

**БОЙКО СЕРГІЙ**

Національного університету «Запорізька політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-9778-2202>e-mail: [kafedra\\_tt@zp.edu.ua](mailto:kafedra_tt@zp.edu.ua)**СТУЩАНСЬКИЙ ЮРІЙ**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

<https://orcid.org/0000-0002-3021-6756>e-mail: [sketu@ukr.net](mailto:sketu@ukr.net)**ДЕРЯБІНА ІННА**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

<https://orcid.org/0000-0001-5164-2979>e-mail: [inna\\_Deriabina@ukr.net](mailto:inna_Deriabina@ukr.net)**ПАНЧЕНКО ВІКТОР**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

<https://orcid.org/0000-0002-4729-4435>e-mail: [master242@ukr.net](mailto:master242@ukr.net)**ГРИБАНОВА СВІТЛАНА**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

<https://orcid.org/0000-0001-5831-2363>e-mail: [informatikafmi@gmail.com](mailto:informatikafmi@gmail.com)

## ПРИНЦИПИ ВДОСКОНЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛІВ ТЕЛЕМЕТРІЇ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Стаття присвячена питанням вдосконалення характеристик каналів радіозв'язку та телеметрії безпілотних літальних апаратів. У статті визначено основні принципи, щодо вдосконалення характеристик каналів радіозв'язку та телеметрії безпілотних літальних апаратів за різних метеорологічних умов експлуатації, впливів електромагнітних завад та рельєфу місцевості. Запропоновано враховувати розташування антен, як на землі так і на борту БпЛА, таким чином, щоб при маневрах БпЛА хоча б для однієї з антен БпЛА на лінії НС - антена БпЛА не було ніяких елементів конструкції БпЛА. Таким чином, визначено, що пропадання зв'язку з БпЛА певної дальності може бути викликано локальним спадом напруженості поля через осциляції, таким чином, якщо пролетіти ще якусь відстань, то зв'язок може відновитися. Остаточне зникнення зв'язку настане тільки після повного перекриття суттєвої зони об'єктами на землі або рельєфом поверхні.

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати, радіоканали телеметрії, дальність радіозв'язку, засоби радіоелектронної боротьби, суттєва зона поширення радіохвиль

BOYKO SERHIY

National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

STUSCHANSKIY YURIY, DERYABINA INNA, PANCHENKO VIKTOR, HRYBANOVA SVITLANA

Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs

## PRINCIPLES OF IMPROVING THE CHARACTERISTICS OF TELEMETRY CHANNELS OF UNMANNED AIRCRAFT

The article is devoted to the issues of improving the characteristics of radio communication channels and telemetry of unmanned aerial vehicles. It has been determined that the communication range depends not only on the modem, but also on the antennas, antenna cables, radio wave propagation conditions, external interference, and other reasons.

The communication range is determined by such antenna parameters as the transmitter antenna gain and the receiver gain. The article defines the basic principles for improving the characteristics of radio communication channels and telemetry of unmanned aerial vehicles under various meteorological operating conditions, the effects of electromagnetic interference and terrain relief. It has been determined that to obtain the maximum possible communication range, it is necessary to use cables with the minimum possible attenuation and minimize the length of these cables. In the UAV body, the modem should be located as close as possible to the antenna. The degree of influence of the Earth's surface on the connection also depends on the height of the antennas. The higher the height of the antennas, the greater the distance that can be separated from the points without allowing objects or the underlying surface to fall into the significant zone. It is proposed to take into account the location of antennas, both on the ground and on board the UAV, so that during UAV maneuvers, at least for one of the UAV antennas on the NS - UAV antenna line there are no elements of the UAV design. Thus, it is determined that the loss of communication with the UAV of a certain range can be caused by a local decrease in field strength due to oscillations, thus, if you fly some more distance, the connection can be restored. The final loss of communication will occur only after a significant area is completely covered by objects on the ground or surface relief.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, radio telemetry channels, radio communication range, electronic warfare means, the critical zone of radio wave propagation

### Постановка проблеми

В умовах ведення бойових дій, що відбуваються зараз на території України, все більше уваги приділяється такому озброєнню, як безпілотні літальні апарати (БпЛА). Ці засоби наразі мають широкий спектр застосування, а саме розвідувальні, коригувальні, ударні. Використання БпЛА в умовах бою стикається з потужною протидією зі сторони ворога. Це обумовлено, як фізичним знищенням БпЛА засобами вогневого ураження, так і впливом на них засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ). Метою дії засобів РЕБ на БпЛА є придушення каналів радіонавігації та телеметрії БпЛА [1].

Для якісного виконання завдання БпЛА та його збереження від втрати, необхідний надійний зв'язок оператора зі своїм літальним апаратом. Канали телеметрії з БпЛА використовуються для корекції траєкторії польоту, зміни завдання в залежності від умов протидії та радіозавад, зйому параметрів та інформації з систем безпілота в режимі on-line. Якщо при втраті каналу супутникової навігації політ може продовжуватися завдяки автономним навігаційним системам, то при втраті каналу телеметрії може бути втрачена не тільки зібрана інформація, а і сам БпЛА.

Задача підвищення дальності та стійкості зв'язку з БпЛА не втрачає актуальності. Забезпечення необхідної дальності надійного зв'язку є одною з умов протидії засобам РЕБ та вдалого виконання завдань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Не зважаючи на бойові дії на території України, військовий стан та руйнування об'єктів інфраструктури, є ряд науково-правничих доробок щодо вдосконалення характеристик каналів радіозв'язку та телеметрії безпілотних літальних апаратів. Безпілотні літальні апарати стали одним із активно впроваджуваних видів повітряних суден у різні сфери діяльності та економіки [1 - 6].

Закордонні науковці також приймають активну участь у розробці сучасних систем та комплексів безпілотних літальних апаратів [7-8]. Між тим, залишається не у повній мірі вирішене завдання забезпечення якісного та надійного радіозв'язку та телеметрії безпілотних літальних апаратів, що вкрай важливо для виконання ними завдань.

**Метою статті** є аналіз підходів щодо вдосконалення характеристик каналів радіозв'язку та телеметрії безпілотних літальних апаратів.

### Виклад основного матеріалу

Дальність радіозв'язку за каналом телеметрії залежить від багатьох чинників, до яких відносяться такі як частота модему зв'язку, види та кількість антен, що використовуються, рельєф та властивості підстилаючої поверхні місцевості, погодні умови та стан атмосфери в районі застосування БпЛА [1].

Хоча такий чинник, як погодні умови та стан атмосфери в районі застосування БпЛА не є вирішальним при розрахунку дальності та стійкості каналів телеметрії БпЛА, але в особливих випадках може суттєво вплинути на очікуваний результат. При підборі частоти радіолінії необхідно враховувати послаблення сигналу при розповсюдженні радіохвиль в атмосфері Землі. Для ліній зв'язку «наземна станція – безпілотний літальний апарат (НС- БпЛА)» послаблення в атмосфері викликається газами, дощами, градами, снігом, туманом та хмарами. Наприклад, для частот радіоліній менше 6 ГГц послаблення в газах можна знехтувати. Але на цих частотах спостерігається сильне послаблення в умовах атмосферних опадів, особливо при їх високій інтенсивності. В таблиці 1 [2] наведені дані по послабленню (дБ/км) в умовах атмосферних опадів різної інтенсивності для частот радіоканалу 3-6 ГГц.

Таблиця 1

### Послаблення радіохвиль (дБ/км) умовах атмосферних опадів різної інтенсивності в залежності від частоти

Частота (ГГц)	3 мм/ на год. (слабкий)	12 мм/на год. (помірний)	30 мм/на год. (сильний)	70 мм/на год. (злива)
3.00	$0.3 \times 10^{-2}$	$1.4 \times 10^{-2}$	$3.6 \times 10^{-2}$	$8.7 \times 10^{-2}$
4.00	$0.3 \times 10^{-2}$	$1.4 \times 10^{-2}$	$3.7 \times 10^{-2}$	$9.1 \times 10^{-2}$
5.00	$0.8 \times 10^{-2}$	$3.7 \times 10^{-2}$	$10.6 \times 10^{-2}$	$28 \times 10^{-2}$
6.00	$1.4 \times 10^{-2}$	$7.1 \times 10^{-2}$	$21 \times 10^{-2}$	$57 \times 10^{-2}$

З таблиці 1 витікає, що, на частоті 3 ГГц послаблення в зливні складає близько 0,0087 дБ/км, що трасі радіолінії 100 км надасть 0,87 дБ сумарного послаблення. При підвищенні робочої частоти в дощі послаблення різко збільшується. Так для частоти 4 ГГц послаблення в зливні на цій же трасі складе вже 0,091 дБ, а на частотах 5 та 6 ГГц – 0,28 та 0,57 дБ відповідно, це вже буде мати суттєвий вплив на дальність радіозв'язку.

Таким чином, при використанні БпЛА в місцевостях, де прогнозовані атмосферні опади високої інтенсивності, рекомендується обирати частоту радіолінії нижче 4 ГГц. А при використанні модемів з більшими робочими частотами враховувати вплив можливих атмосферних явищ на дальність та стійкість радіоканалу при плануванні операцій.

Дальність радіозв'язку за каналом телеметрії залежить від багатьох чинників. До цих чинників входять: частота модему зв'язку, види та кількість антен, що використовуються, рельєф та властивості підстилаючої поверхні місцевості, погодні умови та стан атмосфери в районі застосування БпЛА.

Можна визначити, що дальність зв'язку залежить не тільки від модему, а й від антен, антенних кабелів, умов поширення радіохвиль, зовнішніх перешкод та інших причин.

Дальність зв'язку визначається таким параметром антени, як коефіцієнт посилення антени передавача та коефіцієнт посилення приймача, що вимірюються в dBi [6].

Коефіцієнт посилення є важливим композитним параметром, тому що він враховує:

- здатність антени фокусувати енергію передавача у напрямку приймача порівняно з ізотропним випромінювачем (isotropic, звідси індекс i dBi);

- втрати в самій антені.

Тому для збільшення дальності зв'язку слід вибрати антени з максимально можливим значенням коефіцієнта посилення з тих, що підходять за масо-габаритними параметрами та можливостями системи наведення.

Здатність антени фокусувати енергію в основному здійснюється за рахунок збільшення габаритів (апертури) антени. Тож, чим більша приймальна антена, тим з більшої площі вона зможе зібрати енергію для передачі на вхід приймача, а чим більше енергії – тим сильніший сигнал, тобто дальність зв'язку збільшується. Таким чином, потрібно спочатку визначитися з максимальними габаритами антен, які задачі вони можуть вирішувати, і обмежити область пошуку цим параметром, а потім проводити пошук конкретної моделі антени, орієнтуючись на максимальний коефіцієнт посилення.

Іншим важливим для практики параметром антени є ширина діаграми спрямованості (ДН), що вимірюється у кутових градусах. Як правило, ширина ДН визначається як кут між двома просторовими напрямками від центру антени, на яких посилення антени зменшується на 3 дБ від максимуму для цієї антени. Ширина ДН по азимуту та куту місця може сильно відрізнятись. Даний параметр тісно пов'язаний з габаритами антени за правилом: більше габарити – менше ширина ДН. Безпосередньо до рівняння дальності цей параметр не входить, але саме він визначає вимоги до системи наведення антени наземної станції (НС) на БпЛА, тому що на НС, як правило, використовуються сильно спрямовані антени, принаймні в тих випадках, коли максимізація дальності, що у зв'язку з БпЛА є пріоритетом. Дійсно, поки система НС, що слідкує, забезпечує кутову точність наведення антени на БпЛА, рівну половині ширини ДН або менше, то рівень прийнятого або випроміненого сигналу не опуститься нижче 3 дБ від максимуму. Половина ширини ДН обраної антени ні за яких умов не повинна бути меншою за кутову помилку системи наведення антени НС по азимуту або куту місця.

Також для максимізації дальності зв'язку потрібно використовувати кабелі з меншим погонним загасанням на робочій частоті радіолінії НС - БпЛА. Погане згасання в кабелі визначається, як відношення сигналу на виході відрізка кабелю довжиною 1 м (у метричній системі) до сигналу на вході відрізка кабелю, вираженому в дБ.

Таким чином, для отримання максимально можливої дальності зв'язку потрібно використовувати кабелі з мінімальним можливим загасанням і мінімізувати довжину цих кабелів. У корпусі БпЛА модем має бути розташований якомога ближче до антени. Окремо варто проконтролювати імпеданс вибраного кабелю. Цей параметр як правило, знаходиться в діапазоні 50...75 Ом. Імпеданс кабелю, антенного роз'єму модему і роз'єму на самій антені повинні бути рівними.

Рознесення висот приймальних антен повинен бути виконаний так, щоб провали в напруженості поля в місці розташування однієї антени компенсувалися рівнями вище чутливості приймача в місці розташування іншої антени. На рис. 1 представлений результат такого підходу для випадку розташування однієї антени на висоті 5 м (синя суцільна крива), а інший на висоті 4 м (синя пунктирна крива).

Перший спосіб близький до оптимального завдання зв'язку з БпЛА. Він простий і в ньому вся енергія передавача прямує в потрібному напрямку - оптимально розташовану антену. Наприклад, на дальності 54.5 км (див. рис. 1) сигнал передавача подається до антени, підвішеної на 5 метрах, а на дальності 63 км – до антени, підвішеної на 4 метрах. Саме цей спосіб використовується у модемі 3D Link.

Другий спосіб не використовує апріорних даних про стан каналу зв'язку БпЛА→НС (рівнем прийнятих сигналів на виходах антен), тому він ділить енергію передавача порівну між двома антенами, що неминуче призводить до втрат енергії, оскільки одна з антен може перебувати в провалі напружки поля. Третій спосіб якості зв'язку еквівалентний першому, але набагато складніший у реалізації.

Якість та стійкість каналу телеметрії ніж за все залежить від правильного підбору модему прийому – передачі. Основними критеріями вибору ширококутового модему для БпЛА є: дальність можливого зв'язку, максимальна швидкість передачі та ширококутовість каналу зв'язку, затримка передачі даних, масо-габаритні параметри, підтримувані інформаційні інтерфейси, вимоги щодо керування, рознесення каналів керування та телеметрії.

Енергетична скритність радіозв'язку важлива для спеціальних і військових застосувань. Низька скритність означає, що сигнал модему з відносною ймовірністю буде виявлений розвідувальним приймачем станції глушіння. Відповідно, ймовірність придушення радіозв'язку з низькою енергетичною скритністю також висока.

Чутливість модемного приймача характеризує його здатність витягувати інформацію з прийнятих сигналів із заданим рівнем якості. Критерії якості можуть відрізнятись. Для цифрових систем зв'язку найчастіше використовується ймовірність помилки на біт (bit error rate — BER) або ймовірність помилки в інформаційному пакеті (frame error rate (FER)). Руїнування інформації при падінні рівня сигналу нижче чутливості відбувається за рахунок впливу шуму, який утворюється всередині самого приймача. Внутрішній шум ресивера неможливо повністю усунути, але можна знизити його рівень або навчитися ефективно знімати інформацію зашумленого сигналу. Улучшение чувствительности приемника модема не приводит к столь драматичному увеличению энергопотребления и тепловыделения, как увеличение мощности передатчика.

Розглянемо далі питання про вплив частоти радіохвиль на дальність зв'язку з БпЛА з урахуванням впливу поверхні, що підстилає. Вище було показано, що збільшення частоти вигідно, тому що при фіксованих габаритах антен це призводить до збільшення дальності зв'язку. Однак питання про залежність від частоти не розглядалося.

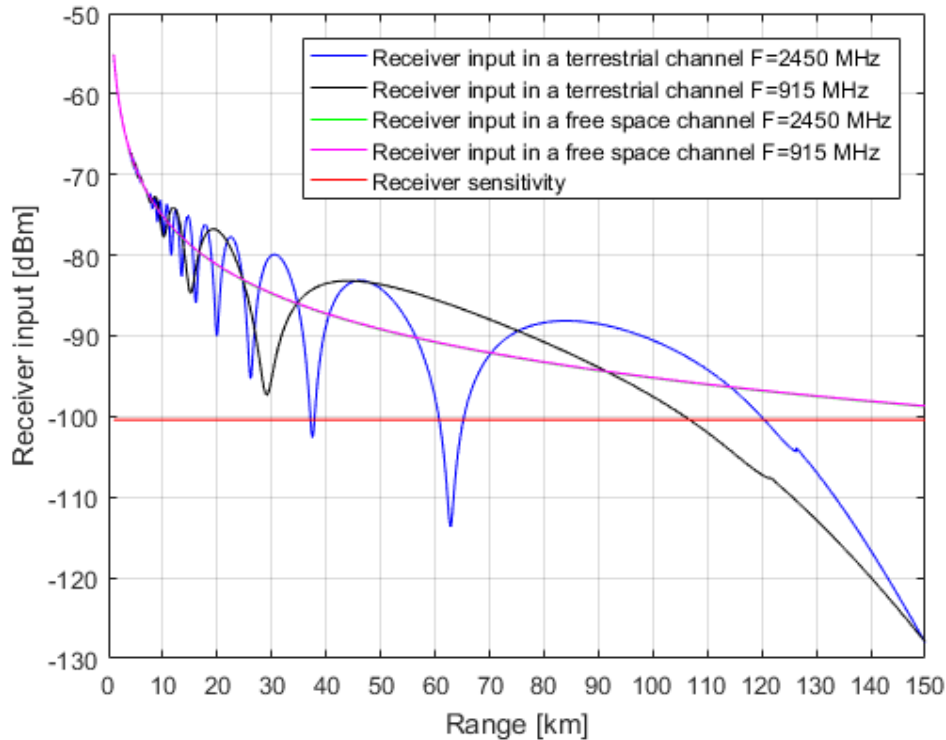


Рисунок 1 – Потужність сигналу на вході приймача для радіоліній, що працюють на частотах 915 та 2450 МГц

З рис. 1 наочно видно, що дальність зв'язку зі збільшенням робочої частоти і однакової площі антени НС збільшується від 106.7 км для радіолінії з частотою 915 МГц до 120.6 км для лінії з частотою 2450 МГц. Однак лінія на частоті 915 МГц має меншу частоту осциляцій. Менше осциляцій — менше провалів напруженості поля, тобто менше ймовірність переривання зв'язку з БПЛА по всій дистанції польоту. Можливо, саме цей факт зумовлює популярність субгігерцового діапазону радіохвиль для командно-телеметричних ліній зв'язку з БПЛА як найнадійнішого. У той же час, при виконанні описаного вище комплексу дій захисту від осциляцій напруженості поля, радіолінії гігерцового діапазону забезпечують велику дальність зв'язку за рахунок поліпшення спрямованих властивостей антен. В цій ситуації дальність зв'язку прямо пропорційно частоті, чим більша частота, тим більша дальність [6].

Для розуміння специфіки поширення радіохвиль поблизу Землі корисно ознайомитися з концепцією істотної області поширення радіохвиль. За відсутності будь-яких об'єктів у суттєвій зоні розповсюдження радіохвиль та за відсутності відображень від земної поверхні розрахунок дальності можна виконувати за формулами для вільного простору. На рис. 2 у точці А зображено точковий випромінювач, розташований на висоті над поверхнею Землі, який випромінює електромагнітну енергію на всі боки з однаковою інтенсивністю. У точці В на висоті висоті знаходиться приймач вимірювання інтенсивності поля. У цій моделі істотна область поширення радіохвиль є еліпсоїд з фокусами в точках А і В.

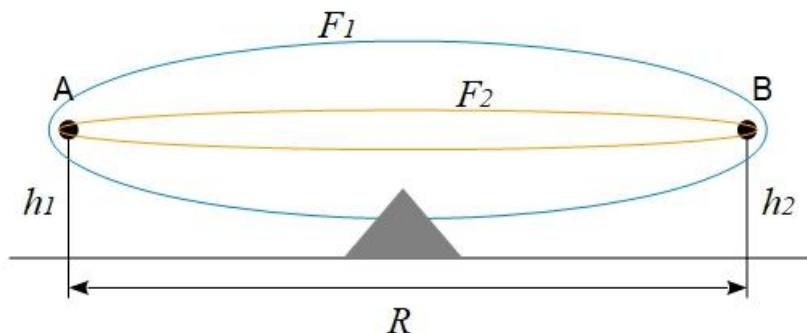


Рисунок 2 – Дієва область розповсюдження радіохвиль

Радіус еліпсоїда  $r$  залежить від частоти  $F$  обернено пропорційно, чим менше  $F$ , тим «товщий» еліпсоїд ( $F_1 < F_2$  на рис. 2). Крім того, «товщина» еліпсоїда збільшується зі збільшенням відстані між об'єктами зв'язку. Для хвиль радіодіапазону  $r$  може мати досить значну величину, так за  $R=10$  км,  $F=2.45$  ГГц отримаємо  $R=50\div 60$  м. Розглянемо непрозорий об'єкт, зображений сірим трикутником на рис. 2. Він впливатиме на поширення радіохвиль з частотою  $F$ , тому що знаходиться в істотній зоні поширення, і практично не впливатиме на поширення радіохвиль з частотою  $F_2$ . Для радіохвиль оптичного діапазону (світла) величина  $r$  мала, тому вплив Землі поширення світла практично не відчувається.

Враховуючи те, що поверхня Землі є кулею, неважко зрозуміти, що при збільшенні відстані  $R$ , поверхня, що підстилає, все більше всуватиметься в суттєву зону поширення, блокуючи, таким чином, надходження енергії з точки А в точку В, при цьому зв'язок з БПЛА переривається.

Аналогічно впливатимуть на зв'язок та інші об'єкти на трасі, як-то нерівності рельєфу, будівлі, ліс тощо. буд. Корпус і елементи конструкції БПЛА, які також впливатимуть на дальність зв'язку[5].

Розглянемо тепер рис. 3, в якому непрозорий об'єкт повністю перекриває суттєву зону поширення радіохвилі з частотою  $F_2$  та унеможливує зв'язок на цій частоті. У той же час зв'язок на частоті  $F_1$  ще можливий, тому що частина енергії «перестрибує» над непрозорим об'єктом. Чим менше частота, тим далі оптичний горизонт поширення радіохвилі.

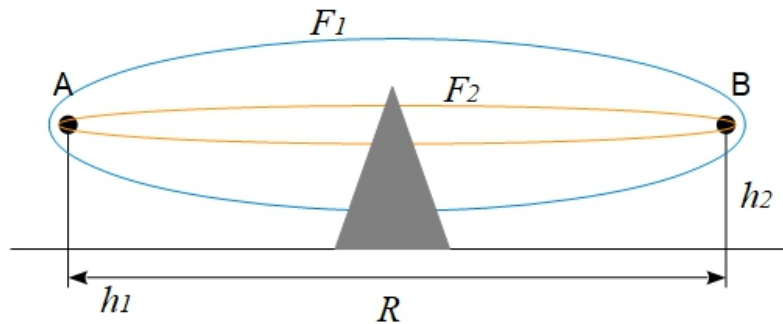


Рисунок 3 – Перекриття дійсної області розповсюдження радіохвилі

Ступінь впливу поверхні Землі на зв'язок залежить також від висоти розташування антен  $h_1$  і  $h_2$ . Чим більше висоти антен, тим на більшу відстань можна розсунути точки А і В, не допускаючи попадання об'єктів або поверхні, що підстилає, у суттєву зону.

У міру наближення підстилаючої поверхні до суттєвої зони напруженість поля в точці В буде осцилювати, тобто вона буде то більше, то менше напруженості поля у вільному просторі. Це відбувається за рахунок відображення енергії від підстилаючої поверхні. Відбита енергія може складатися в точці В з основною енергією у фазі - тоді у напруженості поля виникає підйом, або в протифазі - тоді в напруженості поля виникає спад (і досить глибокий). Важливо пам'ятати про цей ефект розуміння специфіки зв'язку з БПЛА [5].

### Висновки

1. Запропоновано враховувати розташування антен, як на землі так і на борту БПЛА, таким чином, щоб при маневрах БПЛА хоча б для однієї з антен БПЛА на лінії НС - антена БПЛА не було ніяких елементів конструкції БПЛА.
2. Таким чином, визначено, що пропадання зв'язку з БПЛА певної дальності може бути викликано локальним спадом напруженості поля через осциляції, таким чином, якщо пролетіти ще якусь відстань, то зв'язок може відновитися. Остаточне зникнення зв'язку настане тільки після повного перекриття суттєвої зони об'єктами на землі або рельєфом поверхні.

### Література

1. Григоров О.М. Міжнародно-правові засади регулювання відносин у сфері цивільної авіації: становлення та розвиток: Монографія. Одеса: Фенікс. 2020. С.280–281.
2. Харченко В.П. Авіоніка безпілотних літальних апаратів / В.П. Харченко, В.І. Чепіженко, А.А. Тунік, С.В. Павлова/; за ред. В.П. Харченка. К.: ТОВ «Абрис-принт», 2012. 464с.
3. Стеклов В. К. Телекомунікаційні мережі / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман. К. : Техніка, 2001. 392 с.
4. Повітряний кодекс України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text> (дата звернення: 27.11.2021)
5. Гаврилюк Ю. М., Стуцанський Ю. В., Рижик М. М. Аналіз впливу стану атмосфери Землі на дальність зв'язку з безпілотними літальними апаратами / The 2nd International scientific and practical conference “Innovative development of science, technology and education” (November 16-18, 2023) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2023. С.142-144.
6. T. Shmelova, S. Boiko, O. Kotov, O. Burlaka, M. Nozhnova, Yu. Bershadaska, L. Chyzhova, D. Hinosian, V. Zhurid, V. Yemets, Yu. Oliinyk, B. Moskaluk Modern aspects of application and development of Unmanned Aerial Vehicles. Warsaw: iScience Sp. z.o.o. – 2021. – 139 p.
7. VijayAgalar. Modern Heliport Design. A design guide complies to international standards for every engineer. / Vijay Agalar. Lambert Academic Publishing. 2012. 72 p.
8. Airport engineering: planning, design and development of 21st century airports / Norman J. Ashford, SalehMumayiz, Paul H. Wright. 4th edition. 2011. 769 p.

---

**References**

1. Hryhorov O.M. Mizhnarodno-pravovi zasady rehuliuвання vidno-syn u sferi tsyvilnoi aviatsii: stanovlennia ta rozvytok: Monohrafiia. Odesa: Feniks. 2020. S.280–281.
2. Kharchenko V.P. Avionika bezpilotnykh litalnykh aparativ / V.P. Kharchenko, V.I. Chepizhenko, A.A. Tunik, S.V. Pavlova/; za red. V.P. Kharchenka. K.: TOV «Abrys-prynt», 2012. 464s.
3. Steklov V. K. Telekomunikatsiini merezhi / V. K. Steklov, L. N. Berkman. K. : Tekhnika, 2001. 392 s.
4. Povitrianyi kodeks Ukrainy URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text> (data zvernennia: 27.11.2021)
5. Havryliuk Yu. M., Stushchanskyi Yu. V., Ryzhyk M. M. Analiz vplyvu stanu atmosfery Zemli na dalnist zviazku z bezpilotnymy litalnymy aparatamy / The 2nd International scientific and practical conference “Innovative development of science, technology and education” (November 16-18, 2023) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2023. C.142-144.
6. T. Shmelova, S. Boiko, O. Kotov, O. Burlaka, M. Nozhnova, Yu. Bershadska, L. Chyzhova, D. Hinosian, V. Zhurid, V. Yemets, Yu. Oliinyk, B. Moskaluk Modern aspects of application and development of Unmanned Aerial Vehicles. Warsaw: iScience Sp. z.o.o. – 2021. – 139 p.
7. VijayAgalar. Modern Heliport Design. A design guide complies to international standards for every engineer. / Vijay Agalar. Lambert Academic Publishing. 2012. 72 p.
8. Airport engineering: planning, design and development of 21st century airports / Norman J. Ashford, SalehMumayiz, Paul H. Wright. 4th edition. 2011. 769 p.