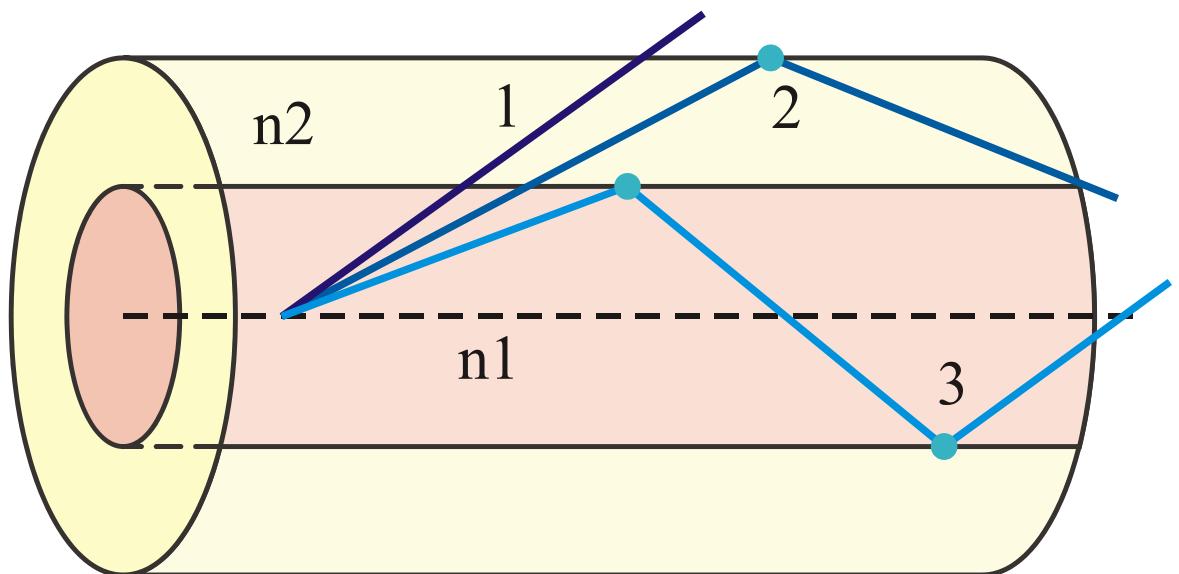


Рисунок 3 – Розповсюдження світлових променів у волоконному світловоді, 1 - 2 характерні втрати, 3 - стабільний режим

Відповідно до закону Синеллиуса, кут в середовищі з меншим показником заломлення більше, ніж кут падіння. При зростанні зростає  $i$ , і оскільки більше, стане рівним  $90^\circ$  раніше, ніж. Кут падіння, для якого переломлений промінь ковзає по поверхні розділу (тобто, для якого  $= 90^\circ$ ), називається кутом повного внутрішнього відображення. Кут повного внутрішнього відображення розраховується за формулою (див. Закон Синеллиуса, вважаючи, що  $= 90^\circ$ ):.

Якщо кут падіння більше (промінь 3), то промінь не заходить у другу середу, а повністю відбивається всередину першого середовища. Саме цей принцип повного внутрішнього відображення дозволяє оптичних волокнах проводити світло.

Оптичні волокна можна розділити на наступні типи: кварцові, кварц-полімерні і полімерні.

Кварцові оптичні волокна виготовляються з високочистого кварцового скла (сердечник і світловідбиваючі оболонка) і застосовуються для систем телекомунікації, внутрішньо-і межоб'єктовий зв'язку.

Кварц-полімерні оптичні волокна виготовляються з кварцовим сердечником і полімерної світловідбиваючої оболонкою і призначені для систем внутрішньо-і межоб'єктовий зв'язку.

Полімерні оптичні волокна виготовляються з полімерних матеріалів, що мають високі оптичні властивості, і використовуються для деяких систем всередині об'єктових зв'язку, підсвічування, декоративного оформлення і в медицині.