

УДК 629.73:358.421:621.396.43

**ОГОРОДНІЙЧУК М. Д.**, провідний науковий співробітник, доктор технічних наук, професор

## **ТРИРІВНЕВА СИСТЕМА РАДІОЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ВИСОКОМОБІЛЬНИХ АБОНЕНТІВ ПОЛЯ БОЮ І ОПЕРАЦІЇ**

*Пропонується система транкінгово-псевдо-супутниково-супутникового радіозв'язку для високомобільних абонентів поля бою і операції*

*Ключові слова: мобільність, радіозв'язок, супутник, псевдосупутник, бій, операція*

**Вступ.** В США для удосконалення системи управління військами на полі бою останнім часом створена нова система зв'язку WIN-T (Warfighter Information Network Tactical), що поєднує в собі, на основі Інтернет, наземний ультракороткохвильовий (УКХ) псевдосупутниковий і супутниковий радіозв'язок. Це обґрунтовано [1] необхідністю забезпечення якісним зв'язком високомобільних абонентів поля бою, ефективну взаємодію яких вже неспроможна забезпечити існуюча система зв'язку.

Створення подібної системи актуально нині і для України.

**Загальна структура системи**, що пропонується, представлена на рис. 1.

На нижньому її рівні, на поверхні Землі, розташовані, як приклад, дві локальні транкінгові (далі – транкові) підсистеми (мережі) зв'язку з рухомими базовими станціями БС1 і БС2 відповідно, що виконують, за необхідністю, функції комутації і ретрансляції радіосигналів абонентських станцій (АС). Така необхідність виникає, коли відстань між абонентами перевищує радіус дії АС або перевищує відстань прямої видимості

$$D_n = k(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \text{ [км]}, \quad (1)$$

де  $k=3,56\dots 4,12$  – коефіцієнт, що враховує вплив кривизни земної кулі, значення якого вказаних межах залежить ще й від рівня атмосферної рефракції;  $h_1, h_2$  – висоти підняття антен взаємодіючих радіостанцій над навколишньою поверхнею Землі, в метрах.

На середньому рівні, в межах тропосферно-стратосферних висот, над сімейством обслуговуваних локальних транкових мереж або зверху і збоку від них перебуває псевдосупутниковий ретранслятор (ПСР). Разом з БС він створює псевдосупутникову підсистему (мережу) зв'язку, яка призначена для збільшення відстаней прямої видимості і розвантаження дорожчих каналів супутникового зв'язку.

На верхньому рівні, на геостационарній орбіті (ГЕО) з висотою 35835...35875 км, перебуває штучний супутник-ретранслятор (СР), що збільшує діаметр зони видимості на поверхні Землі до 17000 км і разом з БС, командними пунктами (КП) та командно-штабними машинами (КШМ) створює супутникову підсистему зв'язку.

Розглянемо ці підсистеми більш детально.

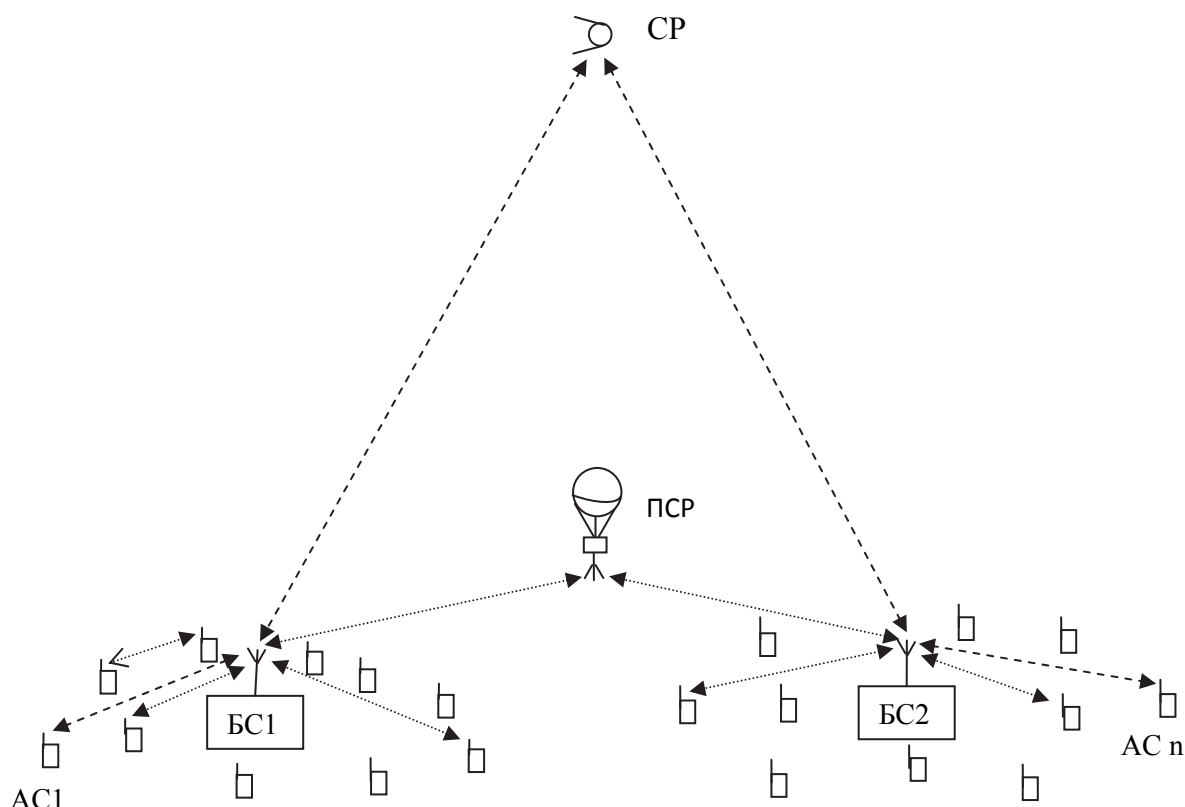


Рис. 1. Структурна схема транково-псевдосупутниково-супутникової системи зв'язку

**Транкова підсистема радіозв'язку** складається з сімейства локальних транкових мереж (ЛТМ), які можуть перекриватися або бути відокремленими (рис. 1). Кожна ЛТМ містить БС на рухомій транспортній платформі (РТП), що обслуговує групу абонентів, які перебувають на її території. Абонент оснащений АС – переносною (ранцевою чи портативною) або перевізною радіостанцією УКХ діапазону. Крім того, є центр управління, який формує базу даних, контролює і оптимізує роботу підсистеми, забезпечує її техобслуговування [2].

Транковий зв'язок – це різновид мобільного зв'язку, у якого, на відміну від стільникового, рухомими є не тільки абонентські станції, але й БС. Важливі для військових застосувань його переваги – це можливість прямого зв'язку між абонентами (рис. 1); використання АС як ретранслятора для збільшення зони обслуговування ЛТМ у необхідному напрямку; зв'язок у межах ЛТМ за коротким номером; груповий виклик кількох абонентів; селекторний зв'язок через БС; пріоритетне обслуговування абонентів у БС.

Радіус дії транкового зв'язку може досягати (при наявності прямої видимості) 50 км. Звідси: більша потужність передавача АС (до 5 Вт у портативних, 10 Вт у ранцевих, 45 Вт – у перевізних); більші енергоспоживання, маса і габарити АС; обмеженість на тривалість розмови. Але оперативність і надійність – високі, оскільки він використовується, в основному, для службового, відомчого зв'язку.

При переміщенні абонента з однієї у іншу ЛТМ відбувається автоматична передача його обслуговування. Між аналоговою і цифровою ЛТМ має діяти радіошлюз. Час з'єднання може досягати 0,3 с. Стійкий зв'язок забезпечується при

швидкості переміщення абонента до 200 км/год. В таблицях 1 і 2, як приклад, наводяться основні характеристики транкової апаратури серії МОТОРОЛА [3].

Таблиця 1

Основні характеристики АС серії МОТОРОЛА

Характеристика АС типу	DP4000	DP4800	DM4600 / DM4601
Різновид	портативна	портативна	перевізна
Діапазон робочих частот, МГц	136...174	136...174	136...174 і 403...470
Кількість фіксованих частот	1000	1000	-
Крок сітки частот у цифр. реж., кГц	12,5/20/25	12,5/25	12,5/20/25
Вихідна потужність передавача, Вт	1 і 5	1 і 5	25/45 і 25/40
Час роботи в аналоговому/цифровому режимах у циклі 5/5/90, годин	7/10	11,1/16,2	-
Габарити, мм	132x64x35	130x55x41	53x175x206
Маса, грам	390	356	1800

У кожній АС є режими роботи – аналоговий і цифровий. У цифровому режимі кожна АС забезпечує конфіденційність переговорів, в аналоговому режимі – цього нема.



Рис. 2. Перевізні DP4600 і портативні DP4800 АС



Рис. 3. Ретранслятор DR3000

Таблиця 2

Характеристики перевізних ретрансляторів серії МОТОРОЛА

Характеристика ретранслятора	DR3000	DR4300
1	2	3
Діапазон робочих частот, МГц	403...470	136...174 і 403...470
Крок сітки частот, кГц	12,5 і 25	12,5
Кількість каналів	1	1 і 16
Вихідна потужність передавача, Вт	1...40	1...50
Чутливість приймача, мкВ	0,22...0,4	-

1	2	3
Режими роботи	аналоговий і цифровий	аналоговий і цифровий
Напруга електроживлення, В	~100...240, (+13,2)	~(230 ±23), +(13,2 ±2,4)
Діапазон робочих температур	-30°C...+60°C	-
Габарити (В х Ш х Д), мм	133x483x297	-
Маса, кг	14	-

Примітки: 1. Ретранслятор DR3000 має встроєне джерело живлення і забезпечує можливість цілодобової роботи зі 100%-вим навантаженням потужністю 25...40 Вт; використання в аналоговому режимі і в цифровому режимі з частотно-часовим ущільненням та розділенням каналів; використання резервного живлення: підключення, в майбутньому, Ethernet.

2. Характеристики ретранслятора DR4300 наведені в таблиці для аналогового режиму роботи.

**Псевдосупутникова підсистема радіозв'язку.** Оскільки вартість каналу супутникового радіозв'язку досить висока, то практичний сенс має створення у трирівневій системі і більш дешевої, але близької за властивостями, підсистеми зв'язку. Цього можна досягти, використовуючи як носій ретранслятора літак, вертоліт, дирижабль, аеростат, високий будинок тощо [4].

Аеростати мають перевагу перед іншими носіями за розміром зони обслуговування, тривалістю перебування у повітрі, вартістю льотного часу, відсутністю екіпажу.

Таблиця 3

Характеристики псевдосупутників – носіїв ретранслятора

Вид носія Характеристики	Літак Ан-26	Вертоліт Ми-6	Дирижабль	Аеростат прив'язний	Аеростат вілноплав.
Висота, км	6...10	3...5	2...3	3...6	18...22
Радіус зони обслуговування, км	276...356	195...252	159...195	195...276	478...528
Кількість носіїв для за- безп. круглодоб. роботи	3...4	3...4	2	1	1
Відносна вартість перебування у повітрі	1	1,74	1	0,01	0,01
Наявність екіпажу	Є	Є	Є	Нема	Нема

У порівнянні з літаком і вертольотом дирижабль теж має ряд переваг: можливість дрейфу, велика вантажопідймальність, відсутність необхідності в аеродромах, менше енергоспоживання, нижчий рівень шуму. Дирижабль з автопілотом можна використовувати у будь-яку погоду, а при наявності шасі він злітає і сідає самостійно.

Розташування ретранслятора можливе також на безпілотному літальному апараті (БпЛА), що баражує над заданим районом. Такий варіант з застосуванням БпЛА Pathfinder-Plus на висоті 19 000 м проходив випробування в США у 2002 році. Апарат мав розмах крил 37 м, був обладнаний спеціальною енергетичною системою,

яка давала можливість виконувати роботу за призначенням і вночі. Більш детально про різних носіїв ретранслятора див. у [4].

**Супутникова підсистема радіозв'язку.** Через відсутність власного СР Україні доводиться орендувати канали комерційних СР інших держав. Останні роки ознаменувались важливим досягненням – проривом комерційного зв'язку у Ка діапазон (30/20 ГГц). З 2011 року в ньому працюють геостаціонарні супутники Viasat-1, Jupiter, з 2012 року – Ka-sat 9° Е, в 2014 році виведені на ГЕО – Експрес-АМ5 і Експрес-АМ6. Це дало можливість зменшити діаметр земних антен супутникового зв'язку з 2,4 м до 70...80 см, що дуже важливо для їх застосування з рухомих транспортних платформ. Найбільш придатним для України став СР Ka-Sat 9° Е.

Ka-Sat 9° Е [5, 6] виведений на геостаціонарну орбіту в 2010 році на позицію 9° східної довготи. Він обладнаний 4-ма багатопроменевими антенами і ретранслятором підвищеної точності та ефективності. Його приймально-передавальна і антенна апаратура формує 82 променя (пелюстки діаграми спрямованості). В межах променя пропускна спроможність дорівнює 475 Мбіт/с.

Супутник Ka-Sat є унікальним, оскільки він розроблявся винятково для забезпечення супутникового Інтернет-зв'язку на земні супутникові антени невеликого діаметру (77 см). Однак і за такого діаметру на частотах 20 і 30 ГГц ширина діаграми спрямованості дорівнює відповідно 1,12° і 0,75°. Це затрудняє їх наведення на СР з рухомих транспортних платформ, на яких діють високомобільні абоненти поля бою.

Ka-Sat 9°Е обслуговує зв'язком 26 країн Європи і Середньоземноморського басейну. Територію України покривають 10 променів з номерами 59...61, 66...69, 72...74. Ka-Sat 9°Е взаємодіє з 10-ма телепортами – потужними наземними станціями, що охоплюють територію всієї Європи і виконують функції шлюзів. Ці телепорти зв'язані між собою в «Ka-Sat кільце» земними високошвидкісними волоконно-оптичними лініями зв'язку.

Обмін інформацією в підсистемі супутникового Інтернет-зв'язку можливий за асиметричною або за симетричною схемами.

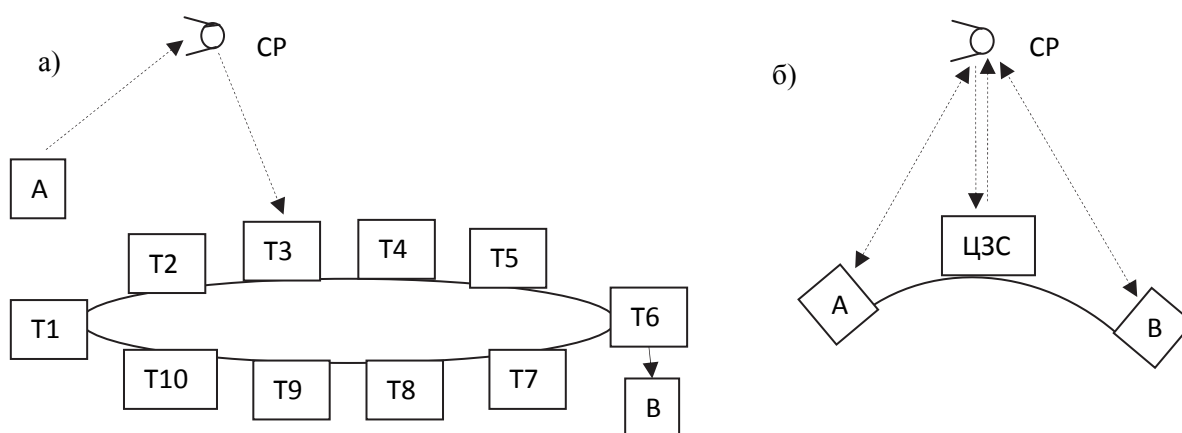


Рис. 4. Асиметрична (а) і симетрична (б) схеми обміну інформацією між абонентами А і В

При асиметричній схемі (рис. 4,а) інформація від абонента А надходить до супутника-ретранслятора, а від СР до найближчого земного телепорта (Т) і далі земною волоконно-оптичною лінією зв'язку (ВОЛЗ) та іншими телепортами і ВОЛЗ надходить до абонента В. Затримка сигналу за такої схеми обміну складає  $0,25 \text{ с} + \text{час затримки в земному Інтернет}$ .

При симетричній схемі (рис.4, б) інформація від абонента А надходить до супутника-ретранслятора, а від СР – до центральної земної станції (ЦЗС), в якій сигнал істотно підсилюється, переноситься на іншу несучу частоту і повертається до СР, а уже від нього цього разу – надходить до абонента В. Через це затримка сигналу у космосі подвоюється і зростає до  $0,60 \dots 0,85 \text{ с}$ , але відсутня затримка в земному Інтернет.

Інформація від абонента В до абонента А в цих схемах надходить тим самим шляхом, але в зворотному напрямку.

Отже, для забезпечення супутниковим зв'язком високомобільних абонентів поля бою краще підходить симетрична схема обміну інформацією. Для забезпечення зв'язку між високомобільними і стаціонарними абонентами в операції може знадобитись асиметрична схема обміну інформацією.

Способи підключення абонента до супутникового Інтернет-зв'язку поділяються на одnobічний (one-way) і двобічний (two-way).

При one-way супутниковий канал застосовується тільки для приймання інформації, а для передавання запитної інформації застосовується доступний земний канал.

При two-way супутникові канали застосовуються і для передавання і для приймання інформації.

Переваги one-way: більш дешеве і доступне обладнання; менша вартість послуг. Недоліки: залежність якості послуг від стану земного каналу; складність реалізації групового підключення.

Переваги two-way: незалежність якості послуг від стану земного каналу, оскільки при two-way він не використовується; більш просте абонентське і групове підключення; можливість реалізації як на стаціонарних, так і на рухомих об'єктах. Недоліки: більш висока вартість обладнання і абонентська плата.

Таким чином, для польових умов краще підходить two-way, оскільки він не пов'язаний з застосуванням каналів наземного волоконно-оптичного Інтернет, відсутніх у польових умовах.

Організація підключення до супутникового Інтернет-зв'язку (рис.5).

Найбільше поширення при побудові двобічного симетричного супутникового Інтернет-зв'язку через супутник Ka-Sat 9<sup>o</sup>E отримала технологія створення малих земних станцій супутникового зв'язку (VSAT – Very Small Aperture Terminal). Вона відзначається високою надійністю, затримкою сигналу у космосі на  $0,6 \dots 0,85 \text{ с}$  і несумісністю апаратури різних виробників. Перевага надається компанії Viasat (США).

Анени бувають прямофокусні і офсетні. Прямофокусні – гірші, тому що в них накопичується волога від опадів. У офсетних антен цього недоліку нема, тому що завдяки винесенню опромінювача з фокусу, антену можна закріпити майже

вертикально. Для сумісної роботи з супутником Ka-Sat 9°E це антени Tooway з логотипом Viasat.

Склад обладнання Tooway та його з'єднання [5]. Комплект обладнання складається з зовнішньої і внутрішньої частин, з'єднаних коаксіальним кабелем до 50 м. В зовнішню частину входять: земна супутникова антена, кронштейн і приймально-передавальний перетворювач сигналу з несучої на проміжну частоту та навпаки. Цей перетворювач встановлюється на опромінювач антени (рис.5). Потужність передавача обмежується рівнем 2...3 Вт, інакше важко отримати дозвіл на підключення до системи супутникового зв'язку. Споживана потужність 24 Вт.



Рис. 5. Антена з прийомо-передавачем



Рис.6. Супутниковий модем

Офсетний рефлектор антени виготовляється з ударостійкого композиційного матеріалу і має гідрофобне (водовідштовхувальне) покриття. Опорно-поворотний пристрій (ОПП) кутомістно-азимутального типу являє собою стрижневу конструкцію з профільних труб, що забезпечує достатню жорсткість антени і обмежені кути повороту. Конструкція ОПП дозволяє монтувати антену на стіну і, за необхідністю, на підлогу та похилу поверхню.

Ці компоненти розраховані на експлуатацію під відкритим небом при температурах від -40 до + 55°C, тобто теоретично за будь-яких погодних умов.

Внутрішня частина обладнання, що встановлюється всередині приміщення, це спеціальний супутниковий модем в настільному виконанні, розроблений американською компанією ViaSat (рис.6). Він забезпечує модуляцію і демодуляцію сигналу, взаємодію з центральною земною станцією супутникового Інтернет і передачу трафіка в локальну мережу користувача. Як правило, для підключення користувача використовується інтерфейс Ethernet 10/100 Base-T. Модем підключається до мережі 220 В і має роз'єм Ethernet для підключення комп'ютера або маршрутизатора. До терміналу може бути підключений один комп'ютер або ціла локальна мережа. Робиться це через Wi-Fi маршрутизатор. Вага модему в упаковці 3,7 кг.

За досвідом учасників АТО, використання системи супутникового зв'язку (ССЗ) дало можливість забезпечити органи управління криптографічно захищеним і відкритим телефонним зв'язком та передачею даних.

ССЗ, в основному, забезпечувала виконання поставлених завдань по зв'язку, проте мали місце недоліки, які необхідно враховувати, а саме: переміщення особового складу і внутрішнього обладнання ССЗ на неброньованому транспорті, не захищеному від ураження кулями; зовнішнє радіочастотне обладнання при організації зв'язку в період спеки працювало нестійко; внутрішнє обладнання

розраховане на експлуатацію в опалюваному приміщенні, а тому не забезпечує стійкої роботи при від'ємних температурах; більшість комплектів станцій супутникового зв'язку не містять заземлюючого обладнання; антена земної станції супутникового зв'язку пофарбована в білий демаскуючий колір; роз'єми високочастотного кабелю виходять з ладу при багаторазовому згортанні та розгортанні обладнання; апаратура захисту інформації працює нестабільно при температурі навколишнього середовища, вищій 35°C; деякі комплекти станцій супутникового зв'язку не укомплектовані засобами, що забезпечують безперебійне живлення; більшість станцій не укомплектовані перетворювачем 27 В постійного струму, у 220 В змінного струму, що залишає систему без резервного електроживлення; відсутність відповідних місць у транспорті для кріплення обладнання; антенний ОПП, що поставлявся в комплекті станції, призначений для кріплення до стіни (рис. 5), а не до поверхні Землі чи до криши рухомої платформи; не передбачена автоматизація наведення на супутник-ретранслятор земної вузькоспрямованої антени, що істотно ускладнює установаження супутникового зв'язку між високомобільними абонентами з рухомих транспортних платформ. Деякі з цих недоліків навіть суперечливі, наприклад, перегрів і демаскуючий колір.

При реалізації трьохрівневої системи радіозв'язку необхідно враховувати ще й наступне:

– антенна система БС має складатись з трьох різновидів антен: антени з круговою діаграмою спрямованості (ДС), закріпленої на РТП, – для забезпечення транкового зв'язку під час руху БС; антени з круговою ДС, що швидко піднімається на телескопічній щоглі [7] – для підвищення радіусу дії транкового зв'язку під час стоянок БС; дистанційно керованої вузькоспрямованої земної антени супутникового зв'язку;

– в якості ретранслятора псевдосупутникового зв'язку доцільно застосувати транковий ретранслятор, встановлений на один з доступних носіїв-псевдосупутників [4];

– для забезпечення супутниковим зв'язком високомобільних абонентів з РТП треба модернізувати ОПП земної антени супутникового зв'язку, доповнити бортову апаратуру РТП вимірювачем кутів курсу, крену, тангажу РТП і реалізувати на борту РТП алгоритм автоматизованого наведення антени на СР [7];

– модернізація опорно-поворотного пристрою має полягати в наданні йому властивостей для кріплення на поверхні РТП і змінювання кутової орієнтації антени в широких межах відносно РТП відповідно з результатами поточного розрахунку цих кутів [7];

– для забезпечення супутниковим зв'язком високомобільних абонентів поля бою краще підходить двобічна симетрична схема обміну інформацією (рис. 4, б).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Романов Р. Состояние и перспективы развития системы управления боевых бригад СВ США // Зарубежное военное обозрение. – 2014, №7, – С. 44-49.
2. Огороднійчук М. Д. Інтегровані та мобільні телекомунікаційні системи. – К.: НАОУ, 2002. – 72 с.
3. Інтернет-Вікіпедія.



4. Огороднійчук М. Д., Слепов Л. І. Системотехніка засобів і комплексів військових телекомунікаційних мереж. Ч. 3. Системи супутникового зв'язку та визначення місцеположення. – К.: МОУ-НУОУ, 2005. – 140 с.
5. Борисов І. В., Гурський Т. Г. Загальна характеристика системи супутникового зв'язку Tooway. – К.: МОУ-ВІТІ, 2014. – 9 с.
6. Пятунин А. Спутниковый интернет VSAT в Украине // Сателлит, 2013, №2. – 5 с.
7. Огороднійчук М. Д., Пономаренко С. О. Інтегрована авіаційна зв'язково-навігаційна система підвищеної енергетичної скритності для безпілотних авіаційних комплексів // Збірник наукових праць ДНДІА. Вип. №10 (17). – К.: ДНДІА, 2014. – С. 105-111.

*Надійшла до редакції 30.10.2015*