

**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 № 5 - Телекомунікаційне 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. Основні положення з організації зв'язку.
2. Поняття каналу телекомунікації
3. Модем для телеметрії RFDesign RFD 900ux

### 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 електродінаміка 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 дроноводам-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. Основні положення з організації зв'язку.

До авіаційного електрозв'язку ставляться такі основні вимоги: своєчасність організації мереж авіаційного електрозв'язку та встановлення електрозв'язку, швидкість обміну повідомленнями, надійність та вірогідність передавання інформації, ефективність та економічність зв'язку.

Параметри сучасних радіостанцій повинні задовольняти вимоги ІКАО.

Основні параметри засобів зв'язку. Якість передавання інформації системи зв'язку в цілому залежить від параметрів радіостанції (засобів зв'язку), які утворюють цю систему зв'язку. Параметрами, які характеризують ту чи іншу радіостанцію, є:

- клас випромінювання;
- кількість каналів зв'язку;
- стабільність частоти;
- потужність випромінювання передавача радіостанції;
- чутливість приймача радіостанції;
- ширина пропускання приймача;
- величина загасання бічних випромінювань.

Під класом випромінювання розуміють вид сигналів на виході передавачів або на вході приймачів. В авіаційних радіостанціях клас випромінювання – це рід робіт, позначається трьома і більше знаками. Клас випромінювання характеризується типом модуляції (амплітудна, односмугова, частотна, фазова, імпульсна); характером сигналів, які модулюють головну несучу (аналоговий, дискретний, цифровий); видом інформації, яка передається (телефонія, телеграфія, дані і т. ін.).

Для детальнішої класифікації радіовипромінювання обов'язковий тризначний символ доповнюють двома знаками: особливістю сигналів, які передаються (типи кодів, телеграфної передачі, телевізійного сигналу); видом ущільнення (частотне, часове, комбіноване).

Для організації авіаційного радіозв'язку застосовують такі види ведення зв'язку (рис. 1):

– дуплексний зв'язок – вид зв'язку, за якого інформація передається одночасно в обох напрямках каналу зв'язку (можливий напівдуплексний зв'язок, коли зв'язок між двома станціями відбувається по черзі по незалежних каналах у прямому і зворотному напрямках, як при симплексному зв'язку);

– симплексний зв'язок – вид зв'язку, за якого інформація передається по черзі в одному напрямку каналу зв'язку (можливий одноканальний

симплексний зв'язок, тобто симплексний зв'язок з використанням одного частотного каналу в обох напрямках);

– циркулярна передача – одночасне передавання інформації, яка не адресована конкретній станції або станціям зв'язку. Така передача може бути з підтвердженням і без підтвердження прийому інформації;

– передача «наосліп» – передавання інформації з однієї станції зв'язку до іншої в умовах, коли встановити двосторонній зв'язок неможливо, але припускається, що станція, яку викликають, може прийняти інформацію.

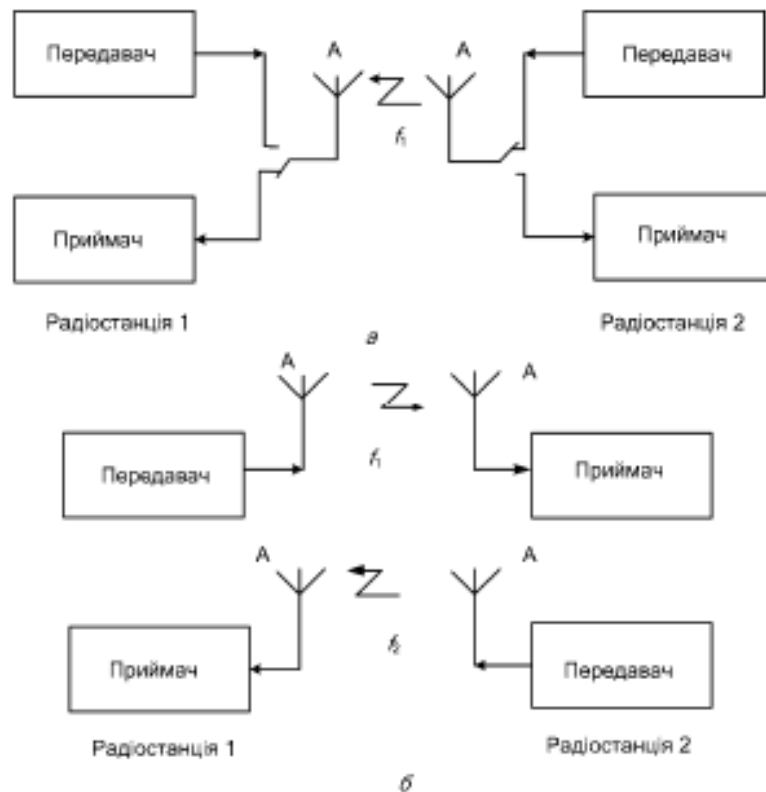


Рисунок 1 – Схема організації зв'язку.

а - симплексна, б - дуплексна

За дуплексного радіозв'язку передача в одному і в другому напрямках ведеться зазвичай на різних несучих частотах. Це роблять для того, щоб приймач приймав сигнали тільки від передавача з протилежного пункту і не приймав сигналів власного передавача.

Симплексний зв'язок використовують, як правило, за наявності відносно невеликих інформаційних потоків. Для об'єктів з великим навантаженням характерний дуплексний зв'язок.

Способи організації зв'язку: радіомережа і радіонапрямок. Якщо необхідно мати радіозв'язок з великою кількістю об'єктів, організовують радіомережу (рис. 2). Одна радіостанція, яка називається головною, може передавати повідомлення як для одного, так і для декількох підлеглих об'єктів. Її радіооператор слідує за порядком у радіомережі і встановлює черговість

роботи на передачу до підлеглих станцій. Останні за відповідного дозволу можуть обмінюватися інформацією не тільки з головною радіостанцією, а й між собою.

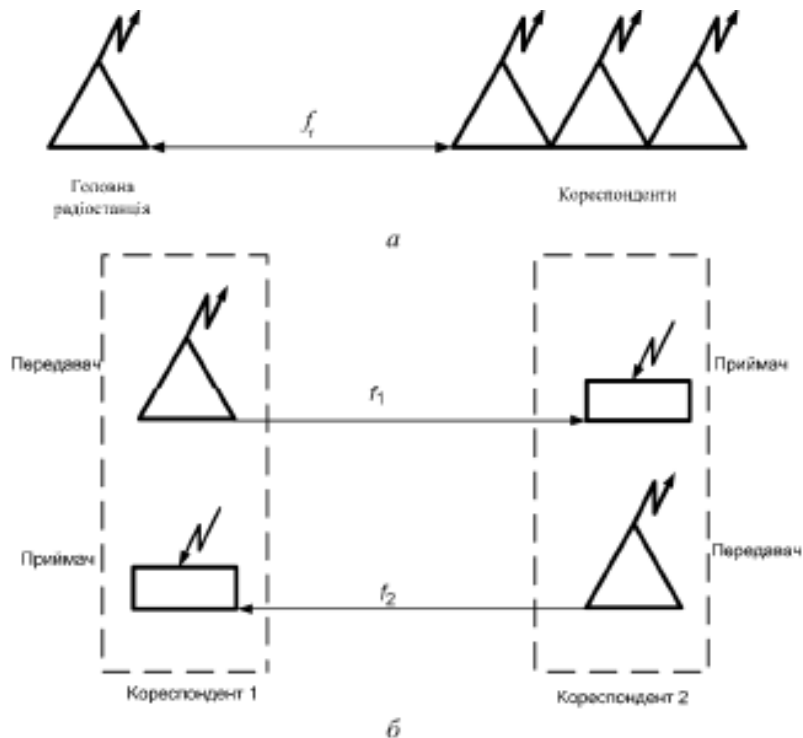


Рисунок 2 – Способи організації зв'язку, а – радіомережа, б-радіонапрямок

Спосіб організації зв'язку між двома кореспондентами називається радіонапрямком і застосовується для забезпечення передавання великих потоків повідомлень. При цьому застосовується зазвичай дуплексний зв'язок на різних частотах приймання й передавання

Дальність зв'язку визначається потужністю передавачів і чутливістю приймачів, а також умовами поширення радіохвиль, які неоднакові для МХ і ДКМХ. Відомо, що МХ поширюються прямолінійно, і дальність зв'язку в діапазонах МХ обмежується дальністю прямої видимості. Найбільш ефективним способом збільшення дальності зв'язку на ДВЧ є використання автоматичних активних ретрансляторів. Активний одноканальний ретранслятор будується на базі двох ДВЧ радіостанцій (рис 3) Ретранслятор можна встановлювати на літаку, вертольоті або підвішувати на повітряній кулі. Він приймає сигнали на одній частоті і ретранслює на іншій.

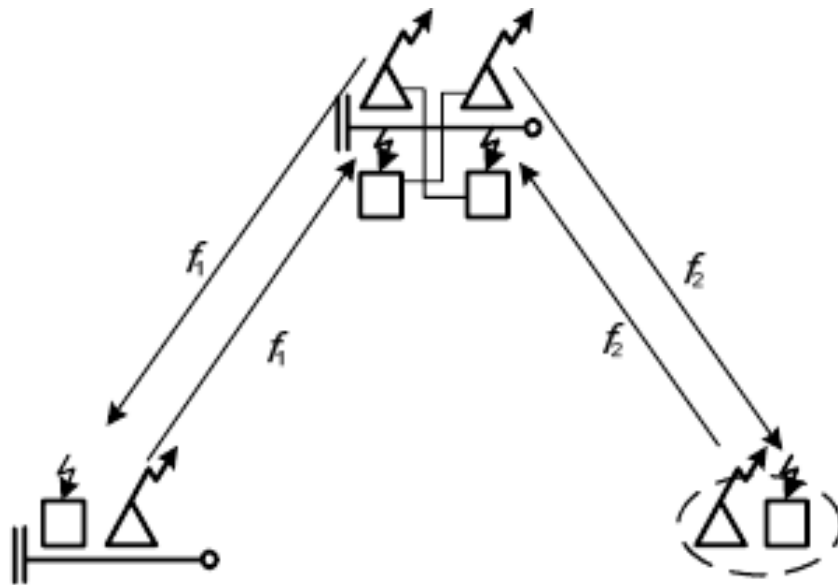


Рисунок 3 – Організація зв'язку по радіонапрямку з використанням ретрослятора

## 2. Поняття каналу телекомунікації

Канал (телекомунікації) - багатозначний термін:

- 1) Частина комунікаційної системи, що з'єднує між собою джерело і приймач.
- 2) Канал мультиплексний - ущільнення каналу, тобто передача декількох потоків даних з меншою швидкістю (пропускною здатністю) по одному каналу.
- 3) Канал дискретний - неперервний канал, до якого підключається пристрій узгодження дискретних сигналів.
- 4) Канал зв'язку - сукупність засобів, що входять до системи зв'язку і забезпечують пересилання сигналів з однієї точки простору до іншої.

Телекомунікації (англ. Telecommunications) — це передавання та/або приймання знаків, сигналів, письмового тексту, зображень та звуків або повідомлень будь-якого роду дротовими, радіо, оптичними або іншими електромагнітними системами.

Телекомунікація виникає при обміні інформацією між учасниками з використанням спеціальних технологій. Передача відбувається або за допомогою електрики, що проходить через фізичні носії, як-от кабель, або за допомогою електромагнітного випромінювання у вільному просторі. Зазвичай, шляхи передачі розділяють на канали зв'язку, що дозволяє користуватись перевагами техніки мультиплексування. Термін часто використовується в множині, тобто телекомунікації, тому що для передачі використовуються багато різних технологій і систем.

Ранні засоби зв'язку на відстані включали візуальні сигнали, як-от маяки, димові сигнали, оптичний телеграф, сигнальні прапорці та світлосигнальні геліографи. Іншими прикладами до-сучасних засобів зв'язку на відстані включали звукові повідомлення, як-от бій в барабан, гра на горні або трембіті. У 20-му та 21-му століттях для телекомунікації на відстані зазвичай використовують електричні та електромагнітні технології, як-от телеграф, телефон, телетайп, телекомунікаційні мережі, радіозв'язок, радіорелейний зв'язок, оптоволоконний та системи супутникового зв'язку.

#### Основні елементи

Телекомунікаційні технології можуть, перш за все, бути розділені на дротові та бездротові. Однак, в цілому, основна телекомунікаційна система складається з трьох частин, які завжди присутні в тій чи іншій формі:

Передавач, який приймає інформацію та перетворює її в сигнал.

Середовище передачі, яке також називається фізичним каналом, що несе сигнал. Прикладом може бути «вільний оптичний канал».

Приймач, який приймає сигнал з каналу та перетворює його назад у доступну інформацію для одержувача.

Наприклад, у радіомовленні підсилювач потужності є передавачем, радіотрансляційна антена — це інтерфейс між підсилювачем та «вільним оптичним каналом». Вільний оптичний канал є середовищем передачі. Антена приймача — це інтерфейс між вільним оптичним каналом та приймачем. Далі, радіоприймач є кінцевим пунктом радіосигналу, саме там він перетворюється з електрики в звук, для того щоб люди могли слухати його.

Іноді телекомунікаційні системи є «дуплексними» (двосторонніми) з одним електропристроєм, який працює як передавачем, так і приймачем, тобто прийомопередавачем. Наприклад, стільниковий телефон є прийомопередавачем. Електроніка передавача та приймача в приймально-передавальній системі насправді є досить незалежними один від одного. Це легко пояснюється тим, що радіопередавачі містять підсилювачі потужності, які працюють із електричними потужностями, виміряними в ватах або кіловатах, але радіоприймачі працюють із потужністю радіо, яку вимірюють в мікроватах та нановатах. А отже, приймально-передавальні пристрої повинні бути ретельно розроблені та побудовані таким чином, щоб ізолювати один від одного схеми високої та низької потужності, щоб не створювати перешкод.

Телекомунікації по фіксованих лініях називаються вузол-вузол (точка-точка), оскільки між ними є один передавач і один приймач. Телекомунікації через радіопередавачі називають ефірним зв'язком, оскільки він знаходиться між одним потужним передавачем та численними малопотужними, але чутливими радіоприймачами.

Телекомунікації, в рамках яких декілька передавачів і декілька приймачів були розроблені для співпраці та спільного використання одного і того ж фізичного каналу, називаються мультиплексними системами. Спільне



використання фізичних каналів за допомогою мультиплексування часто призводить до дуже великого скорочення витрат. Мультиплексні системи вбудовуються в телекомунікаційні мережі, а мультиплексні сигнали перемикаються в вузлах до необхідного приймача.

#### Аналогові та цифрові комунікації

Сигнали можуть передаватися або за допомогою аналогових або цифрових сигналів. Відтак, існують аналогові та цифрові системи зв'язку. Для аналогової системи передачі, сигнал постійно змінюється в залежності від інформації. У цифровій системі передачі сигнал кодується як сукупність дискретних значень (наприклад, набір одиниць і нулів). Під час розповсюдження та прийому інформація, що міститься у аналоговому сигналі, неминуче погіршуватиметься небажаним фізичним шумом. Як правило, шум у системі зв'язку може бути виражений додавання та віднімання від бажаного сигналу у цілковито випадковому порядку. Ця форма шуму називається аддитивним шумом, який може мати позитивне або негативне значення у різні моменти часу. Шум, який не є аддитивним виникає у набагато складніших ситуаціях для опису та аналізу, в даній статті інші шуми розглядатись не будуть.

З іншого боку, якщо адитивні шуми не перевищують певного порогу, інформація що міститься в цифрових сигналах, залишатиметься незмінною. Їх стійкість до шуму є ключовою перевагою цифрових сигналів над аналоговими сигналами.

#### Канали зв'язку

Термін «канал» має два різних значення. В першому, канал — це фізичне середовище, яке переносить сигнал між передавачем і приймачем. Прикладом такого середовища може бути атмосфера для звукового зв'язку, скляні оптичні волокна для оптичного зв'язку, коаксіальні кабелі для зв'язку за допомогою електричної напруги та струму, що протікає в ньому, або ж через вільний простір з використанням видимого світла, інфрачервоних та ультрафіолетових хвиль, радіохвиль. Такий канал має назву «вільний оптичний канал». Відправлення радіохвиль не залежить від наявності атмосфери між передавачем та приймачем. Радіохвилі проходять через вакуум так само легко, як і крізь повітря, туман, хмари або будь-яке інше газоподібне середовище.

Інше значення терміну «канал» в телекомунікаціях використовується у «каналі зв'язку», який є підтипом середовища передачі, який дозволяє використовувати його для одночасного надсилання кількох потоків інформації. Наприклад, одна радіостанція може транслювати радіосигнал на частотах в районі 94,5 МГц (мегагерц), а інша радіостанція може одночасно транслювати радіосигнал на частотах в районі 96,1 МГц. Смуга частот для кожної радіостанції («ширина каналу») складає 180 кГц (кілогерц) з центром (опорна частота) на вищезгаданих мегагерцових частотах. У даному прикладі суміжні канали відокремлені один від одного на 200 кГц. Різниця між відокремленнями (200 кГц) та шириною каналу (180 кГц) називається захисним інтервалом (20 кГц). Захисний інтервал використовується як страхування від недоліків системи зв'язку.

У наведеному вище прикладі «вільний оптичний канал» був розділений на канали зв'язку відповідно до частот, і кожному каналу призначено окрему смугу пропускання частоти для передачі радіосигналу. Ця система поділу середовища на канали за частотою називається частотним поділом каналів (FDM). Іншим терміном для того ж поняття є «мультиплексування з розподілом по довжині хвилі» (WDM), яке частіше використовується в оптичних комунікаціях, коли декілька передавачів поділяють один і той самий фізичний носій.

Інший спосіб поділу фізичного середовища на канали зв'язку полягає в тому, щоб виділяти для кожного передавача повторюваний сегмент часу («часовий інтервал», наприклад, 20 мілісекунд з кожної секунди), і дозволити кожному передавачу надсилати повідомлення лише в протязом свого часового проміжку. Цей метод поділу середовища на канали зв'язку називається «мультиплексування з розподілом за часом» (TDM) і використовується в оптичних комунікаціях. Деякі системи радіозв'язку використовують TDM у частотному розподілі каналу FDM. Отже, ці системи використовують суміш TDM та FDM.

### 3. Модем для телеметрії RFDesign RFD 900ux

Модем RFDesign RFD 900ux дозволяє віддалено управляти безпілотним апаратом з контролером Pixhawk (протокол Mavlink) та отримувати дані польоту на відстані до 40 км (рис.4)



Рисунок 4 - Модем RFDesign RFD 900ux

Використовуючи комплект таких радіомодемів можна не ставити додаткову систему LRS, тому що можна розгорнути передачу команд управління з пульта (прозора передача S.BUS/PPM) одночасно з окремим додатковим каналом для телеметрії з Mavlink (UART). RFD 900ux є більш компактною версією модуля RFD 900x. Основні зміни - конектор PBS-2.54 замінений на компактніший JST-GH для зручного підключення до польотного контролера і антенні роз'єми IPEX, які дозволяють підключити виносні антени розташувавши їх у зручному місці дрону. Також як і в RFD 900x - встановлений новий ARM 32bit процесор, підтримка 16-канальної передачі радіокерування (PPM) паралельно з телеметрією, а також повна апаратна підтримка шифрування інформації, що передається AES-128. Діапазон частот 902-928МГц. Потужність радіомодему регулюється до 1Вт.

Налаштування модему здійснюється через UART за допомогою AT-команд, таким чином відрегулювати радіолінк можна навіть у польоті. Окремої уваги варто підтримка роботи в MESH-мережах, що складаються з однієї-двох базових станцій та ряду модулів встановлених на безпілотики.

Особливості модему телеметрії RFDesign RFD 900ux:

- ще компактніша версія з роз'ємами для ПК Pixhawk;
- понад 40 км сталого зв'язку (в ідеальних умовах до 80 км);
- новий 32-розрядний процесор
- швидкість передачі даних до 500 кбіт/сек
- дійсно апаратне шифрування AES
- наскрізна передача PPM одночасно з телеметрією
- повний захист від статичної електрики та шумів
- легкий та компактний
- 1 Вт потужності радіопередачі
- вхідний ПАР фільтр приймача
- легкий у налаштуванні.

Характеристики RFDesign RFD 900ux:

- діапазон частот: 902 – 928 МГц (США) / 915 – 928 МГц (Австралія)
- вихідна потужність: до 1 Вт (+30 дБмВт), крок 1дБ
- швидкість повітряного трафіку: 4, 8, 16, 19, 24, 32, 48, 64 (за замовчуванням), 96, 128, 192, 250, 500 кБіт/сек
- швидкість UART трафіку: 9600, 19200, 38400, 57600 (за замовчуванням), 115200, 400000, 921000
- чутливість приймача: >121 дБмВт при повільному трафіку
- конектор керування: JST-GH-10pin
- конектор антени: IPEX
- живлення: 3,5-5,5 В
- споживання: 800 мА при 5 В
- температурний режим: -40 – +85 С
- розміри: 25x33x10,4 мм (з урахуванням екрану, радіатора та конекторів)
- вага: 10 г

## Комплект модему (рис.5)



Рисунок 5 – комплект модему RFDesign RFD 900uH

## Комплектація:

- 2 модеми RFD900H
- 1 антена 900 МГц 1/4 хвилі монополь 2.1dBi
- 1 антена 900 МГц кутовий 1/4 хвилі монополь 2.1dBi
- 4 антени 900 МГц 1/2 хвилі диполь 3dBi
- 1 FTDI USB кабель (використовуйте драйвер із сайту FTDI)