

ОБҐРУНТУВАННЯ БЕЗПІЛОТНОЇ АЕРОМОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ОПЕРАТИВНОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У РАМКАХ ДЕРЖАВНОЇ ІНТЕГРОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Аналіз проблеми

Розвиток засобів інформатизації суспільства виводить на новий рівень систему державного господарювання як ієрархічну систему кібернетичного управління. Вимогами сьогодення є використання досягнень у галузі систем цифрового зв'язку, глобальних навігаційних систем та систем спостереження для підвищення ефективності управління державою.

Згідно з [1] в Україні розпочато розробку засад побудови державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження) (ДІС).

Ключовими елементами, які присутні у більшості підсистем контролю окремих видів об'єктів у рамках ДІС є системи визначення координат об'єктів контролю та системи передачі інформації. Значного розвитку останнім часом набули глобальні системи супутникової навігації (GPS) і без провідні системи цифрового зв'язку (БСЦЗ).

Розробка систем зв'язку та передачі інформації у ДІС має здійснюватися з обов'язковим урахуванням існуючої інфраструктури систем зв'язку (інформаційних магістралей).

Для вирішення оперативних завдань державного управління Міністерством надзвичайних ситуацій (МНС), Міністерством внутрішніх справ (МВС), Департаментом прикордонних військ (ДПВ), Міністерством оборони (МО), Міністерством транспорту і зв'язку (МТЗ) для реалізації кінцевого етапу (магістраль передачі даних – користувач) у рамках ДІС можуть використовуватись зокрема системи аеромобільної передачі даних на базі безпілотних літальних апаратів (літаків та аеростатів) (БПЛА).

Підхід до обґрунтування безпілотної аеромобільної мережі оперативного зв'язку та передачі даних у рамках ДІС розглянемо на прикладі вирішення завдань авіаційних пошуково-рятувальних робіт (АПРР) МНС. Обґрунтуванню підлягають необхідна дальність дії та пропускна здатність системи зв'язку.

Вітчизняна система проведення АПРР діє у межах єдиної державної системи запобігання і реагування на НС техногенного та природного характеру [2]. Її основні завдання: проведення авіаційного пошуку та рятування повітряних суден (ПС), що зазнали лиха; проведення аварійно-рятувальних робіт з використанням авіаційних сил і засобів у НС.

Ефективність АПРР Укравіапошуку у даний період обмежується наступними проблемами [2]: мінімально достатня щільність розташування авіаційних пошуково-рятувальних сил і засобів на території України; недостатній рівень пошуково-рятувального забезпечення польотів над акваторіями Азовського та Чорного морів; відсутнє авіаційне забезпечення ліквідації наслідків НС у мегаполісах; необхідність заміни або модернізації значної кількості авіаційної техніки, яка знаходиться на оснащенні авіації МНС [2].

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Відповідно до вимог [3], до чергування в державній системі АПРР залучені 10 пошуково-рятувальних суден МНС, МВС, МО, цивільної авіації на 9 аеродромах в усіх зонах АПРР.

Суттєвому підвищенню ефективності дій підрозділів МНС під час виконання пошуково-рятувальних завдань може сприяти застосування БЛПС. БЛПС можуть використовуватись для проведення пошуку у зонах НС та на акваторіях; оперативного відновлення зв'язку; цілевказування наземним та авіаційним пошуковим групам; вимірювання радіаційного забруднення та концентрацій шкідливих речовин у повітрі над зонами НС та ін.

Перевагою БЛПС над літаками, що пілотуються, є можливість старту з необладнаних майданчиків невеликих розмірів та з кораблів. Це дозволяє реалізувати регіональне розташування таких літаків без додаткової підготовки місць базування. У даний час Україна має вітчизняних виробників БПЛА.

Постановка задачі та її розв'язання

Визначимо необхідний радіус дії та пропускну здатність аеромобільної телекомунікаційної мережі на базі безпілотних літаків (БЛ) для вирішення задач МНС. Як вихідні дані приймаємо узагальнені кількісні дані по типах та масштабах НС у регіонах України [2].

Для успішного вирішення задачі спостереження території НС одним БЛ радіус його дії має бути не меншим, ніж найбільший поперечний розмір типової НС. У табл. 1 наведено узагальнені дані по класах НС та їх характерні розміри. Припустимо, що окремі НС виникають незалежно одна від одної. У цьому випадку імовірність її виникнення може бути визначена за співвідношенням:

$$P_i(R_j) = \frac{N_i(R_j)}{N_0}, \quad (1)$$

де $P_i(R_j)$ – імовірність виникнення НС i -го класу та розміру R_j ; $N_i(R_j)$ – кількість НС i -го класу та розміру R_j ; N_0 – загальна сумарна річна кількість усіх НС, що враховуються: $i=1,2, \dots, n$; $j=1,2, \dots, m$; n – кількість класів НС (3 – природні, техногенні, загальні дані); m – кількість масштабів НС (4 – державний, регіональний, місцевий, об'єктовий).

Величина $P_i(R_j)$ може розглядатись, як щільність імовірності виникнення НС у зв'язку з тим, що остання є імовірністю того, що розмір НС потрапляє у безконечно малий район навколо значення R_j .

Імовірність того, що випадкова величина потрапляє у діапазон від безкінечності до R_j являє собою з одного боку – закон розподілення випадкової величини, а з іншого – імовірність того, що НС не матиме розмір, більший за R_j :

$$I_i(R_k) = \sum_{j=1}^k P_i(R_j), \quad k=1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

де $I_i(R_k)$ – закон розподілення НС i -го класу та розміру R_k .

У табл. 1 та на рис. 1 і 2 наведено дані по імовірності виникнення НС заданого розміру (щільність імовірності) та імовірності того, що НС не матиме розмір більше заданого (закони розподілення). Можна зробити висновок, що найбільшим розміром для техногенних НС є 100 км, для природних – 250 км, для України в цілому – 250 км.

Таблиця 1

Масштаб НС	Розмір НС, км	Загальні дані			Природні НС			Техногенні НС		
		Кількість НС	Імовірність виникнення	Закон розподілення	Кількість НС	Імовірність виникнення	Закон розподілення	Кількість НС	Імовірність виникнення	Закон розподілення
Державний	500	7	0.024476	1	3	0.01049	0.34965	2	0.006993	0.545455
Регіональний	250	13	0.045454	0.975524	10	0.034965	0.339161	3	0.01049	0.538462
Місцевий	50	105	0.367133	0.93007	44	0.153846	0.304196	51	0.178322	0.527972
Об'єктовий	25	161	0.562937	0.562937	43	0.15035	0.15035	100	0.34965	0.34965
заг. кількість		286			100			156		

Таким чином, для розширення можливостей пошуково-рятувальних підрозділів МНС можна використовувати два літаки спостереження з різними (найменшими) радіусами дії: 100 км для літака спостереження техногенних НС та 250 км – для літака спостереження природних НС.

При висоті польоту БЛ H дальність радіозв'язку D складатиме:

$$D = 3,57 \left(\sqrt{H_{\text{прийм}}} + \sqrt{H_{\text{перел}}} \right) \quad (3)$$

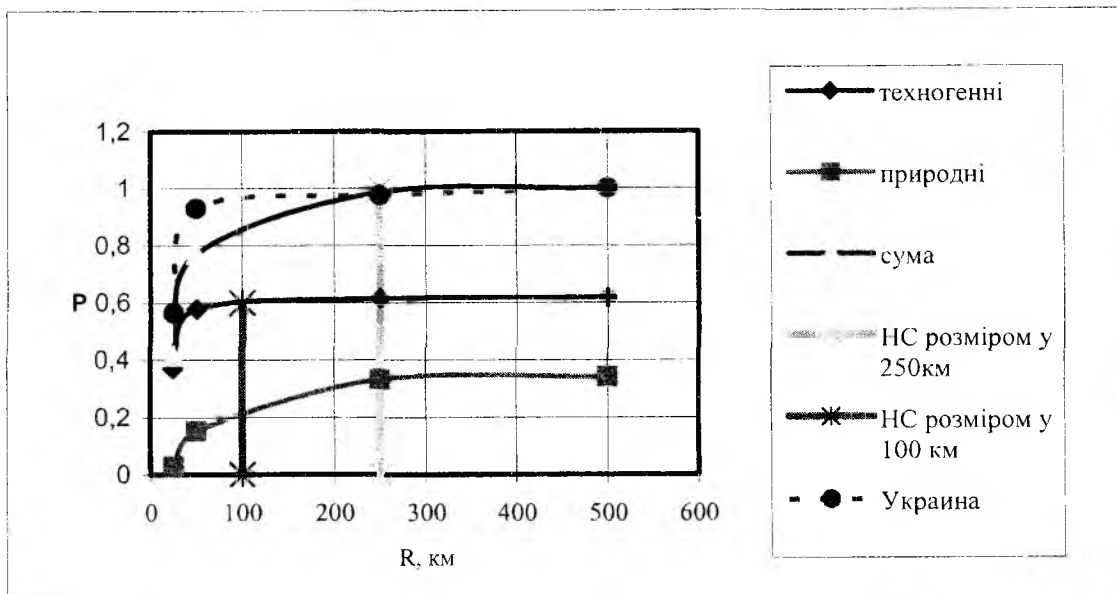


Рис. 1

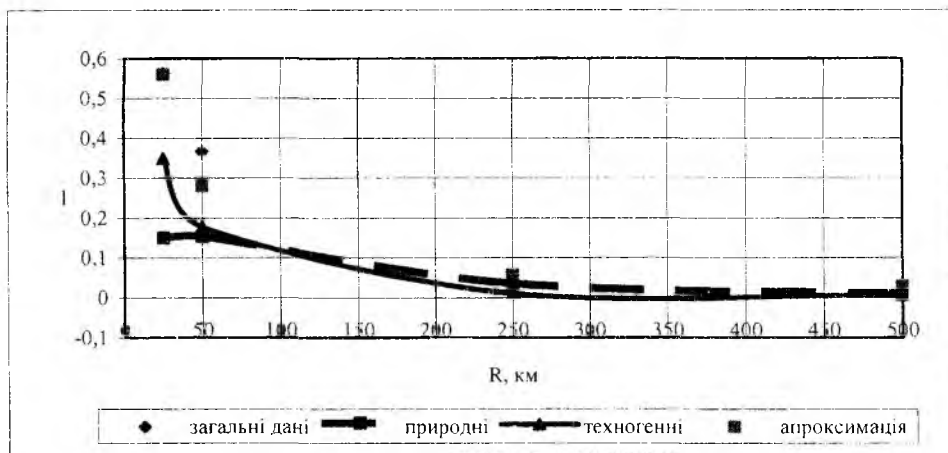


Рис. 1

Кількість БЛ N , що забезпечують зв'язок на відстані R , яка дорівнює характерному розміру НС складатиме:

$$N=R/D. \quad (4)$$

Розрахунки необхідної кількості БЛ за формулами (3) та (4) для забезпечення зв'язку для різних розмірів НС та висот польоту наведені у табл. 2 та на рис. 2.

Виходячи з аналізу даних, наведених у табл. 2 та на рис. 3, структура ТКС у даному випадку повинна бути у вигляді ланцюга, у якому інформація передається від найдальших БЛ від пункту керування через сусідні літаки до найближчих.

Таблиця 2

Розмір НС	Висота, м	Дальність зв'язку, км	Кількість БПЛА	Гарантована кількість БПЛА	Розмір НС	Дальність зв'язку, км	Кількість БПЛА	Гарантована кількість БПЛА
250	100	71.4	3.501401	4	100	71.4	1.40056	2
250	200	100.9748	2.475864	3	100	100.9748	0.990346	1
250	400	142.8	1.7507	2	100	142.8	0.70028	1
250	600	174.8936	1.429441	2	100	174.8936	0.571776	1
250	800	201.9497	1.237932	2	100	201.9497	0.495173	1
250	1000	225.7866	1.10724	2	100	225.7866	0.442896	1
250	2000	319.3105	0.782937	1	100	319.3105	0.313175	1

Кількість точок ТКС коливатиметься у залежності від висоти польоту БЛ та розміру НС. Для характерних для мало розмірних БЛ висот польоту (1000-3000 м) та для найгіршого випадку НС розміром 250 км кількість вузлів телекомунікаційної мережі складатиме 2 – 4.

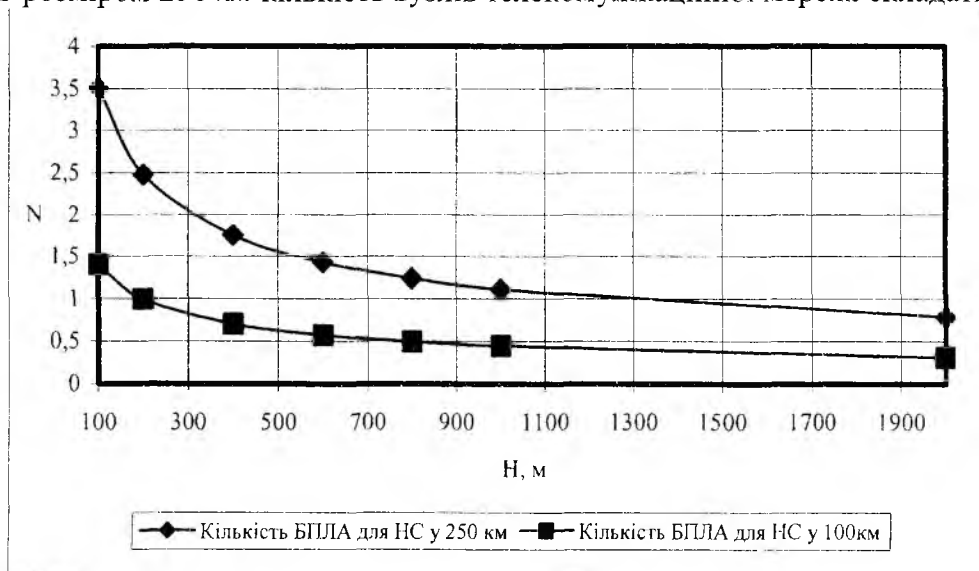


Рис. 3

Розглянемо закономірності інформаційного трафіку в окремих вузлах такої аеромобільної ТКС. Аналіз різних протоколів обміну інформації у безпроводних мережах дозволяє дійти висновку, що найбільш завадостійким з них є протокол IEEE 802.15 (Bluetooth).

Результати проведених авторами експериментальних досліджень пропускну здатності одного вузла ТКС, побудованої на основі протоколів обміну інформації IEEE 802.15 без підтвердження передачі (udp) та з гарантованою передачею пакетів (tcp) наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Інтенсивність генерації вхідного трафіку, кбіт/с	Вихідний трафік, кбіт/с (udp)	Відсоток втрат, %	Коефіцієнт передачі трафіку	Вихідний трафік, кбіт/с (tcp)	Відсоток втрат, %	Коефіцієнт передачі трафіку
25	24.94	0.21	1.00	24.95	0.20	1.00
50	49.78	0.43	1.00	49.79	0.43	1.00
75	74.51	0.65	0.99	74.51	0.65	0.99
100	99.11	0.88	0.99	97.51	2.49	0.98
125	123.5	1.14	0.99	123.269	1.38	0.99
150	148.0	1.31	0.99	147.388	1.74	0.98
175	172.3	1.53	0.98	171.464	2.02	0.98
200	196.4	1.77	0.98	196.415	1.79	0.98
225	220.6	1.95	0.98	220.972	1.79	0.98
250	244.5	2.17	0.98	241.818	3.27	0.97
275	268.5	2.33	0.98	263.468	4.19	0.96
300	292.4	2.51	0.97	280.695	6.44	0.94
325	315.7	2.85	0.97	295.391	9.11	0.91
350	340.9	2.59	0.97	296.838	15.19	0.85
375	362.4	3.36	0.97	303.413	19.09	0.81
400	335.6	16.08	0.84	299.847	25.04	0.75
425	356.6	16.08	0.84	315.454	25.78	0.74
450	342.9	23.79	0.76	299.971	33.34	0.67
475	337.0	29.05	0.71	303.787	36.04	0.64
500	366.2	26.76	0.73	309.119	38.18	0.62

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок про суттєву нелінійність коефіцієнта передачі трафіку кожного окремого вузла. У такому разі вихідний трафік Y_i i -го вузла мережі буде визначатися співвідношеннями:

$$Y_i = k(Y_{i-1}) * Y_{i-1} \quad (5)$$

або

$$Y_i = k(k(\dots i \dots k(x_1) \dots i \dots)) * x_1, \quad (6)$$

де $k(x)$ – нелінійна залежність коефіцієнта передачі i -го вузла від вхідного трафіку; x_1 – вхідний трафік першого вузла мережі.

Максимальна пропускна здатність вузла мережі, який працює з протоколом udr на 15 % вища ніж у вузла, який працює з протоколом tcr.

Висновки

Аналіз діяльності АПРР України показує, що ефективність проведення пошуково-рятувальних операцій обмежується недостатньою щільністю розташування авіаційних пошуково-рятувальних сил і засобів та території України та недостатнім рівнем пошуково-рятувального забезпечення польотів над акваторіями.

Перспективним шляхом подолання цих обмежень є використання БПЛА, що дає змогу збільшити щільність розташування АПРР, підвищити оперативність дії сил МНС та зменшити витрати на проведення АПРР у порівнянні з пілотованими літаками.

Обґрунтовано розрахунком радіус дії БПЛА – 100-250 км в залежності від класу НС.

Обґрунтовано кількісні показники аеромобільної ТКС (1-4 вузли) для різних висот застосування БЛА.

Список літератури: 1. *Розпорядження* КМ України N 410-р від 17 липня 2003 року „Про схвалення Концепції створення державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження)”. 2. *Національна доповідь* про стан техногенної та природної безпеки України у 2006 році. Сайт www.mns.gov.ua. 3. *Постанова* Кабінету Міністрів України від 16.10.1998 р. №1643 «Про заходи щодо вдосконалення організації та проведення авіаційних робіт з пошуку та рятування».

Харківський національний
університет радіоелектроніки

Надійшла до редколегії 15.09.2007