

**„Розробка методів підвищення ефективності просторово-часової обробки телекомунікаційних сигналів на фоні перешкод”**

**«Разработка методов повышения эффективности пространственно-временной обработки телекоммуникационных сигналов на фоне помех»**

**«The development of the methods for improving efficiency of the space-time processing of the telecommunication signals with interferences»**

**1. Номер державної реєстрації - 0109U002225.**

**2. Науковий керівник** – к.т.н, професор Якорнов Євгеній Аркадійович  
к.т.н, профессор Якорнов Евгений Аркадиевич  
candidate of technical science, professor Yakornov Yevhenii A.

**3. Суть роботи** полягає в аналізі сучасних світових тенденцій розвитку теорії просторово-часової обробки сигналів, розробці нових методів обробки радіосигналів з просторово-часовими структурами, що факторизуються, з використанням теорії кронекерівського добутку матриць для цифрових адаптивних антенних решіток радіоелектронних засобів, а також аналізу можливості застосування фізичного явища кривизни хвильового фронту електромагнітної хвилі для підвищення ефективності функціонування телекомунікаційних систем в умовах впливу перешкод.

Запропоновано математичний апарат опису відліків адитивної суміші корисного сигналу, зовнішніх перешкод та внутрішніх шумів, які дискретизовані як у просторі, так й часі в каналах цифрової адаптивної антенної решітки, що базується на теоріях торцевого та кронекерівського добутку матриць, на основі якого проведено статистичний синтез алгоритмів просторово-часової обробки сигналів для приймально-передавальних антенних систем з різною шириною характеристики спрямованості з використанням відомих критеріїв оптимальності при довільній формі хвильового фронту джерела радіовипромінювання для вирішення проблем перешкодозахищеності та електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів. Застосування вказаного математичного апарату на відміну від відомих математичних моделей сигналів дозволяє отримати оптимальні значення векторів вагових коефіцієнтів етапів просторової та часової обробки цифрової адаптивної антенної решітки, незалежно один від одного, що зручно для теоретичного аналізу ефективності обробки на кожному з етапів.

На основі отриманих алгоритмів просторово-часової обробки сигналів та нової методики оцінки електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів проведено імітаційне моделювання впливу форми діаграми спрямованості антенної системи, що адаптована до впливу перешкод, на параметри електромагнітної сумісності системи мобільного зв'язку стандарту GSM з використанням спеціалізованого програмного забезпечення аналізу й планування радіомереж ICS Telecom.

Запропоновано нові технічні рішення з побудови пристроїв обробки інформації, що використовують кривизну хвильового фронту електромагнітної хвилі для вирішення задач визначення пеленгу й дальності до джерела радіовипромінювання, яке розташовано в ближній або проміжній зоні приймальної антенної решітки, а також дискримінації корисного сигналу на фоні перешкод, джерела яких можуть знаходитися в довільній хвильовій зоні.

**Рос.**

Смысл работы состоит в анализе современных мировых тенденций развития теории пространственно-временной обработки сигналов, разработке новых методов обработки радиосигналов с пространственно-временными структурами, которые факторизируются, с использованием теории кронекеровского произведения матриц для цифровых адаптивных антенных решёток радиоэлектронных средств, а также анализа возможности применения физического явления кривизны волнового фронта электромагнитной волны для повышения

эффективности функционирования телекоммуникационных систем в условиях влияния помех.

Предложен математический аппарат описания откликов аддитивной смеси полезного сигнала, внешних помех и внутренних шумов, которые дискретизированы как в пространстве, так и во времени, в каналах цифровой адаптивной антенной решетки, базирующийся на теориях торцевого и кронекерского произведения матриц, с использованием которого произведён статистический синтез алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов для приёмо-передающих антенных систем с разной шириной характеристики направленности с применением известных критериев оптимальности при произвольной форме волнового фронта источника излучения для решения проблем помехозащищенности и электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. Применение указанного математического аппарата в отличие от известных математических моделей сигналов позволяет получить оптимальные значения векторов весовых коэффициентов этапов пространственной и временной обработки цифровой адаптивной антенной решетки независимо друг от друга, что удобно для теоретического анализа эффективности обработки на каждом из этапов.

На основе полученных алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов и новой методики оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств проведено имитационное моделирование влияния диаграммы направленности антенной системы, адаптированной к влиянию помех, на параметры электромагнитной совместимости систем мобильной связи стандарта GSM с использованием специализированного программного обеспечения анализа и планирования радиосетей ICS Telecom.

Предложены новые технические решения по построению устройств обработки информации, использующих кривизну волнового фронта электромагнитной волны для решения задач определения пеленга и дальности до источника радиоизлучения, расположенного в ближней или промежуточной зоне приёмной антенной решетки, а также дискриминации полезного сигнала на фоне помех, источники которых могут находиться в произвольной волновой зоне.

#### **Англ.**

Sense of work consists of analysis of modern world trends in progress of the space-time processing theory, development of new methods of radio signals processing with space-time structures, which are factorized with the use of Croneckers` matrices muptiplication theory for the radio electronic facilities` digital adaptive arrays, and also analysis of possibility of the physical phenomenon of curvature of wave front of electromagnetic wave application for the increase of efficiency of functioning of the telecommunication systems in the conditions of interferences.

The mathematical model is offered for description of responses of additive mixture of useful signal, interferences and internal noise, which are digitized both in space and in time, in the channels of digital adaptive array, being based on theories of the face-splitting and Croneckers` works of matrices multiplications, with the use of which the statistical synthesis of algorithms of space-time processing of signals is produced for the combined antenna systems with the different width of antenna pattern with the use of the known criteria of optimality at the arbitrary form of wave front of radiation source for the decision of problems of interference immunity and electromagnetic compatibility of radio electronic. Application of the indicated mathematical model unlike the known mathematical models of signals allows to get the optimal values for vectors of the weight coefficients of the stages of spatial and temporal processing in digital adaptive array independent of each other, which comfortably for the theoretical analysis of efficiency of processing on each of the stages.

On the basis of the synthesized algorithms of space-time processing of signals and new methodology of estimation of electromagnetic compatibility of radio electronic facilities the simulation design of antenna system which using radiation pattern adapted to influence of interferences on the parameters of electromagnetic compatibility of mobile communication of standard of GSM networks with the use of the specialized analysis and planning of radio networks of ICS Telecom software is done.

New technical solutions are offered on the construction of devices of processing of information based on curvature of wave front of electromagnetic wave for the decision of tasks of determination of bearing and distance to the source of radiation, located in the near or intermediate area of receiving array, and also discrimination of useful signal on a interference background, sources of which can be located in an arbitrary wavezone.

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

1. Деклараційний патент на винахід № 40138 (Україна) Система для супроводження рухомих об'єктів з використанням сигналів глобальної супутникової системи радіонавігації, кл. G 01S 5/14 // Ільченко М.Ю., Авдеєнко Г.Л., Веселова А.П., Мазуренко О.В., Якорнов Є.А. Пром. власність», 2009, №6.
2. Деклараційний патент на корисну модель № 43982 (Україна). Система супроводження рухомих об'єктів з використанням сигналів глобальної супутникової системи радіонавігації, кл. G01S5/14 // Авдеєнко Г.Л., Веселова А.П., Карпенко Б.О., Сторубльов О.І., Якорнов Є.А. Пром. власність, 2009 р., №17.
3. Корисна модель. Приймальна розріджена адаптивна антенна решітка. Пол. рішення по заявке № u 201007700 від 18.06.10 р. Патент № (Україна)/ Ільченко М.Ю., Мазуренко О.В., Якорнов Є.А.
4. Корисна модель. Фазовий радіопеленгатор. Заявка № u 201010554 від 31.08.10 р. Патент № (Україна). Авдеєнко Г.Л., Ільченко М.Ю., Коломицев М.О., Ліпчевська І.Л., Якорнов Є.А.
5. Корисна модель. Адаптивна за відстанню антенна решітка. Пол. рішення по заявке № u 201007929 від 24.06.10 р. Патент № (Україна). /Авдеєнко Г.Л., Карпенко Б.О., Сторубльов О.І., Веселова А.П., Якорнов Є.А.
6. Корисна модель. Фазовий радіопеленгатор. Пол. рішення по заявке № u 201009233 від 22.07.10 р. Патент № (Україна)/ Авдеєнко Г.Л., Карпенко Б.О., Сторубльов О.І., Ліпчевська І.Л., Якорнов Є.А.

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

Виконана розробка знаходиться на рівні світових аналогів

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

Впровадження на ринку можливо при створенні телекомунікаційних та вимірювальних засобів мікрохвильового та міліметрового діапазонів, які використовують антенні решітки з обробкою сигналів по кривизні фронту електромагнітної хвилі.

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

ТОВ «Лабораторія інформаційних систем», вітчизняні та закордонні підприємства, науково-дослідні та проектно-конструкторські організації при створенні нових систем, комплексів та засобів телекомунікацій, вимірювань й диспетчеризації рухомих об'єктів в мікрохвильовому та міліметровому діапазонах довжин хвиль. Міністерство освіти і науки України, вищі навчальні заклади при підготовці фахівців та наукових кадрів телекомунікаційного профілю.

#### **8. Стан готовності розробки 50% Для подальшого впровадження розробки необхідно проведення ДКР.**

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

Результати теоретичних досліджень впроваджено в навчальний процес у спецкурсах «Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль – новий розділ «Перспективні антенні системи в системах телекомунікацій»

Результати НДР реалізовані в ТОВ „Лабораторія інформаційних систем” (м.Київ) при розробці та впровадженні програмного комплексу планування радіомереж ICS Manager NG у

виробничу діяльність державного підприємства «Український Державний Центр Радіочастот»

**10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.** НДІ телекомунікацій, yakornov@its.kpi.ua

**11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання :**

- 1) Карпенко Б.О., Авдеєнко Г.Л., Якорнов Є.А. Синтез алгоритмів просторово-часової обробки сигналів для просторової режекції перешкод в антенних системах з широкою характеристикою спрямованості Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка.- Вип. № 19- К.: ВІКНУ, 2009, с.34-44.
- 2) Карпенко Б.О., Авдеєнко Г.Л., Федоров В.І., Якорнов Є.А. Визначення координат точкового джерела радіовипромінювання по кривизні його хвильового фронту Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Військово спеціальні науки, 2009 № 21 с.74—79.
- 3) Карпенко Б.О., Заруднев Д. І., Гелесев В.О., Якорнов Є.А. Модифікація узагальненого методу якнайменших квадратів за рахунок переходу від використання кореляційних зв'язків до дисперсійних зв'язків. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка.- Вип. № 20 - К. ВІКНУ, 2009, с.51-56.
- 4) Карпенко Б.О., Ліпчевська І.Л., Мазуренко О.В., Якорнов Є.А. Кероване розділення радіосигналів за відстанню в зоні Френеля на основі дискретних антенних систем. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка.- Вип. № 22 - К.: ВІКНУ, 2009, с.35-42.
- 5) Авдеєнко Г.Л., Карпенко Б.О., Ліпчевська І.Л., Мазуренко О.В, Якорнов Є.А. Сучасний стан обробки радіосигналів бездротової мережі зв'язку в передавальних антенних системах базових станцій Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені..Тараса Шевченка.- Вип. № 27 - К.: ВІКНУ, 2010, с.
- 6) Якорнов Є.А., Авдеєнко Г.Л. Синтез алгоритмів просторово-пространственно-временной обробки сигналів для просторової дискримінації помах в антенних системах с широкою характеристикою направленности. Збірник тез Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» К.: НТУУ «КПІ», 2009, с.163=164.
- 7) Якорнов Є.А., Авдеєнко Г.Л., Гелесев В.А. Схема режекції джерел радіопомех для телекомунікаційних систем со слабонаправленними антеннами. Збірник тез Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» К.: НТУУ «КПІ», 2009, с.63.
- 8) Якорнов Є.А., Авдеєнко Г.Л., Веселова А.П., Войтко Ю.Н., Мазуренко А.В. Повышение точности .определения двойной разности фаз путем умножения частоты обрабатываемых сигналів Збірник тез Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» К.: НТУУ «КПІ», 2009, с.35-36.
- 9) Мазуренко О.В. Вплив спектральної структури ширококутових сигналів на характеристики антенних решіток Збірник тез Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» К.: НТУУ «КПІ», 2009, с.141.
- 10) Мазуренко О.В. Визначення діаграм спрямованості антенних решіток з врахуванням спектральної структури сигналу та шумів. Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2009»: Матеріали 5-ої ММНТК - Севастополь: «Вебер», 2009. - с.147.
- 11) Мазуренко О.В. Особливості антенних систем з тривимірним просторовим розділенням сигналів. 13-й міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.»: Збірник матеріалів форуму Ч.1.-Харків: ХНУРЕ, 2009. - с.41.
- 12) Карпенко Б.О., Авдеєнко Г.Л., Мазуренко А.В., Якорнов Є.А. Придушення джерела радіоперешкод у зоні Френеля за наявності відмінностей у кривизні фронтів

електромагнітних хвиль сигналу та перешкоди. Тези доповідей науково-практичної конференції «Актуальні задачі фінансового, психологічного, правового, топогеодизичного, радіотехнічного та лінгвістичного забезпечення підрозділів та частин Збройних Сил України». Наукове видання. К.: ВІКНУ, 2009, с.98.;

13) Карпенко Б.О., Авдеенко Г.Л., Якорнов Є.А. Оцінка основних критеріїв просторово-часової обробки сигналів для придушення перешкод в антенних системах із широкою характеристикою направленості. Тези доповідей науково-практичної конференції «Актуальні задачі фінансового, психологічного, правового, топогеодизичного, радіотехнічного та лінгвістичного забезпечення підрозділів та частин Збройних Сил України». Наукове видання. К.: ВІКНУ, 2009, с. 111-112.

14) Авдеенко Г.Л., Веселова А.П., Войтко Ю.Н., Мазуренко О.В., Якорнов Є.А. Повышение точности измерений фазовых соотношений обработкой сигналов на высокой промежуточной частоте. Матеріали 19-ої Міжнародної Кримської конференції (КрыМико 2009) 2009, Т.2, с.746-747.

15) Авдеенко Г.Л., Якорнов Є.А. Пространственно-временная обработка сигналов для режекции помех в антенных системах с широкой характеристикой направленности. Матеріали 19-ої Міжнародної Кримської конференції (КрыМико 2009) 2009, Т.2, с. 415-416.

16) Липчевська І.Л., Якорнов Є.А. Повышение оперативности определения границ зон чрезвычайных ситуаций на основе использования спутниковых радионавигационных систем. Матеріали 19-ої Міжнародної Кримської конференції (КрыМико 2009) 2009, Т.2, с. 828-829.

17) Войтко Ю.Н., Карпенко Б.О., Якорнов Є.А. Визначення різниці різниць фаз в мікрохвильових фазових системах спеціального призначення. Збірник тез V науково-практичного семінару «Пріоритетні напрямки розвитку телекому-нікаційних систем та мереж спеціального призначення» К.: НТУУ «КПІ», ВІТІ, 2009, с. 92.

18) Карпенко Б.О., Липчевська І.Л., Мазуренко О.В., Якорнов Є.А. Дискретні антенні системи спеціального призначення з контрольованим розділенням радіосигналів за відстанню. Збірник тез V-го науково-практичного семінару «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення» К.: НТУУ «КПІ», ВІТІ, 2009, с. 134.

19) Авдеенко Г.Л. Повышение ёмкости системы сотовой связи стандарта GSM путём применения SMART-антенн // 6-я Международная молодёжная научно-техническая конференция “Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций” (РТ-2010), 21-25 апреля 2010 г., Севастополь, Крым, Украина. Матеріали конференції.- Севастополь: «Вебер», 2010. - с.114.

20) Мазуренко О.В. Характеристики спрямованості антенних систем створені на основі кореляційних властивостей сигналів. // 6-я Международная молодёжная научно-техническая конференция “Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций” (РТ-2010), 21-25 апреля 2010 г., Севастополь, Крым, Украина. Матеріали конференції. - Севастополь: «Вебер», 2010. - с.213.

21) Будилковский А.В. Расчет необходимого частотного ресурса для планирования сетей WIMAX // 6-я Международная молодёжная научно-техническая конференция “Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций” (РТ-2010), 21-25 апреля 2010 г., Севастополь, Крым, Украина. Матеріали конференції. - Севастополь: «Вебер», 2010. - с.64.

22) Авдеенко Г.Л., Липчевская И.Л., Якорнов Є.А. Анализ приоритетных направлений развития адаптивной обработки сигналов в системах радиосвязи; Збірник тез четвертий Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» К.: НТУУ «КПІ», 2010, с. 91.

23) Веселова А.П., Карпенко Б.О., Манюгина Д.В., Потапенко В.В., Якорнов Є.А. Системи супроводу рухомих об'єктів з використанням глобальних супутникових систем

- радіонавігації. Збірник тез четвертий Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» К.: НТУУ «КПІ», 2010, с.90.
- 24) Карпенко Б.О., Липчевська І.Л., Мазуренко О.В., Якорнов Є.А. Розділення радіосигналів за відстанню в зоні дифракції Френеля на основі дискретних антенних систем. Збірник тез четвертий Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» К.: НТУУ «КПІ», 2010, с.218.
- 25) Авдеенко Г.Л., Липчевская И.Л. Применение технологии SMART -антенн в передающих трактах систем сотовой связи. Збірник тез четвертий Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» К.: НТУУ «КПІ», 2010, с.213.
- 26) Василенко-Шереметьев Г.М., Авдеенко Г.Л. Повышение ёмкости системы сотовой связи стандарта GSM путём применения SMART -антенн. Збірник тез четвертий Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» К.: НТУУ «КПІ», 2010, с.85.
- 27) Матяш А.Ю., Авдеенко Г.Л. Анализ эффективности совместного применения технологий SMART-антенн и RAKE-приёмников в системах сотовой радиосвязи стандарта CDMA. Збірник тез четвертий Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» К.: НТУУ «КПІ», 2010, с.70.
- 28) Авдеенко Г.Л., Липчевская И.Л., Якорнов Є.А. Определение пеленга и дальности до источника радиоизлучения гармонического сигнала в зоне Френеля. Матеріали 20-ої Міжнародної Кримської конференції (КрыМико 2010) «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» 2010 Т.1, с. 337-338.
- 29) Мазуренко А.В., Якорнов Е.А. Анализ перспективных антенных систем с управляемым трехмерным разделением сигналов Матеріали 20-ої Міжнародної Кримської конференції (КрыМико 2010) «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» 2010 Т.2, с. 562-563.
- 30) Авдеенко Г.Л., Карпенко Б.О., Липчевська І.Л., Мазуренко О.В., Якорнов Є.А. Сучасний стан обробки радіосигналів бездротової мережі зв'язку подвійного призначення в передавальних антенних системах Тези доповідей VI міжнародній науково-практичній конференції "Військова освіта та наука: сьогоднішня та майбутня" ВІКНУ,2010, с.355.
- 31) Авдеенко Г.Л., Карпенко Б.О., Коломицев М.О., Липчевська І.Л., Мазуренко О.В., Якорнов Є.А. Пріоритетні напрямки розвитку адаптивної обробки радіосигналів для підвищення ефективності функціонування бездротової мережі зв'язку подвійного призначення з розподіленими антенними системами. Тези доповідей VI міжнародній науково-практичній конференції "Військова освіта та наука: сьогоднішня та майбутня" ВІКНУ,2010, с.354.
- 32) Авдеенко Г.Л., Карпенко Б.О., Коломицев М.О., Якорнов Є.А. Застосування математичного апарату торцевих добутків матриць для опису оптимального вектору вагових коефіцієнтів адаптивної антенної решітки з неідентичними каналами обробки Тези доповідей VI міжнародній науково-практичній конференції "Військова освіта та наука: сьогоднішня та майбутня" ВІКНУ,2010, с.356.
- 33) Мазуренко О.В. Антенні решітки з кореляційною нелінійною обробкою сигналів. Тези доповідей VI міжнародній науково-практичній конференції "Військова освіта та наука: сьогоднішня та майбутня" ВІКНУ,2010, с.379.
- 34) Буділовський О.В., Манюгіна Д.В. Способи розв'язання задачі підвищення продуктивності в системах радіозв'язку подвійного призначення, що досягається при використанні інтелектуальних антен. Тези доповідей VI міжнародній науково-практичній конференції "Військова освіта та наука: сьогоднішня та майбутня" ВІКНУ,2010, с.316.
- 35) Матяш О.Ю., Потапенко В.В. Застосування субсмугової фільтрації в адаптивних антенних решітках у випадку наявності широкосмугової суміші сигналу та завад Тези доповідей VI міжнародній науково-практичній конференції "Військова освіта та наука: сьогоднішня та майбутня" ВІКНУ,2010, с.385.
- 36) Василенко-Шереметьев Г.М., Охрименко Я.Ю. Аналіз основних моделей багатопроменевого розповсюдження радіохвиль для технології Smart-антен. Тези

доповідей VI міжнародній науково-практичній конференції "Військова освіта та наука: сьогодення та майбутнє" ВІКНУ, 2010, с.386.

**12. Фото/схема, слайди презентації розробки в електронному вигляді. Немає**