

## **Гетерогенні телекомунікаційні системи на базі стратосферної платформи з використанням сучасних технологій і засобів телекомунікацій**

## **Гетерогенные телекоммуникационные системы на базе стратосферной платформы с использованием современных технологий и средств телекоммуникаций**

## **Heterogeneous telecommunication systems based on the stratospheric platform using modern telecommunication technologies and hardware**

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0116U003771,**
- 2. Науковий керівник – д.т.н., проф. Кравчук С.О., Кравчук С.А., Kravchuk Serhii O.**

### **3. Суть розробки, основні результати.**

**(укр.)**

Основні отримані результати роботи полягають у розробці науково-технічних засад створення гетерогенних телекомунікаційних систем наступного покоління з високою пропускнуою здатністю, вузли яких розміщуються на платформі стратосферного безпілотного літального апарата, що дає можливість такій системі забезпечити інтеграцію до існуючих місцевих комунікацій, які розташовані в зоні покриття літального апарата.

При цьому розроблено структурно-функціональні принципи побудови обладнання управління та зв'язку бортової і наземної частин телекомунікаційної системи на основі висотної аероплатформи (ТСВА); принципи створення та структури високошвидкісного каналу передачі даних в різних частотних діапазонах та технічні вимоги до них; математичні моделі безпроводового каналу зв'язку між наземною станцією та аероплатформою з урахуванням просторово-часового мультиплексування МІМО та використанням принципу кооперативної ретрансляції; алгоритми адаптації системи передачі даних до зміни стану роботи в умовах навмисних та ненавмисних завад; алгоритми керування бортової і наземної антенних систем та технічні вимоги до них.

Визначено потенційні можливості живучості каналу управління і телеметрії в ТСВА у вигляді отриманих залежностей та закономірностей, алгоритми відмовостійкості такого каналу; протоколи та структури функціонування каналу управління і телеметрії та технічні вимоги до нього; підходи до реалізації процедур когнітивного радіо в ТСВА; структури програмного забезпечення бортового процесору управління і обробки даних, наземного обчислювального комплексу управління і обробки даних.

**(рос.)**

Основные полученные результаты работы заключаются в разработке научно-технических основ создания гетерогенных телекоммуникационных систем следующего поколения с высокой пропускной способностью, узлы которых размещаются на платформе стратосферного беспилотного летательного аппарата, что позволяет такой системе обеспечить интеграцию с существующими местными коммуникаций, расположенных в зоне летательного аппарата.

При этом разработаны структурно-функциональные принципы построения оборудования управления и связи бортовой и наземной частей телекоммуникационной системы на основе высотной аероплатформ (ТСВА) принципы создания и структуры высокоскоростного канала передачи данных в различных частотных диапазонах и технические требования к ним; математические модели беспроводного канала связи между наземной станцией и аероплатформ с учетом пространственно-временного мультиплексирования МІМО и использованием принципа кооперативной ретрансляции; алгоритмы адаптации системы передачи данных до изменения состояния работы в условиях преднамеренных и непреднамеренных помех; алгоритмы управления бортовой и наземной антенных систем и технические требования к ним.

Определены потенциальные возможности живучести канала управления и телеметрии в ТСВА в виде полученных зависимостей и закономерностей, алгоритмы отказоустойчивости такого канала; протоколы и структуры функционирования канала управления и телеметрии и технические требования к нему; подходы к реализации процедур когнитивного радио в ТСВА; структуры программного обеспечения бортового процессору управления и обработки данных, наземного вычислительного комплекса управления и обработки данных.

(англ.)

The main obtained results are the development of scientific and technical principles for the creation of heterogeneous telecommunications systems of the next generation with high throughput, the nodes of which are located on the platform of the stratospheric unmanned aerial vehicle, which enables such a system to integrate into existing local communications, which are located in the coverage area of the aircraft.

The structural-functional principles of the construction of control and communication equipment of the airborne and ground-based parts of the telecommunication system based on the high-altitude aeroplatform were developed; principles of creation and structure of high-speed data transmission channels in different frequency bands and technical requirements to them; mathematical models of the wireless communication channel between the ground station and the airplane, taking into account space-time multiplexing of the MIMO and using the principle of cooperative relay; algorithms of adaptation of the data transmission system to change the state of work in conditions of intentional and unintentional noise; Airborne and ground antenna systems control algorithms and technical requirements for them.

The potential possibilities of survival of the channel of control and telemetry in the HAPS in the form of the received dependencies and regularities, algorithms of fault-tolerance of such channel are determined; protocols and structures of the operation of the control and telemetry channel and its technical requirements; Approaches to the implementation of cognitive radio procedures in HAPS; software architecture for on-board processor management and data processing, terrestrial computing complex management and data processing.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

- свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 66937 від 29.07.16 «Модель процесу управління захистом від перевантажень мереж передачі даних» Романов О.І., Єрмаков А.В., Нестеренко М.М., Маньківський В.Б., Москвитіна А.О.
- патент на корисну модель України № 108632 від 25.07.2016 «Спосіб тропосферного зв'язку» Слюсар В.І., Ільченко М.Ю., Наритник Т.М.
- патент на корисну модель України № 107402 від 10.06.2016 «10.06.2016» Л.С. Пінчук, О.В. Захаров, І.В. Трубаров, М.Ю. Ільченко
- патент на корисну модель України № 104240 від 25.01.2016 «Система забезпечення зв'язку між двома радіорелейними станціями» В.М. Бранчук, Є.А. Якорнов, Г.Л. Авдєєнко, А.В.Чижевська, М.Ю. Ільченко.

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Результати випробувань прототипу запропонованої антенної системи з автоматичним супроводженням аероплатформи на базі представлених алгоритмів керування продемонстрував велику точність супроводу заданого польотного маршруту (відхилення SNR не перевищує похибки в 1 дБ) та безперебійну роботу каналу передачі даних на різних висотах, швидкостях та відстанях; використання нечіткого висновку при розробці алгоритмів адаптивної модуляції та кодування на основі багатокритеріальних оцінок стану каналу для використання в ситемах зв'язку з БПЛА застосовано вперше; запропоновано систему керування просторовим положенням гостронаправленої антенної системи аероплатформи, що забезпечує оптимізацію процесу входження в зв'язок і можливість відновлення зв'язку в разі його втрати шляхом застосування оригінального дискретного алгоритму сканування.

Все це підтверджує інноваційну новизну і світовий рівень результатів даної роботи.

## **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Застосування розроблених методів, алгоритмів, системних архітектур дозволяє знизити собівартість на 30–70 % та підвищити якість робіт щодо створення і розгортання стратосферних телекомунікаційних систем на базі висотних аероплатформ.

## **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Очікуваний результат роботи у вигляді комплексу науково-технічних рішень має наукову та практичну цінність для розвитку перспективних телекомунікаційних систем на базі стратосферних аероплатформ. Застосування розробок, отриманих в процесі виконання роботи, дозволить значно підвищити ефективність нових систем широкосмугового радіодоступу та систем зв'язку за рахунок впровадження перспективних методів адаптації до зміни завадово-сигнальних та каналних умов функціонування. Результати роботи можуть бути реалізовані шляхом постановки дослідно-конструкторської роботи по реалізації конкретного проекту створення безпроводової системи 4-го і 5-го покоління із підтримкою мобільності; шляхом продажу отриманих в процесі виконання роботи принципів побудови, алгоритмів, методів та патентів.

## **8. Стан готовності розробки.**

Розроблені та виготовлені макети обладнання, відпрацьовані відповідні технології і розроблені технологічні рекомендації щодо ефективного застосування експериментального обладнання. Можлива розробка дослідно-промислових зразків нового устаткування, які повністю адаптовані до існуючого основного силового обладнання і можуть бути впроваджені у промислове виробництво.

## **9. Існуючі результати впровадження.**

Результати роботи були впроваджені в ВАТ "Меридіан" ім. С.П. Корольова при створенні вітчизняного БПЛА "Spectator" та в НВП "Сінко" при створенні приймально-передавального обладнання різного призначення.

## **10. Форма участі інвестора частка в проект 100%**

## **11. Обсяг інвестицій для ДКР 3...7 млн. грн.**

## **12. Мета інвестицій** доведення розробок до робочої конструкторської документації для виробництва і впровадження ТСВА.

## **13. Назва організації, телефон, E-mail**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, інститут телекомунікаційних систем, науково-дослідний інститут телекомунікацій, (044) 204-83-13, [sakravchuk@ukr.net](mailto:sakravchuk@ukr.net)

## **14. Фото розробки**



Антенна система з автоматичним супроводженням БПЛА

**15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки**  
Монографія (1): Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – Київ: Наукова думка, 2017. – 730 с.

1. Міночкін Д.А., Кравчук С.О., Кайденко Н.Н. Застосування телекомунікаційних технологій в структурі «розумного будинку» // Зб. наук. праць «Системи обробки інформації» (Харків). – 2017. – Вип. 1 (147). с. 22–26.
  2. Compact troposcatter station for transhorizon communication / M. Pchenko; M. Kaidenko; S. Kravchuk; V. Khytrovskyy // Proceedings of the 2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) 11-15 Sept. 2017 Year, Odessa, Ukraine. - IEEE Conference Publications (IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095364), 2017. – P. 1-4.
  2. Afanasieva L., Minochkin D., Kravchuk S. Providing telecommunication services to antarctic stations // Proceedings of the 2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) 11-15 Sept. 2017 Year, Odessa, Ukraine. - IEEE Conference Publications (IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095419), 2017. – P. 1-4.
  4. Cloud-based mobility management in heterogeneous wireless networks / S. Kravchuk, D. Minochkin, Z. Omiotek, U. Bainazarov, R. Weryńska-Bieniasz, A. Iskakova // Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments, Wilga, Poland, 7 August 2017. - P. 104451W (doi: 10.1117/12.2280888; <http://dx.doi.org/10.1117/12.2280888>).
  5. Захаров А.В., Ильченко М.Е. Перестраиваемые варикапами узкополосные фильтры с расширенной полосой заграждения на основе П-образных микрополосковых резонаторов // Известия вузов. Радиоэлектроника. - № 9. – 2017. – с. 491-501
  6. Захаров А.В., Ильченко М.Е., Трубаров И.В. Гребенчатые фильтры на основе симметричных полосковых линий передачи // Известия вузов. Радиоэлектроника. - № 6. – 2017. – с. 607-615
  7. Захаров А.В., Ильченко М.Е., Лысенко А.И., Пинчук Л.С. Микроволновые полосно-пропускающие фильтры полосковой конструкции с чередующимися связями // Известия вузов. Радиоэлектроника. - № 4. – 2017. – с. 222-230
  8. Захаров А.В., Ильченко М.Е., Пинчук Л.С. Полосковые полосно-пропускающие фильтры малой толщины для сантиметрового диапазона // Известия вузов. Радиоэлектроника. - № 2. – 2017. – с. 107-119
  9. Захаров А.В., Ильченко М.Е. Полосковые полосно-пропускающие фильтры миллиметрового диапазона // Радиотехника и электроника. – Том 62. – № 10. – 2017. – с. 1021-1030
  10. Захаров А.В., Ильченко М.Е., Трубаров И.В. Планарные трехрезонаторные полосно-пропускающие фильтры с перекрестной связью // Радиотехника и электроника. – Том 62. – № 2. – 2017. – с. 187-195
- Були опубліковані тези доповідей:
1. Кайденко М.М., Кравчук С.О., Роскошний Д.В. Модемний пристрій для малогабаритної тропосферної радіорелейної станції // Матер. 11-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 24–27.
  2. Кравчук С.О., Кайденко М.М., Гаманенко О.І. Антенно-поворотний пристрій для малогабаритної тропосферної радіорелейної станції // Матер. 11-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 159–162.
  3. Приемально-передавальний блок для малогабаритної тропосферної радіорелейної станції / М.Ю. Ильченко, С.О. Кравчук, В.А. Хитровський, В.М. Бугай, Иванов В.М. // Матер. 11-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 187–190.
  4. Рижко А.В., Кравчук С.О. Дослідження можливості підвищення якості обслуговування для мереж багатопрольотної ретрансляції стандарту IEEE 802.16j // Матер. 11-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 163–165.
  5. Довгань Б.М., Кравчук С.О. Методи вибору цільової мережі для процедури вертикальної передачі обслуговування в безпроводових мережах 4-го покоління // Матер.

11-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 169–171.

6. Журавель А.С., Кравчук С.О. Безпроводові мережі доступу з динамічним вибором спектру // Матер. 11-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 172–174.

7. Афанасьєва Л.О., Кравчук С.О., Міночкін Д.А. Історична ретроспектива телекомунікацій в Антарктиці // Матер. 11-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 184–186.

8. Кравчук І.М., Кравчук С.О. Сучасні підходи та інноваційні тенденції у викладанні дисциплін телекомунікаційного спрямування // Матер. 11-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 191–192.

9. Кузьміч М.Ю., Кравчук С.О. Дослідження мобільної mesh-мережі безпілотних літальних апаратів з урахуванням затримки між вузлами // Матер. 11-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 196–198.

10. Камінський Р.В., Кравчук С.О. Оптимізована схема швидкої передачі обслуговування у мережах MOBILE IPV6 для підтримки мобільних користувачів хмарних обчислень // Матер. 11-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 199–201.

11. Афанасьєва Л.О., Кравчук С.О., Міночкін Д.А. Стан та перспективи розвитку телекомунікацій в Антарктиці // Тези 8-ї Міжнародної Антарктичної конф., присвяченої 25-річчю приєднання України до договору про Антарктиду «МАК 2017», 16-18 травня, 2017 р., м. Київ, Україна. – Київ: Задруга, 2017. – С. 175-177.

12. Compact troposcatter station for transhorizon communication / M. Pchenko; M. Kaidenko; S. Kravchuk; V. Khytrovskyy // Proceedings of the 2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) 11-15 Sept. 2017 Year, Odessa, Ukraine. - IEEE Conference Publications (IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095364), 2017. – P. 1-4.

13. Compact troposcatter station for transhorizon communication / M. Pchenko; M. Kaidenko; S. Kravchuk; V. Khytrovskyy // 2017 IEEE International conference of information-telecommunication technologies and radio electronics (UkrMiCo'2017) / Materials of scientific and technical conference. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2017. – p. 38-41.

14. Afanasieva L., Minochkin D., Kravchuk S. Providing telecommunication services to antarctic stations // Proceedings of the 2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) 11-15 Sept. 2017 Year, Odessa, Ukraine. - IEEE Conference Publications (IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095419), 2017. – P. 1-4.

15. Afanasieva L., Minochkin D., Kravchuk S. Providing telecommunication services to antarctic stations // 2017 IEEE International conference of information-telecommunication technologies and radio electronics (UkrMiCo'2017) / Materials of scientific and technical conference. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2017. – p. 483-486.

В результаті виконання роботи одержано:

- свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 66937 від 29.07.16 «Модель процесу управління захистом від перевантажень мереж передачі даних» Романов О.І., Єрмаков А.В., Нестеренко М.М., Маньківський В.Б., Москвитіна А.О.

- патент на корисну модель України № 108632 від 25.07.2016 «Спосіб тропосферного зв'язку» Слюсар В.І., Ільченко М.Ю., Наритник Т.М.

- патент на корисну модель України № 107402 від 10.06.2016 «10.06.2016» Л.С. Пінчук, О.В. Захаров, І.В. Трубаров, М.Ю. Ільченко

- патент на корисну модель України № 104240 від 25.01.2016 «Система забезпечення зв'язку між двома радіорелейними станціями» В.М. Бранчук, Є.А. Якорнов, Г.Л. Авдеєнко, А.В. Чижевська, М.Ю. Ільченко

**16. Ключові слова до розробки:** стратосферні аероплатформи, ТСВА, телекомунікації, МІМО, кооперативна ретрансляція