

*Віктор Гвоздь, канд. техн. наук, професор (ORCID: 0000-0003-0818-7810),  
Ігор Маладика, канд. техн. наук, доцент (ORCID: 0000-0001-8784-2814),  
Артем Биченко, канд. техн. наук, доцент (ORCID: 0000-0003-3788-3268),  
Михайло Пустовіт (ORCID: 0000-0001-5313-1459)*

*Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України*

## **ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ВІДЕОЗВ'ЯЗКУ БПЛА ПРИ ПРОВЕДЕННІ РОЗВІДКИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

*Поява у широкому вжитку безпілотних літальних апаратів як мультироторного типу, так і апаратів з несучим крилом, дозволили виявити можливості їх використання в діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Вони можуть використовуватися для проведення розвідки надзвичайних ситуацій, аерозйомки місцевості, ведення пошукових робіт, виконання авіаційних хімічних робіт, пов'язаних з обігом небезпечних речовин, моніторингу територій та об'єктів, передавання радіосигналів, доставки до місця надзвичайних ситуацій різного роду корисного вантажу, проведення оповіщення, освітлення місця надзвичайних ситуацій та безпосереднього гасіння пожеж. Тому питання використання безпілотного літального апарату в діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій є актуальним.*

*По суті використання безпілотного літального апарату зводиться до двох основних видів робіт – це спостереження чи робота навколо точкового об'єкта або рух на значні відстані для забезпечення роботи по площам земної поверхні. Зрозуміло, що технічні характеристики безпілотного літального апарату і визначають придатність до використання його для відповідних типів робіт.*

*Однією з таких характеристик є дальність радіозв'язку, найбільш завантаженим каналом якого є відеозв'язок в режимі реального часу, що є край необхідним при виконанні більшості завдань за призначенням.*

*В статті дана спроба оцінки дальності передачі відеоданих по каналам радіозв'язку для найбільш поширених моделей мультироторних безпілотних літальних апаратів серійного виробництва та систем передачі відеоданих, що можуть використовуватися опціонально. З цією метою проаналізовано характеристики систем передачі відеоданих, фактори, що впливають на якість відео зв'язку та інші. Існуючі моделі серійного виробництва за своїми технічними характеристиками найбільш підходять для роботи навколо точкового об'єкта. Використання ж їх для польотів на значні відстані буде обмежено саме дальністю передачі відеоданих.*

*Шляхом виходу із цієї ситуації авторами вбачається використання уніфікованих безпілотних літальних апаратів із оснащенням їх опціональними системами передачі відеоданих.*

**Ключові слова:** *безпілотний літальний апарат, надзвичайна ситуація, відеозв'язок.*

**Постановка проблеми.** Питання, так чи інакше пов'язані з безпілотними літальними апаратами (далі - БПЛА), в останні роки все більшою мірою стають актуальними, що зумовлено цілим рядом об'єктивних причин.

Діапазон існуючих літальних апаратів і тих, що знаходяться в процесі розробки, дуже широкий і визначається від мікро і міні БПЛА, до важких багатотонних апаратів, а також БПЛА, здатних виконувати надалекі і надвисотні польоти тривалістю в кілька місяців. Крім того, призначення сучасних БПЛА не обмежується тільки військовою сферою. Стрімко розширюється і сфера їх цивільного застосування (в таких галузях як: нафтогазова промисловість, транспорт, будівництво, сільське господарство, зв'язок та ін.), що надає додаткові імпульси розвитку безпілотної авіаційної техніки.

Розробками в області безпілотної авіаційної техніки займаються в багатьох країнах як великі фірми, так і невеликі спеціалізовані підприємства, підрозділи університетів і навіть окремі ентузіасти-аматори.

Сучасні умови оперативних дій по ліквідації наслідків НС посилили вимоги до повноти інформаційного забезпечення процесів управління оперативними діями і як наслідок розширюються вимоги до авіаційних систем як постачальників інформації про надзвичайні ситуації [1], [2]. При

цьому досліджуються питання застосування авіаційних систем в ролі активного елемента, що забезпечує стійке, безперервне, оперативне функціонування системи управління в умовах надзвичайних ситуацій.

Первинним завданням будь-якої системи зв'язку є забезпечення необхідної дальності зв'язку. Проте дальність зв'язку в УКХ діапазоні обмежена властивостями радіохвиль огинати кривизну земної поверхні. Кривизна поверхні Землі не дозволяє здійснювати зв'язок за межі горизонту для УКХ діапазону.

Переважна більшість БпЛА здійснюють обмін інформацією та телеметрійними даними з наземною станцією управління по каналам радіозв'язку. При проведенні спостереження за допомогою БпЛА можна використовувати декілька режимів роботи, одним з яких є запис події на електронний носій БпЛА з подальшим відтворенням після повернення його до точки зльоту, що є доволі незручним при проведенні оперативних дій. Найбільш зручним способом отримання фото- та відеоданих є спостереження в режимі реального часу, що передбачає передачу відеосигналу в різних форматах по радіоканалу. Обмеженням такого способу врешті-решт є значний об'єм інформації, що передається. Це зумовлює високі вимоги до систем прийому-передачі такої інформації та змушує виробників БпЛА йти на техніко-економічні компроміси.

**Мета статті.** Висвітлити обмеження використання безпілотних літальних апаратів серійного виробництва в діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій та можливі шляхи їх універсалізації.

**Викладення основного матеріалу.** Ризики виникнення надзвичайних ситуацій (далі - НС) природного і техногенного характеру в Україні, незважаючи на вживання запобіжних заходів, з кожним роком не зменшуються.

За підрахунками Міжнародного інституту стратегічних досліджень сьогодні понад 30 країн світу займаються розробкою, виробництвом і використанням багатофункціональних БпЛА. Кількість країн і парк їх безпілотної авіаційної техніки з кожним роком зростає.

Дані, отримані з борту БпЛА, крім надання можливості аналізувати й оцінювати ситуацію, дозволятимуть приймати оперативні управлінські рішення. Завдяки цьому, аварійно рятувальні підрозділи в найкоротші терміни зможуть приймати заходи щодо попередження чи ліквідувати НС.

Задачі, що можуть вирішувати БпЛА в системі Державної служби України з надзвичайних ситуацій (далі – ДСНС):

- проведення розвідки НС, аерозйомки місцевості, ведення пошукових робіт;
- виконання авіаційних хімічних робіт, пов'язаних з обігом небезпечних речовин;
- моніторинг територій та об'єктів;
- передавання радіосигналів;
- доставка до місця НС різного роду корисного вантажу, проведення оповіщення, освітлення місця НС;
- дистанційне зондування пожеж і місць їх імовірного виникнення та безпосереднє гасіння пожеж.

Як видно з таблиці 1 та рисунку 1, близько половини випадків залучення БпЛА припадає на питання, пов'язані із проведенням розвідки для гасіння пожеж та проведенням навчань, з них більшу частину займає саме залучення БпЛА під час реальних пожеж, що зумовлює актуальність даної тематики.

Таблиця 1 – Залучення БпЛА підрозділами ДСНС України за 2021 рік

Назва області	Пожежі	НС	Навчання	Інші	Всього
Вінницька область					
Волинська область					
Дніпропетровська область	2		6	21	29
Донецька область		1	6	20	27
Житомирська область			4	12	16
Закарпатська область		1	3	3	7
Запорізька область			1	5	6
Івано-Франківська область	11		12	36	59
м. Київ	7		1	67	71
Київська область	10			110	120
Кіровоградська область	1		1	6	8

Продовження таблиці 1

Луганська область	9		34	33	76
Львівська область	6		8	13	27
Миколаївська область	76	3	11	81	171
Одеська область			6	7	13
Полтавська область	1		2		3
Рівненська область	132		42	18	192
Сумська область	1		1	1	3
Тернопільська область	5		36	15	56
Харківська область					
Херсонська область	34	4	7	41	85
Хмельницька область					
Черкаська область	2	1	4	16	23
Чернівецька область	1	4	11	10	26
Чернігівська область	8	2	7	2	19
<b>Всього</b>	<b>304</b>	<b>16</b>	<b>205</b>	<b>476</b>	<b>954</b>

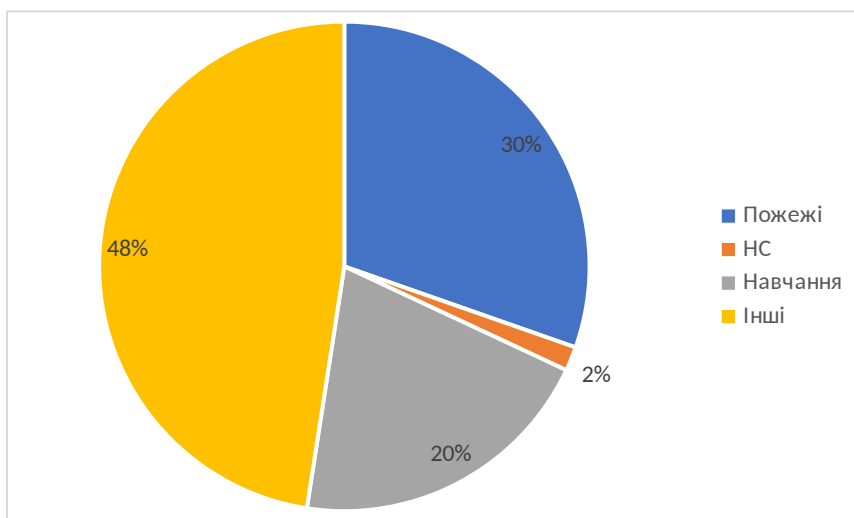


Рисунок 1 – Залучення БПЛА підрозділами ДСНС України за 2021 рік

В територіальних підрозділах Державної служби України з надзвичайних ситуацій відповідно до пункту 3.2 розділу III Правил реєстрації державних повітряних суден України [3] у ДСНС було видано наказ про допуск до експлуатації безпілотних літальних апаратів [4]. Згідно з наказом до експлуатації було допущено наступні БПЛА: DJI Phantom 2, DJI Phantom 2 Vision; DJI Phantom 3 Professional, DJI Phantom 3 SE; DJI Phantom 4, DJI Phantom 4 Pro V2.0, DJI Phantom 4 GL300E, DJI Phantom 4 Advanced і Hubsan H502S FPV. Наступним наказом ДСНС [5] було допущено до експлуатації БПЛА DJI Matrice 100, DJI Matrice 200, DJI Matrice 210; DJI Mavic Air, DJI Mavic 2 Zoom і Yuneec Turphoon H.

Розвідка з використанням безпілотних літальних апаратів є процес періодичного або безперервного збору інформації про характер і параметри об'єкта розвідки для визначення тенденцій зміни його стану.

Залежно від задачі, що розв'язується, на безпілотний літальний апарат можуть встановлюватися відповідні технічні засоби для її виконання, наприклад, фото- відеокамери, тепловізори, мультиспектральні камери, лазерні сканери, газоаналізатори, прилади радіаційної або хімічної розвідки, радіолокаційні станції тощо.

Основними практичними прийомами застосування БПЛА при проведенні розвідки надзвичайних ситуацій є:

- моніторинг зони (сектору) повітряного простору з одним проходом по заданому маршруту;
- моніторинг зони (сектору) повітряного простору з кількома проходами по заданому маршруту;
- моніторинг заданого району з одним проходом над об'єктом;
- моніторинг заданого району з декількома проходами над об'єктом;
- постійне стеження за об'єктом;

- періодичні проходи над об'єктом;
- прочісування місцевості.

Для проведення загальної розвідки найбільш доцільним є кільцевий замкнутий маршрут. Основні переваги цього методу – охоплення великої площі, оперативність і швидкість проведення розвідки, можливість обстеження важкодоступних ділянок місцевості, відносно просте планування польотного завдання і оперативна обробка отриманих результатів. Маршрут польоту повинен забезпечувати огляд всієї робочої зони. Для раціонального використання енергоресурсів БпЛА маршрут польоту доцільно прокладати з таким розрахунком, щоб перша половина польоту БпЛА відбувалася проти вітру.

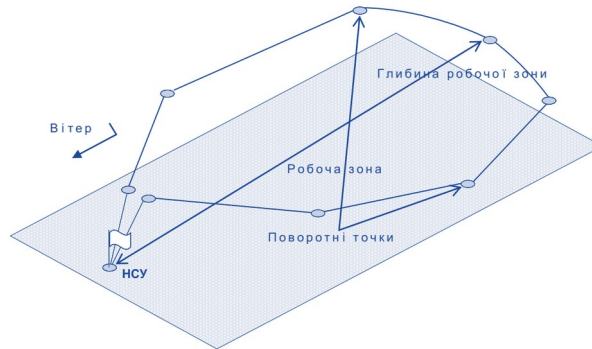


Рисунок 2 – Кільцевий замкнутий маршрут

Основними способами суцільного перегляду місцевості при проведенні розвідки та пошукових робіт є «прочісування», «зміщений віраж». Різновидом прочісування місцевості є галси (паралельні, що сходяться і розходяться), коробочка (що сходиться, розбіжна), за допомогою яких місцевість заданого району піддається суцільному переглядові в ході виконання горизонтального польоту БпЛА (рисунки 3 – 5).

Застосування БпЛА при проведенні розвідки на протяжних ділянках земної, водної та льодової поверхні в загальному зводиться до проведення задач з повітряної розвідки лінійних об'єктів, зважаючи на значні відстані, що їх повинен подолати БпЛА.

Розвідка протяжних ділянок земної поверхні може використовуватися для контролю лінійних об'єктів в умовах, що забезпечують їх однозначний стан або напрямок руху, наприклад, стану трубопроводів; ліній електропередач; доріг, заторів на магістральних трасах; проведенні пошуково-рятувальних робіт вздовж прибережної лінії тощо [2].

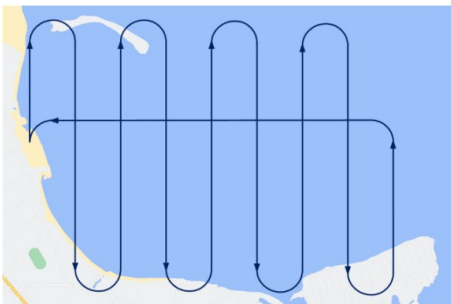


Рисунок 3 – Спосіб пошуку та планування маршруту «Паралельні галси»

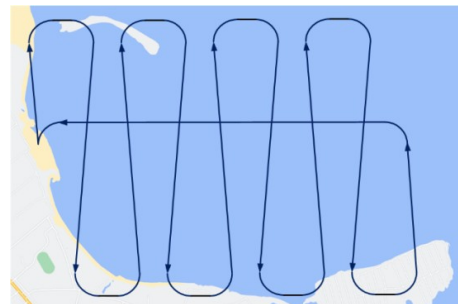


Рисунок 4 – Спосіб пошуку та планування маршруту «Галси, які сходяться»

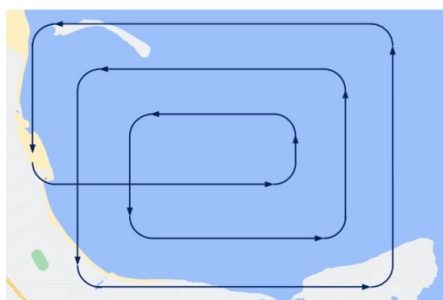


Рисунок 5 – Спосіб пошуку та планування маршруту «Розбіжна коробочка»

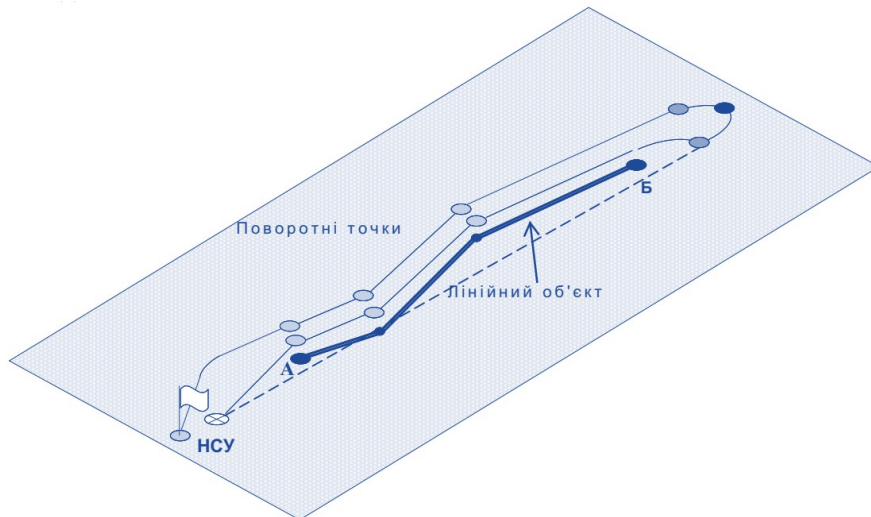


Рисунок 6 – Обліт лінійного об'єкта

Проведення розвідки точкового об'єкта може відбуватись за допомогою БПЛА літакового типу та мультироторного типу. Залежно від типу БПЛА способи їх застосування відрізняються.

Проведення розвідки точкового об'єкта ведеться з висот, що забезпечують достатню повноту і достовірність отриманої інформації та необхідну точність визначення його координат. При візуальному пошуку (з використанням відеокамер та ІК камер) БПЛА літакового типу виконують політ на висоті 500-600 м, мультироторного – на висоті 200-300 м над рельєфом місцевості (перешкодами, водною поверхнею). Висота польоту може уточнюватися в залежності від особливостей району розвідки, дальності радіовидимості між наземною станцією управління і БПЛА, метеорологічних умов, рівня підготовки оператора (зовнішнього пілота) і дальності виявлення різних об'єктів на місцевості [1].

Залежно від виду цільового корисного навантаження, БПЛА може здійснювати розвідку точкового об'єкта шляхом проведення відеозйомки і аерофотознімання об'єкту з різних висот, тепловізійного моніторингу, вимірювання радіаційного забруднення, виявлення витоків газів, кількісного визначення їх концентрації, вимірювання температури і тиску тощо.

Так, наприклад, обліт заданого об'єкта можна здійснювати за допомогою будь-якого типу БПЛА, зважаючи виключно на тривалість польоту і швидкість руху. Використовується при проведенні оглядів конкретних об'єктів. Широко застосовується у випадках, коли координати об'єкта відомі і потрібне уточнення його стану (рис. 7).

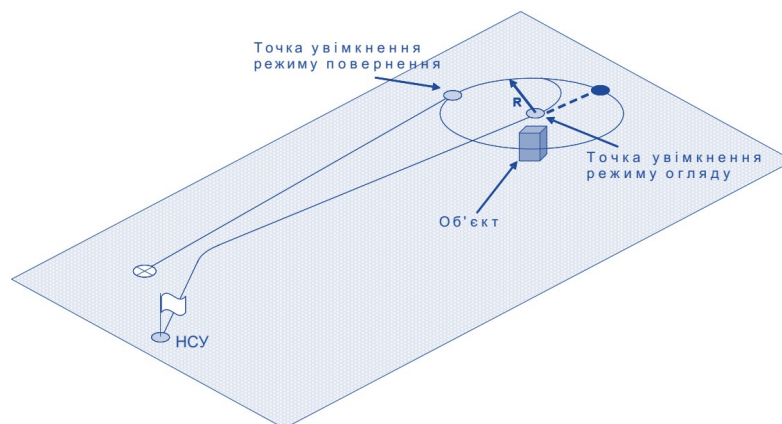


Рисунок 7 – Обліт точкового об'єкта

Інший спосіб застосування БПЛА може полягати у використанні його у якості пункту спостереження.

БПЛА, за наявності відповідного цільового навантаження, можуть забезпечити широке поле спостереження як вдень, так і вночі. За необхідності, такий пост спостереження може бути як оперативно розгорнутий на необхідному напрямку, так і швидко переміщений на інший – на відміну від стаціонарних рішень типу спостережних веж та мачт (рис. 8.)

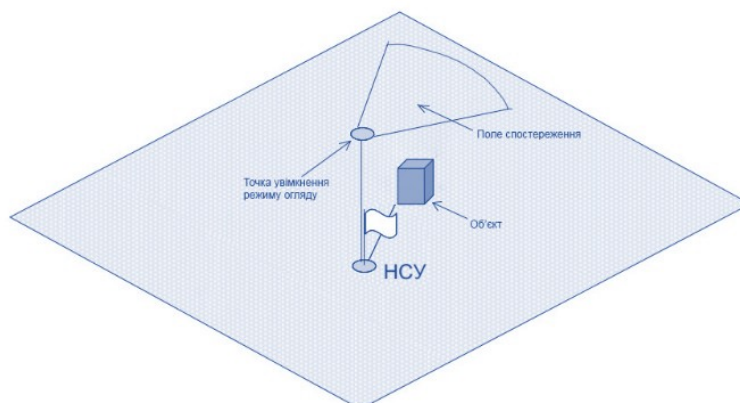


Рисунок 8 – Висіння в точці для проведення розвідки об'єкта

Таблиця 2 – Характеристики відеозв'язку БПЛА серійного виробництва

Модель БПЛА	Країна виробник	Частота, ГГц	Потужність передавача, мВт	Рівень сигналу, дБм	Дальність відеозв'язку, км
DJI Matrice 300	Китай	2.400-2.483	900	29,5	15
		5.725-5.850	700	28,5	15
DJI Matrice 200	Китай	2.400-2.483	400	26	8
		5.725-5.850	650	28	8
DJI Mavic 3	Китай	2.400-2.483	2000	33	15
		5.725-5.850	2000	33	15
DJI Mavic 2 Pro	Китай	2.400-2.483	400	26	10
		5.725-5.850	400	26	10
Phantom 4 Pro	Китай	2.400-2.483	400	26	7
		5.725-5.850	650	28	7
Autel Evo 2	США	2.4 - 2.4835	500	27	9
Yuneec Typhoon H3	Китай	5.725-5.850			2
Hubsan ZINO Mini Pro	Китай	5.725-5.850	400	26	10
Parrot ANAFI Thermal	Франція	2.400-2.483			4
		5.725-5.850			4

Модель БПЛА	Кодек	Бітрейт, МБ/с	Роздільна здатність відео, пкс	Частота кадрів, к/с	Затримка, мс
DJI Matrice 300	H.264/ H.265		3 x 1920x1080	60	
DJI Matrice 200	H.264/ H.265		1920x1080	30	
DJI Mavic 3	H.264/ H.265	80	1920x1080	60	120
DJI Mavic 2 Pro	H.264/ H.265	40	1920x1080	30	130
Phantom 4 Pro	H.264/ H.265		1280x720	30	220
Autel Evo 2	H.264/ H.265	40	1920x1080	30	
Yuneec Typhoon H3	H.264/ H.265		1280x720	30	
Hubsan ZINO Mini Pro	H.265	20	1920x1080	30	200
Parrot ANAFI Thermal	H.264	5	1280x720	30	280

Таблиця 3 – Характеристики відеозв'язку БПЛА серійного виробництва



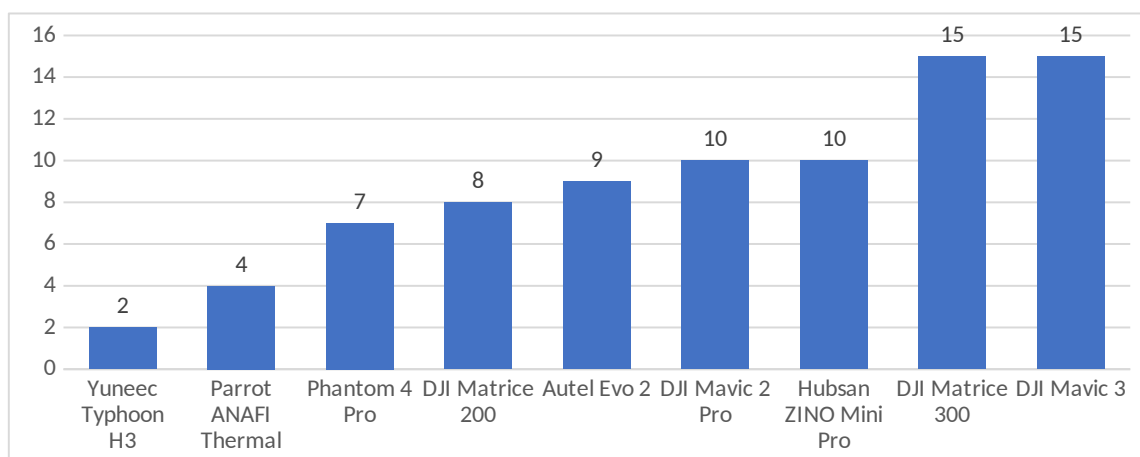


Рисунок 9 – Дальність відеоз'язку серійних БПЛА

На сьогоднішній день в ДСНС використовуються БПЛА, перелік яких наведено вище. Виробники постійно оновлюють парк своїх БПЛА новими моделями з покращеними можливостями, в тому числі й зі збільшеною дальністю відеоз'язку. Зважаючи на тенденції, цілком можливе використання останніх розробок в подальшому в підрозділах ДСНС. В таблиці 2 й 3 наведено характеристики відеоз'язку БПЛА серійного виробництва.

Як видно з рисунку 9, найбільшу дальність відеоз'язку здатні забезпечити останнє покоління БПЛА виробництва компанії DJI, що є спеціалізованими продуктами для комерційного використання, проте внаслідок високої вартості в ДСНС не набули поширення.

Окрім використання серійних БПЛА з інтегрованими системами відеоз'язку поширеним шляхом організації відеоз'язку з БПЛА є використання сторонніх систем, створених як на базі спеціалізованих рішень, так і на базі універсальних комп'ютерних рішень. Характеристики таких систем наведено в таблицях 4 та 5.

Таблиця 4 - Характеристики серійних систем відеоз'язку для БПЛА

Назва моделі	Країна виробник	Частота, МГц	Потужність передавача, мВт	Рівень сигналу, дБм	Дальність відеоз'язку, км
Insight 5G	Китай	5100 - 5825	200	23	5
Insight Pro	Китай	5100 - 5825	200	23	5
Herelink Long Range HD	Велико-британія	2.4			20
Siyi HM30	Китай	5100 - 5825	320	25	30
Suntor ST30HPT	Китай	2.402-2.478			30
CONNEX mini	Ізраїль	5100 - 5825			1
LinkAV -1614	Китай	300 - 2.700	1000	30	20
OpenHD	Міжнародна спільнота	2.400-2.483	500	27	50
		5100 - 5825			
RubyFPV	Міжнародна спільнота	2.400-2.483	500	27	45
		5100 - 5825			

Таблиця 5 - Характеристики серійних систем відеоз'язку для БПЛА

Назва моделі	Кодек	Бітрейт, МБ/с	Роздільна здатність відео	Частота кадрів	Затримка, мс
Insight 5G	H.264		1920x1080	30	80
Insight Pro	H.264		1920x1080	60	60
Herelink Long Range HD	H.264		1920x1080	60	110
Siyi HM30	H.264/ H.265		1920x1080	60	150
Suntor ST30HPT	H.264	12	1920x1080	60	70
CONNEX mini			1920x1080	60	< 1
LinkAV -1614	H.264		1920x1080	30	80

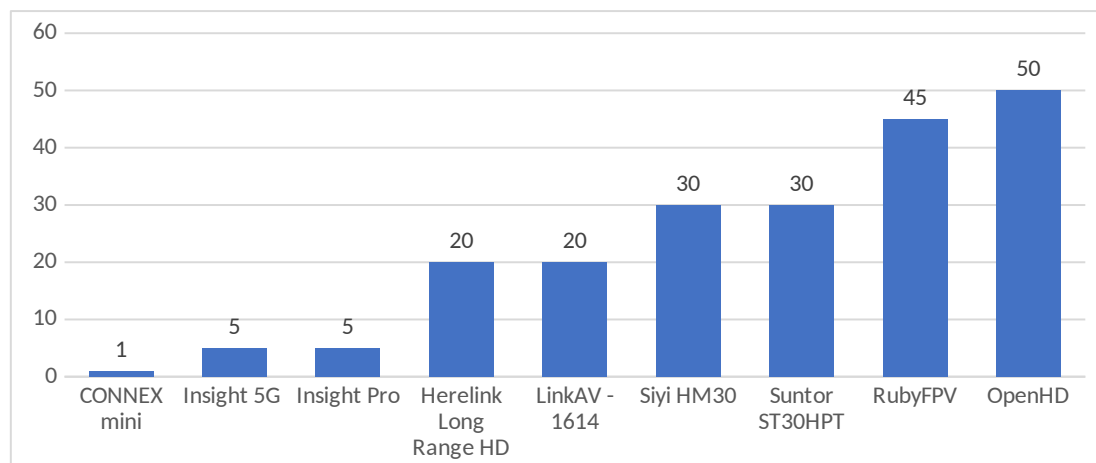


Рисунок 10 – Дальність відеозв'язку окремих систем

Як видно з рисунку 10, найбільша дальність відеозв'язку таких систем становить 45-50 км, що в разі перевищує інтегровані системи відеозв'язку БПЛА серійного виробництва вищої цінової категорії.

Ключовим моментом при проведенні відеозв'язку в режимі реального часу є об'єм даних, що передається. В таблиці 6 наведено різницю між швидкостями передачі стиснутих і нестиснутих даних. Кодування H.265 дозволяє зменшити швидкість передачі даних та заощадити на ширині займаної смуги. В даний час кодування H.264, що є найпоширенішим форматом для запису, стиснення та передачі відеоконтенту – величезний крок вперед на шляху до вдосконалення технології стискання відео та один з кількох можливих наступників формату AVC, що широко використовується (H.264 або MPEG-4 part 10).

Наприклад, при використанні формату 1080p швидкість передачі стиснутих даних дорівнює 14,93 Мбіт/с. даними на такій швидкості легко керувати на бездротовому фізичному рівні та за допомогою baseband-процесора.

Таблиця 6 – Швидкості передачі стиснутих і нестиснутих даних

Формат	Кількість ліній по горизонталі	Кількість ліній по вертикалі	Пікселі	Швидкість передачі нестиснутих даних, Мбіт/с	Швидкість передачі стиснутих даних, Мбіт/с, $k_{стиск.} 200$	QPSK Ширина смуги сигналу, МГц	16 QAM Ширина смуги сигналу, МГц	64 QAM Ширина смуги сигналу, МГц
VGA	640	480	307200	442	2,2	1,375	0,6875	0,4583
720p	1280	720	921600	1328	6,64	4,1250	2,0625	1,3750
1080p	1920	1080	2073600	2986	14,93	9,3125	4,6563	3,1042
2к	2048	1152	2359296	3400	17,0	10,6250	5,3125	3,5417
4к	4096	2160	8847360	12740	63,7	30,8125	19,9063	13,2708

Трансляція відео в режимі реального часу при проведенні розвідки з борту БПЛА ведеться до наземної станції управління (далі – НСУ) зазвичай в ультракороткохвильовому або надвисокочастотному діапазоні, особливістю якого є знаходження літального апарату в зоні «прямої видимості» поширення радіохвиль в просторі. Гранична дальність проведення трансляції відео залежить від конкретних характеристик комплексів БПЛА, що застосовуються. Наприклад, на частотах 2,4 ГГц вона становить близько 10-15 км (рис. 11).





Рисунок 11 – Зона прямої видимості радіосигналу

У зоні польоту БПЛА можуть бути присутніми перешкоди, які створюють «мертву зону» для прийому радіохвиль, це необхідно враховувати при плануванні маршруту і висоти польоту (рис. 12).

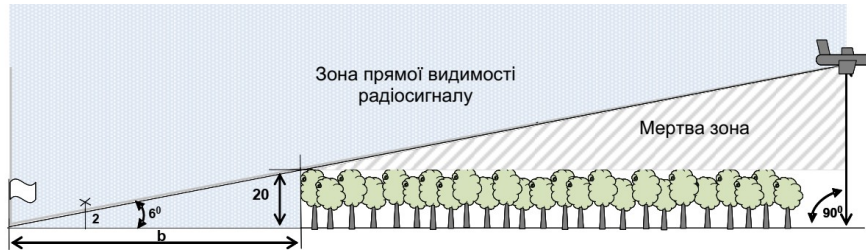


Рисунок 12 – Мертва зона радіосигналу

Максимальна дальність радіозв'язку визначається як [6]:

$$r_0 = 3,57 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

де

$r_0$  - максимальна дальність радіозв'язку, км;

$h_1$  - висота підйому першої антени, м;

$h_2$  - висота підйому другої антени, м.

Як правило, антена НСУ є мобільною і встановлюється на висоті не більше 10 м. На рисунку 13 показана залежність максимальної дальності радіозв'язку від висоти польоту БПЛА при деяких заданих висотах підйому антени НСУ.

Як видно з рисунка 13, залежність максимальної дальності зв'язку від висоти підйому антени НСУ слабка, тому висота щогли для установки наземної антени визначається необхідністю зниження впливу багатопроменевості з урахуванням можливих перешкод на шляху поширення сигналу (рельєф місцевості, будівлі) [7].

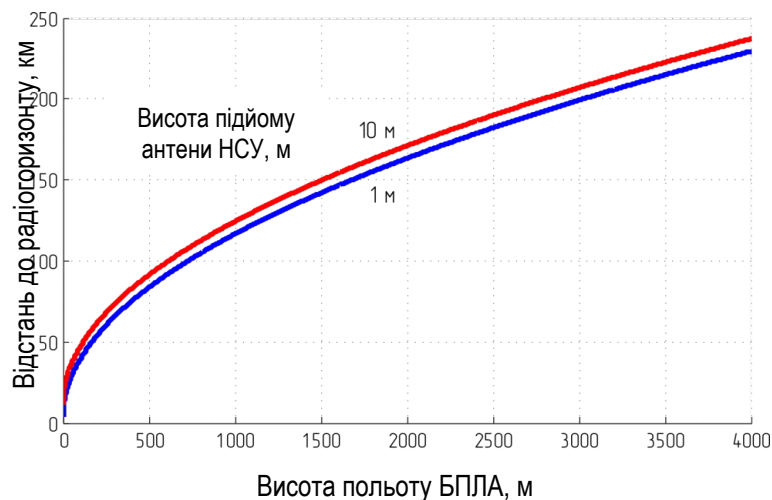


Рисунок 13 – Максимальна дальність зв'язку в залежності від висоти підйому антен БПЛА і НСУ

Для БПЛА, що працює для забезпечення оперативних дій максимальна дальність відеопередачі є критичним параметром. Однак необхідно, щоб зв'язок не пропадав навіть на обмеженій відстані при поширенні в повітряному середовищі з водяною парою (туман, хмари), дощем, снігом та іншими перешкодами, які можуть послабити сигнал.

Чутливість приймача, як правило, визначається мінімальним рівнем вхідного сигналу  $S_{\min}$ , який потрібен для демодуляції або відновлення інформації від передавача. Знаючи величину чутливості, можна обчислити максимальну дальність передачі наступним чином:

$$S_{\min} = 10 \lg(kT_0 \text{ШП}) + \text{КШ} + (C/\text{Ш})_{\min} = \\ = -174 \text{ дБм} + 10 \lg \text{ШП} + \text{КШ} + (C/\text{Ш})_{\min},$$

де  $(C/\text{Ш})_{\min}$  – мінімальне відношення сигналу до шуму, необхідне для обробки сигналу;

КШ – коефіцієнт шуму приймача;

k – стала Больцмана, що дорівнює  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;

$T_0 = 290$  К – абсолютна температура на вході приймача;

ШП – ширина смуги пропускання приймача, Гц.

Величина  $(C/\text{Ш})_{\min}$  залежить від порядку модуляції або демодуляції. При незмінному С/Ш помилки нижчі при відносно малому порядку модуляції, а при однаковому числі помилок для демодуляції потрібне велике значення С/Ш при вищому порядку модуляції. Таким чином, якщо передавач знаходиться далеко від приймача, сигнал стає слабшим, і величина С/Ш не дозволяє реалізувати демодуляцію вищого порядку. Щоб уникнути цього та забезпечити передачу відеосигналу з тією ж швидкістю, використовується модуляція меншого порядку за рахунок збільшення ширини смуги пропускання. Завдяки цьому зображення не розмивається.

Програмно визначені радіосистеми з цифровою модуляцією і демодуляцією мають здатність змінювати порядок модуляції. Чим більша радіочастотна потужність при фіксованому коефіцієнті посилення антени, тим більша дальність зв'язку з використанням приймача з фіксованою чутливістю. Однак величина максимальної потужності, що передається, повинна відповідати вимогам стандартів FCC/CE.

Крім того, частота несучої впливає на дальність передачі. При поширенні хвилі у вільному просторі виникають втрати через дисперсію, що визначається наступним чином:

$$B_{\text{дист}} = 20 \lg \frac{4\pi R}{\lambda} = 20 \lg \frac{4\pi Rf}{c}$$

де R – відстань;

$\lambda$  – довжина хвилі;

f – частота;

c – швидкість світла.

Таким чином, що більша частота сигналу, то більше втрат при незмінній дальності зв'язку у вільному просторі. Наприклад, при частоті несучої 5,8 ГГц ослаблення сигналу виявиться приблизно на 7,7 дБ більше, ніж при його проходженні на ту саму відстань на частоті 2,4 ГГц.

Частота 2,4 ГГц широко використовується для зв'язку Wi-Fi, Bluetooth та IoT, що часто перевантажує канали. Робота на цій частоті для передачі відео та керуючих сигналів підвищує ймовірність виникнення перешкод та нестабільної роботи, що небажано у випадку з БпЛА.

Перемикання на інший частотний діапазон забезпечує більш надійну передачу даних та керування зв'язком. Як тільки передавач виявляє перевантажений частотний діапазон, він автоматично перемикається з метою використання іншої смуги. Адаптивний вибір несучої частоти або каналу в робочому режимі – одна з найпотрібніших функцій сучасних БпЛА.

Залежно від робочої дальності польотів БпЛА, як антена НСУ використовуються або антени з великим коефіцієнтом спрямованої дії (КСД), або слабкоспрямовані антени. Для антен з великим КСД необхідне використання опорно-поворотного пристрою і системи стеження за БпЛА, так як ширина основної пелюстки діаграми спрямованості таких антен, як правило, менше  $10^\circ$ . Так як до наземного обладнання не пред'являється жорстких вимог по масогабаритних характеристиках, використання в якості антени НСУ скануючої цифрової антенної решітки не завжди виправдане з огляду на її велику вартість, за винятком випадків використання антенної решітки для одночасного спостереження за декількома БпЛА.

Дальність зв'язку в тому числі визначається таким параметром антени як коефіцієнт посилення, вимірюється в дБі. Коефіцієнт посилення є важливим параметром, тому що він враховує:

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

- втрати в самій антені [6,8].

Для збільшення дальності зв'язку варто вибрати антени з максимально можливим значенням коефіцієнта посилення з тих, що підходять за масогабаритними параметрами та можливостями системи відеозв'язку.

Найбільш ефективними бортовими антенними пристроями для міні-класу БПЛА є всеспрямовані антени, що мають кругову поляризацію, проте малу потужність та невисокий коефіцієнт посилення.

Найбільшу дальність зв'язку для наземних антенних систем можливо досягнути, використовуючи високоефективні антенні решітки, що мають високу ефективність випромінювання за рахунок мінімізації втрат в розподільчому пристрої.

Провали в напруженості електромагнітного поля виникають через додавання в протифазі в місці розташування антени НСУ прямого і відбитого від поверхні Землі сигналу.

Подібних осциляцій сигналу на НСУ можна позбутися, виконавши 2 умови<sup>^</sup>

- використовувати на НСУ модем принаймні з двома каналами прийому (RX diversity);
- розташувати приймальні антени на щоглі НСУ на різній висоті.

Рознесення висот приймальних антен повинно бути виконане так, щоб провали в напруженості поля в місці розташування однієї антени компенсувалися рівнями вище чутливості приймача в місці розташування іншої антени.

При виборі частоти ліній відеозв'язку необхідно враховувати також ослаблення сигналу під час поширення у атмосфері Землі. Для ліній відеозв'язку НСУ-БпЛА ослаблення в атмосфері викликається газами, дощем, градом, снігом, туманом та хмарами [9]. Для робочих частот радіоліній менше 6 ГГц ослабленням у газах можна знехтувати. Найбільш сильне ослаблення спостерігається у дощах, особливо високої інтенсивності (зливах). У таблиці 7 наведено дані [9] щодо згасання [дБ/км] у дощах різної інтенсивності для частот 3-6 ГГц.

Таблиця 7 – Ослаблення радіохвиль [дБ/км] у дощах різної інтенсивності залежно від частоти

Рівень опадів	Частота, ГГц			
	3	4	5	6
3 мм/год (слабкий)	$0.3 \cdot 10^{-3}$	$0.3 \cdot 10^{-2}$	$0.8 \cdot 10^{-2}$	$1.4 \cdot 10^{-2}$
12 мм / год (помірний)	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^{-2}$	$3.7 \cdot 10^{-2}$	$7.1 \cdot 10^{-2}$
30 мм/год (сильний)	$3.6 \cdot 10^{-3}$	$3.7 \cdot 10^{-2}$	$10.6 \cdot 10^{-2}$	$21 \cdot 10^{-2}$
70 мм/година (злива)	$8.7 \cdot 10^{-3}$	$9.1 \cdot 10^{-2}$	$28 \cdot 10^{-2}$	$57 \cdot 10^{-2}$

Із табл. 7 можемо зробити висновок, що, наприклад, на частоті 3 ГГц ослаблення сигналу в зливні складе близько 0.0087 дБ/км, що на трасі 100 км дасть 0.87 дБ сумарного ослаблення. При підвищенні робочої частоти радіолінії ослаблення дощу різко зростає. Для частоти 4 ГГц ослаблення у зливні на цій же трасі складе вже 9.1 дБ, а на частотах 5 та 6 ГГц – 28 та 57 дБ відповідно. При цьому, однак, передбачається, що дощ із заданою інтенсивністю має місце протягом траси, що рідко буває на практиці. Тим не менш, при використанні БЛА в місцевостях, де часто є дощі високої інтенсивності, рекомендується вибирати робочу частоту радіолінії нижче значення 3 ГГц.

**Висновки.** Таким чином, можна стверджувати, що БпЛА серійного виробництва мають обмежену дальність використання в діяльності ДСНС, саме за рахунок обмеженої дальності відеозв'язку, яка складає для поширених моделей до 15 км в межах прямої видимості. Наявність перешкод зумовлених рельєфом місцевості, рослинністю, щільністю забудови, погодними умовами та джерелами електромагнітного випромінювання буде значно зменшувати дальність відеозв'язку в режимі реального часу. Тому, це зумовлює використання таких БпЛА лише для завдань точкового відеоспостереження або проведення інших робіт з невеликою дальністю польоту. Підвищити дальність відеозв'язку можливо за рахунок існуючих окремих систем, що мають необхідні технічні характеристики. Проте використання таких систем із БпЛА серійного виробництва є майже неможливим для переважної більшості моделей. Шляхом універсалізації парку БпЛА є розробка та створення уніфікованого БпЛА на базі існуючих технічних рішень саме для потреб ДСНС.

**Перспективи подальших досліджень.** Ідеальним варіантом уніфікованого БпЛА для потреб ДСНС є використання моделі з максимальною дальністю польоту, значною тягооснащеністю літального апарату, потужним передавачем відеосигналу із застосуванням сучасних методів кодування/декодування відеоданих та оснащення наземною станцією управління обладнанням для прийому/передачі даних з відповідними характеристиками.

***«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація», Том 5 № 2 (2021)***

Вартість подібних серійних моделей є доволі значною. Тому оптимальним варіантом є створення таких апаратів на базі існуючих окремих технічних рішень. Проте враховуючи вимоги сучасної нормативної бази щодо державних повітряних суден основною складністю вбачається питання реєстрації такого повітряного судна.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О. Тищенко, І. Маладика, А. Биченко, М. Пустовіт / Можливості БПЛА різних типів під час виконання завдань за призначенням у сфері діяльності ДСНС. // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021. С. 133-135.
2. Орел Б., Пустовіт М., Орлов С. / Система передачі даних на великі відстані для безпілотного літального апарату // Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів «Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених» конференції – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021. С. 175-177.
3. Про затвердження Правил реєстрації державних повітряних суден України та Правил сертифікації екземпляра державного повітряного судна України: наказ Міністерства оборони України від 07.02.2012 № 63 (із змінами) // «Законодавство України» / ВР України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0334-12#Text> (дата звернення 12.01.2022).
4. Про допуск до експлуатації безпілотних літальних апаратів : наказ ДСНС від 20.11.2018 № 675. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nakazi/85780.html> (дата звернення: 12.01.2022 р.).
5. Про внесення змін до наказу ДСНС від 20.11.2018 № 675: наказ ДСНС від 08.02.2019 №92. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nakazi/89229.html> (дата звернення: 12.01.2022 р.).
6. С. А. Balanis. Antenna theory. Analysis and design. Fourth edition. John Wiley & Sons. 2016.
7. Боев Н. М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами // Сибирский аэрокосмический журнал. 2012. №2 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-komandno-telemetricheskoy-radiolinii-svyazi-s-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami> (дата звернення: 12.01.2022 р.).
8. Antenna gain. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna\\_gain](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_gain) (дата звернення: 12.01.2022 р.).
9. Калинин А. И., Черенкова Е. Л. Распространение радиоволн и работа радиолиний. Связь. Москва. 1971.

REFERENCES

1. O. Tishchenko, I. Maladyka, A. Bychenko, M. Pustovit / Possibilities of UAVs of different types during the performance of assigned tasks in the field of SES. // Theory and practice of firefighting and emergency response: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference - Cherkasy: ChIPB. Heroes of Chernobyl NUTSZ of Ukraine, 2021. S. 133-135.
2. Orel B., Pustovit M., Orlov S. / Long-range data transmission system for unmanned aerial vehicles // Proceedings of the All-Ukrainian scientific-practical conference of cadets and students "Science of Civil Defense as a way of becoming young scientists" conference - Cherkasy: CHIPB them. Heroes of Chernobyl NUTSZ of Ukraine, 2021. S. 175-177.
3. On approval of the Rules of registration of state aircraft of Ukraine and the Rules of certification of a copy of the state aircraft of Ukraine: order of the Ministry of Defense of Ukraine of 07.02.2012 № 63 (as amended) // "Legislation of Ukraine" / VR of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0334-12#Text> (access date 12.01.2022).
4. On admission to operation of unmanned aerial vehicles: order of the SES dated 20.11.2018 № 675. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nakazi/85780.html> (application date: 12.01.2022).
5. On amendments to the order of the SES dated 20.11.2018 № 675: order of the SES dated 08.02.2019 №92. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nakazi/89229.html> (access date: 12.01.2022)
6. C.A. Balanis. Antenna theory. Analysis and design. Fourth edition. John Wiley & Sons. 2016.
7. Boev NM Analysis of command-telemetry radio communication line with unmanned aerial vehicles // Siberian Aerospace Journal. 2012. №2 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-komandno-telemetricheskoy-radiolinii-svyazi-s-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami> (access date: 12.01.2022).
8. Antenna gain. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna\\_gain](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_gain) (accessed 12 January 2022).
9. Kalinin AI, Cherenkova EL Propagation of radio waves and operation of radio lines. Communication. Moscow. 1971

**Viktor Hvozd**, Candidate of engineering sciences, full professor,

**Ihor Maladyka**, Candidate of engineering sciences, docent

**Artem Bychenko**, Candidate of engineering sciences, docent

**Mykhailo Pustovit**, Lecturer

*Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of NUCD in Ukraine*

## **APPLICATION OF UAV VIDEO COMMUNICATION SYSTEMS DURING INVESTIGATION OF EMERGENCY SITUATIONS**

*The appearance in widespread use of unmanned aerial vehicles, both multi-rotor and wing-carrying aircraft, revealed the possibility of their use in the activities of the State Emergency Service of Ukraine. They can be used for emergency reconnaissance, aerial surveying, search operations, aviation chemical work related to the circulation of hazardous substances, monitoring of territories and objects, transmission of radio signals, delivery to the site of emergencies various types of payload, conducting alerting, lighting emergency situations and direct firefighting. Therefore, the issue of using unmanned aerial vehicles in the activities of the State Emergency Service of Ukraine is relevant.*

*In essence, the use of an unmanned aerial vehicle is reduced to two main types of work - observation or work around a point object or movement over long distances to ensure work on the earth's surface. It is clear that the technical characteristics of the unmanned aerial vehicle determines its suitability for use in the relevant types of work.*

*One of these characteristics is the range of radio communication, the busiest channel of which is real-time video communication, which is essential for most assigned tasks.*

*The article attempts to estimate the range of video data transmission by radio for the most common models of multi-rotor unmanned aerial vehicles of mass production and video data transmission systems that can be used optionally. To this end, we analyze the characteristics of video transmission systems, factors that affect the quality of video communication and others. Existing mass-produced models are best suited to work around a point object. Their use for long-distance flights will be limited by the range of video data transmission.*

*By overcoming this situation, the authors see the use of unified unmanned aerial vehicles equipping them with optional video transmission systems.*

**Key words:** *unmanned aerial vehicle, emergency, video communication.*