

## **Терагерцова телекомунікаційна система широкосмугового радіодоступу із гігабітною пропускнуою здатністю**

### **Терагерцовая телекоммуникационная система широкополосного радиодоступа с гигабитной пропускной способностью**

### **Terahertz broadband telecommunications system radio access with Gigabit bandwidth**

1. **Номер державної реєстрації теми - 0113U001577, НТУУ «КПІ» - № 2628п,**
2. **Науковий керівник – д.т.н., академік НАНУ, проф. Ільченко М.Ю., Ільченко М.Е., Pshenko Mikhail Ye.**  
(вчений ступінь, звання). (Трьома мовами: укр., рос., англ.).
3. **Суть розробки, основні результати.**  
(укр.)

Розроблені принципи та апаратно-програмні рішення побудови телекомунікаційної системи широкосмугового доступу із гігабітною пропускнуою здатністю в діапазоні частот 128-134 ГГц для вирішення проблеми перевантаження частотних діапазонів, що використовуються на сьогоднішній день, суттєвого підвищення швидкості передачі даних систем безпроводового радіодоступу, а також створення надвисокошвидкісних радіорелейних ліній нового покоління.

На основі проведеного фізичного моделювання виготовлено два лабораторних зразки надвисокошвидкісного формувача-модема на основі багаточастотного мультиплексування промодульованих OFDM цифрових потоків, проведені їх стендові випробування та оптимізація для досягнення максимальної пропускнуої здатності каналу передачі цифрової інформації у форматі Ethernet з використанням розроблених програмних засобів. Створені програмно-апаратні засоби дозволили вперше досягнути загальну каналну швидкість при повному дуплексі до 1,2 Гбіт/с.

Розроблено нове технічне рішення щодо кодування та модуляції потоку у форматі Ethernet із розподілом по суміжних частотних смугах і об'єднання їх в загальний багаточастотний потік в передавальному тракті та розподілу по вихідних частотних смугах із подальшою їх демодуляцією, маршрутизацією та формуванням Ethernet інтерфейсу в приймальному тракті приймально-передавального формувача інформаційного потоку радіоканалу зв'язку з підвищеною спектральною ефективністю та пропускнуою здатністю.

На базі розроблених нових схемо-технічних рішень побудови радіорелейної системи терагерцового діапазону, проведеного моделювання основних функціональних вузлів приймально-передавального тракту, спроектовано та виготовлено лабораторний зразок цифрової системної радіорелейної лінії терагерцового діапазону частот 128–134 ГГц із загальною пропускнуою здатністю каналу зв'язку до 1,2 Гбіт/с при значенні ймовірних бітових помилок BER на рівні  $10^{-6}$  та дальністю зв'язку в межах 1 км.

Створений апаратно-програмний комплекс цифрової радіорелейної лінії у складі формувача, передавального та приймального трактів терагерцового діапазону забезпечує операторів телекомунікацій технічними рішеннями та інструментальними засобами системної пакетної передачі гігабітних потоків в неліцензійному терагерцовому діапазоні 130-134 ГГц для побудови над високошвидкісних розподільчих мереж доступу, включаючи передачу телевізійних сигналів високої та надвисокої чіткості в реальному масштабі часу.

(рос.)

Разработаны принципы и аппаратно-програмные решения построения телекоммуникационной системы широкополосного доступа с гигабитной пропускной способностью в диапазоне частот 128-134 ГГц для решения проблемы перегрузки частотных диапазонов, используемых на сегодняшний день, существенного повышения скорости передачи данных систем беспроводного радиодоступа, а также создание сверхвысокоскоростных радиорелейных линий нового поколения.

На основе проведенного физического моделирования изготовлены два

лабораторных образцы сверхвысокоскоростного формирователя на основе многочастотного мультиплексирования промодулированных OFDM цифровых потоков, проведены их стендовые испытания и оптимизация на достижение максимальной пропускной способности канала передачи цифровой информации потока в формате Ethernet с использованием разработанных программных средств. Созданные программно-аппаратные средства позволили впервые достичь общую канальную скорость при полном дуплексе до 1,2 Гбит/с.

Разработано новое техническое решение относительно кодирования и модуляции потока в формате Ethernet с распределением по смежным частотным полосам и объединения их в общий многочастотный поток в передающем тракте и распределения по выходным частотным полосам с последующей их демодуляцией, маршрутизацией и формированием Ethernet интерфейса в приемном тракте приемо-передающего формирователя информационного потока радиоканала связи с повышенной спектральной эффективностью и пропускной способностью.

На базе разработанных новых схемотехнических решений построения радиорелейной системы терагерцового диапазона, проведенного моделирования основных функциональных узлов приемо-передающего тракта, спроектирован и изготовлен лабораторный образец цифровой системной радиорелейной линии терагерцового диапазона частот 128-134 ГГц с общей пропускной способностью канала связи до 1,2 Гбит/с при значении вероятных битовых ошибок BER на уровне  $10^{-6}$  и дальностью связи в пределах 1 км.

Созданный аппаратно-программный комплекс цифровой радиорелейной линии в составе формирователя, передающего и приемного трактов терагерцового диапазона обеспечивает операторов телекоммуникаций техническими решениями и инструментальными средствами системной пакетной передачи гигабитных потоков в нелицензионном терагерцовом диапазоне 130-134 ГГц для построения сверхвысокоскоростных распределительных сетей доступа, включая передачу телевизионных сигналов высокой и сверхвысокой четкости в реальном масштабе времени.

**(англ.)**

The principles and hardware / software solutions to build a telecommunication system broadband Internet access with Gigabit bandwidth in the frequency range 128-134 GHz to solve congestion frequency bands used today, a substantial increase in the data rate of wireless radio access systems, and the creation of ultra high radio relay lines of the new generation.

On the basis of physical modeling made two experimental samples of ultra high performance driver based on frequency division multiplexing OFDM modulated digital streams, conducted bench-testing and optimization to achieve the maximum bandwidth of the transmission channel of the digital information stream into Ethernet format using the developed software. Created hardware and software made it possible to reach a common channel speed at full duplex up to 1.2 Gbit/s.

Developed new technical solution for encoding and modulating flow in the Ethernet format with the distribution of adjacent frequency bands and combining them into a common multi-frequency flow in the transmitting tract and distribution at the output of the frequency bands and their subsequent demodulation, routing and shaping the Ethernet interface in the receiving channel transceiver driver information flow channel due to the increased spectral efficiency and throughput.

On the basis of the new scheme-technical solutions build relay systems terahertz range, the modeling of the basic functional units of the receiving / transmitting tract, designed and constructed an experimental model of digital radio-relay system line terahertz frequency range 128-134 GHz with a total bandwidth of the communication channel to 1.2 Gbit/s is likely to bit errors BER level of  $10^{-6}$  and the communication range is within 1 km. Created a hardware-software complex digital microwave links in the structure of the imaging

unit, transmitting and receiving channels of the terahertz range provides operators of telecommunications technical solutions and tools system packet Gigabit flows in unlicensed terahertz range 130-134 GHz to build ultra high-distribution-access network, including the transmission of television signals of high and ultra-high definition in real time.

(Трьома мовами: укр., рос., англ., обсягом не менше 1500-2000 знаків кожною мовою).

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

- Патент на корисну модель №79483 (Україна). Мікрохвильова інтегрована телерадіоінформаційна система мультисервісного радіодоступу з підвищеною пропускною здатністю UMDS-K/ Наритник Т.М., Ременець М.І., Казіміренко В.Я., Войтенко О.Г., Свириденко В.М. – опубл. 25 квітня 2013р. Бюл.№8.

- Патент на корисну модель №,84923 (Україна). Приймально-передавальний формувач інформаційного потоку для каналу зв'язку із підвищеною спектральною ефективністю та пропускною здатністю/ Ільченко М.Ю., Наритник Т.М., Казіміренко В.Я., Войтенко О.Г., Радзіховський В.В., Свириденко В.В. – опубл. 11.11.2013р. Бюл.№21.

- Патент на корисну модель № 88535, (Україна). Мікрохвильова інтегрована телерадіоінформаційна система MIPIC-T2 / Наритник Т.М., Казіміренко В.Я., Мікрюков С.А., Булгач С.В. – опубл. 25.03.2014р. Бюл.№6.

- Патент на корисну модель № 88917, (Україна). Телекомунікаційна система багатоканальної передачі цифрової інформації шумовими сигналами /Згуровський М.З., Ільченко М.Ю., Наритник Т.М., Дідковський Р.М., Кравчук С.О. – опубл.10.04.2014р. Бюл.№7.

- Заявка на корисну модель № U 201401891 від 25.02.2014, (Україна ). Канал передачі даних в терагерцовому діапазоні з пропускною здатністю більше 1 Гбіт/с / Ільченко М.Ю., Наритник Т.М., Казіміренко В.Я. Радзіховський В.В., Кузьмін С.Є.

- Заявка на корисну модель № U 201409347 від 22.08.2014, (Україна ). Мікрохвильова інформаційна система надання послуг передачі даних із використанням терагерцового діапазону/ Ільченко М.Ю., Наритник Т.М., Казіміренко В.Я.

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

Створена наукова та науково-технічна продукція відповідає світовому рівню.

В порівнянні із найближчим зарубіжним аналогом – телекомунікаційною системою в діапазоні частот 120 ГГц для передачі даних зі швидкістю 10 Гбіт/с на відстань до 2,5 км в умовах вільного простору (розробник – фірма NIPPON Telegraph and Telephone (NTT), Японія) підвищено частотний діапазон до 134 ГГц, що дасть можливість зменшення втрат радіосигналу за рахунок можливості роботи у вікні прозорості атмосфери і таким чином збільшити дальність радіозв'язку в безпроводних локальних комп'ютерних мережах ,високошвидкісних розподільчих мереж доступу, включаючи передачу телевізійних сигналів високої та надвисокої чіткості в реальному масштабі часу та сенсорних мережах передачі інформації.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок (вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності, показники).**

Вартість реалізації проекту включає в себе наступні витрати:

- Тестова експлуатація – 20 тис. USD
  - Організація виробництва продукції – 80 тис. USD
  - Організація реалізації продукції – 10 тис. USD
- Всього – 110 тис. USD

До Плану використання радіочастотного ресурсу України (розділ II) Постановою Кабінету Міністрів України №838 від 05.09.2012р. внесена радіотехнологія радіорелейного зв'язку в діапазоні частот 130-134 ГГц.

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

провайдери та оператори телекомунікацій, підприємства Концерну РРТ, науково-дослідні та проектно-конструкторські організації при створенні нового покоління телекомунікаційних систем, вищі навчальні заклади при підготовці фахівців та наукових кадрів телекомунікаційного профілю.

Потенційним виробником є науково-виробниче підприємство ВАТ «Меридіан» ім. С.П.Корольова при налагодженні виробництва розроблених схем передавальних та приймальних трактів терагерцового діапазону.

**8. Стан готовності розробки (лабораторний або промисловий зразок, технічна документація, бізнес-план, готова до впровадження).**

Лабораторний зразок симплексної цифрової радіорелейної лінії терагерцового діапазону частот 128-134 ГГц для передачі надвисокошвидкісної (до 1,2 ГГбіт/с) передачі цифрової інформації.

**9. Існуючі результати впровадження.**

Розроблено нові схемо-технічні рішення та технології створення апаратних програмних засобів симплексної цифрової радіорелейної лінії терагерцового діапазону частот 128-134 ГГц для передачі надвисокошвидкісної (до 1,2 ГГбіт/с) передачі цифрової інформації. Результати роботи використовуються спільно з ВАТ «Меридіан» ім. С.П.Корольова (м.Київ) у рамках виконання робіт по проектуванню контрольно-вимірної апаратури субтерагерцового діапазону та Одеським обласним радіотелевізійним передавальним центром (м.Одеса) (договір № С/944 від 17.04.2013р.) для створення засобів передачі сигналів цифрового телебачення високої чіткості. Це дало змогу збільшити швидкість передачі інформації в 8 разів та істотно (до 10 разів) зменшити вартість обладнання.

Результати роботи впроваджено в навчальний процес при викладанні нових лекційних курсів «Проектування радіорелейних систем терагерцового діапазону» з дисципліни «Безпроводові телекомунікаційні системи».

**10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.**

Науково-дослідний інститут телекомунікацій Національного технічного університету України «КПІ», кафедра телекомунікацій

**11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання (вагомі): (монографії, підручники, посібники, наукові статті, дисертації, інші публікації).**

**Статті**

1. Нарытник Т.Н. Ксензенко П.Я., Химич П.В. Внедрение ШПД в гибридных сетях //Телеком.-№3.-2013.-с.32-39.
2. Нарытник Т.Н., Ксензенко П.Я., Химич П.В. Микроволновые сети bachhaul на базе МИТРИС и DOCSIS// Телеком.-№5.-2013.-с.14-26.
3. Нарытник Т.Н. Ксензенко П.Я., Химич П.В. Преимущества и перспективы развития микроволновых распределительных сетей на основе технологий МИТРИС и DOCSIS// Электронное научное специализированное издание – журнал «Проблемы телекоммуникаций.- № 4 (9).- 2012 .-с. 104-128.

4. Нарытник Т.Н., Ксензенко П.Я., Химич П.В. Гетерогенные распределительные сети асимметричного доступа с использованием микроволновых технологий цифрового телевизионного вещания// З'вязок.-№2.-2013.-С.12-20.
5. Transceiver for 130-134 GHz band and digital radiorelay system. M.Ye. Pchenko, T.N. Narytnik, S.Ye. Kuzmin, A.I. Fisun, O.I. Belous, V.N. Radzikhovsky// Telecommunications and Radio Engineering.- Volume 72.- Number 17.- 2013.-P.1623-1638.
6. Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Кузьмин С.Е., Радзиховский В.Н Моделирование функциональных узлов радиорелейной системы терагерцового диапазона// Электронное научное специализированное издание – журнал «Проблемы телекоммуникаций».- №2 (11) .- 2013.-с. 95-113.
7. M.Ye.Pchenko, T.N.Narytnik, V.A.Cherepenin, V.I.Kalinin, V.V.Chapursky. Terahertz Communication System on the Base of Chaotic Noise Signals Intern.Reseach// Journal “Telecommunication Sciences”, V.4, No 1, 2013.
8. Ильченко М.Е., Кузьмин С.Е., Нарытник Т.Н., Радзиховский В.Н. Приемо-передатчик для цифровой радиорелейной системы терагерцового диапазона// TELECOMMUNICATION SCIENCES Volume 72, Number 18, 2013.-P.1651-1663
9. Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Кузьмин С.Е., Радзиховский В.Н Моделирование функциональных узлов радиорелейной системы терагерцового диапазона// Электронное научное специализированное издание – журнал «Проблемы телекоммуникаций».- №2 (11) .- 2013.-с. 95-113.
10. Ильченко М.Ю., Нарытник Т.М., Дідковський Р.М. Принципи побудови багатоканальної телекомунікаційної системи із стохастичним носієм// Наукове видання.-Збірник «Цифрові технології».-ОНАЗ ім.Попова.-№13.-2013.-с.5-13.
11. Ильченко М.Е., Калинин В.И., Нарытник Т.Н., Дидковский Р.М Потенциальная помехоустойчивость систем связи с автокорреляционным приемом модулированных шумовых сигналов// Журнал «Цифрові технології» .-№14.-2013.-с.5-17.
12. Нарытник Т.М., Дідковський Р.М. Методи передачі інформації стохастичними сигналами// Журнал «Цифрові технології» .-№14.-2013.-с.39-56.
13. Ильченко М.Ю., Нарытник Т.М., Дідковський Р.М. Принципи побудови багатоканальної телекомунікаційної системи із стохастичним носієм //Журнал «Цифрові технології» .-№13.-2013.-с.5-13.
14. Ксензенко П.Я., Нарытник Т.Н., Химич П.В. Backhaul для гетерогенных сетей Журнал //«Телекоммуникации».-№1-2.-2014.-с.10-21.
15. Narytnik T. M., Ibrahim A. A., Turabi I. O. Analysis of the possibility of creating gigabit distribution networks with the using of terahertz range radio-relay lines// Electronics and Control Systems 2014. № 1(39): p.15-22.
16. Нарытник Т.М., Гофайзен О.В., Баляр В.Б. Аналіз технічних та експлуатаційних характеристик сучасних мікрохвильових систем розподілу сигналів цифрового мовлення//Цифрові технології. - 2014. - Вип. 15. - С. 87-98. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ct\\_2014\\_15\\_13.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ct_2014_15_13.pdf).
17. Нарытник Т.М., Дідковський Р.М. Методи передачі інформації стохастичними сигналами//Цифрові технології .-2014.-Вип.15.-С.7-27.-Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ct\\_2014\\_15\\_3.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ct_2014_15_3.pdf).
18. Narytnik T.N. Possibilities of Using THz-Band Radio Communication Telecommunications and Radio Engineering, 73 (15):1361-1371 (2014).
19. Pchenko M.Ye., Kalinin V.I., Narytnik T.N., Didkovsky R.M. Potential Performance of the Communication System Using// Telecommunications and Radio Engineering, 73 (11):955-976 (2014).
20. Pchenko M.Ye., Narytnik T.N., Didkovsky R.M, Potential Noise-Immunity of Communications with Power Reception of the Shift-// Telecommunications and Radio Engineering, 73 (9):777-791 (2014).

21. Ilchenko M.Ye., Narytnik T.M., Ali Abdalla Ibrahim Idris, Didkowsky R.M., Osama Turabi Theoretical and practical aspects of the use of stochastic signals in telecommunication systems// Telecommunications and Radio Engineering.- Vol. 73 (20), pp. 6-1817.
22. М.Ю. Ільченко, Т.М. Наритник, Р.М. Дідковський. Принципи побудови надширокопasmової системи радіозв'язку в суб-терагерцовому діапазоні частот// Проблеми телекомунікацій. - 2014. - №3 (15).- режим доступу [http://pt.journal.kh.ua/2014/3/1/143\\_ilchenko\\_wireless.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2014/3/1/143_ilchenko_wireless.pdf).

### **Матеріали конференцій**

1. Ільченко М.Ю., Наритник Т.М., Войтенко А.Г., Казимиренко В.Я. Беспроводова мультисервісна система абонентського доступу до інформаційних ресурсів.(Пленарна доповідь)// Матеріали Сьомої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» (ПТ-13) К.: НТУУ «КПІ», 2013, с.6.
2. Наритник Т.М., Казимиренко В.Я., Адамович О.М., Волошин А.В., Коломицев М.О., Костючок Ю.С. Дослідження перспектив використання терагерцового діапазону для створення телекомунікаційної системи //Матеріали Сьомої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» (ПТ-13) К.: НТУУ «КПІ», 2013, с.16.
3. Ільченко М.Ю., Наритник Т.Н., Войтенко А.Г., Казимиренко В.Я., Волков В.В. Приемально-передавальний формувач інформаційного потоку для каналу зв'язку з підвищеною спектральною ефективністю і пропускну здатністю //Матеріали Сьомої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» (ПТ-13) К.: НТУУ «КПІ», 2013, с.16.
4. Ільченко М.Е., Наритник Т.Н., Войтенко А.Г. Система микроволновая интегрированная телерадиоинформационная мультисервисного радиодоступа «UMDS»//Матеріали 23-ої Міжнародної Кримської конференції (КриМіко-2013) «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». 2013. т.1, с.320-322.
5. Ільченко М.Е., Кузьмин С.Е., Наритник Т.Н., Радзиховський В.Н. Приемно-передатчик для цифровой радиорелейной системы терагерцового диапазона //Матеріали 23-ої Міжнародної Кримської конференції (КриМіко-2013) «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». 2013. т.1,с.318-319.
6. Наритник Т.Н., Войтенко А.Г.,Казимиренко В.Я., Волков В.В. Развитие системы беспроводного доступа и создание канала связи в терагерцовом диапазоне длин волн //Матеріали 23-ої Міжнародної Кримської конференції (КриМіко-2013) «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». 2013. т.1,с.323-325.
7. Наритник Т.Н. Исследования формирователя цифрового потока для телекоммуникационных систем терагерцового диапазона. Сборник научных трудов первой Международной научно-практической конференции «Проблемы инфокоммуникаций. Наука и технологии».-Харьков , 9 -11 октября 2013.-с.23-26.
- 8.Наритник Т.Н., Ільченко М.Е., Радзиховський В.Н Исследование радиосигнала связи для перспективных телекоммуникационных систем терагерцового диапазона// Матеріали Восьмої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій.- К.:НТУУ «КПІ», с.137-140.
10. Наритник Т.Н., Ільченко М.Е., Войтенко А.Г., Свириденко В.Н. Микроволновая мультисервисная система абонентського доступа UMDS к информационным ресурсам//Матеріали Восьмої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій.-К.:НТУУ «КПІ», 2014,с. 191-195.
11. Наритник Т.М., Могильченко М.О., Корсак В.Ф., Войтенко О.Г., Поршневу В.Л. Пристрій з підвищеною частотною вибірковістю для систем радіомоніторингу //Матеріали Восьмої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій.-К.:НТУУ «КПІ», 2014,с. 307-309.
12. Наритник Т.Н., Ільченко М.Е., Войтенко А.Г., Дідковський А.В., Алиев М.Я., Волков В.В. Исследования формирователя информационного потока для канала связи с повышенной

пропускною здатністю //Матеріали Восьмої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій.-К.:НТУУ «КПІ», 2014,с. 310-312.

13. Нарытник Т.Н., Ильченко М.Е., Войтенко А.Г., Свириденко В.Н., Лутчак А.В. Микроволновая мультисервисная система UMDS//4-а Міжнародна науково-практична конференція «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє».- м.Одеса.-збірник.-часть 3.-с..87-91.

14. Корсак В.Ф., Нарытник Т.М., Войтенко О.Г., Поршнев В.Л., Лутчак О.В. Частотно-вибірковий пристрій для радіомоніторингу базових станцій стільникового зв'язку стандарту CDMA-800. //4-а Міжнародна науково-практична конференція «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє».- м.Одеса.-збірник.-часть 1.-с.51-54.

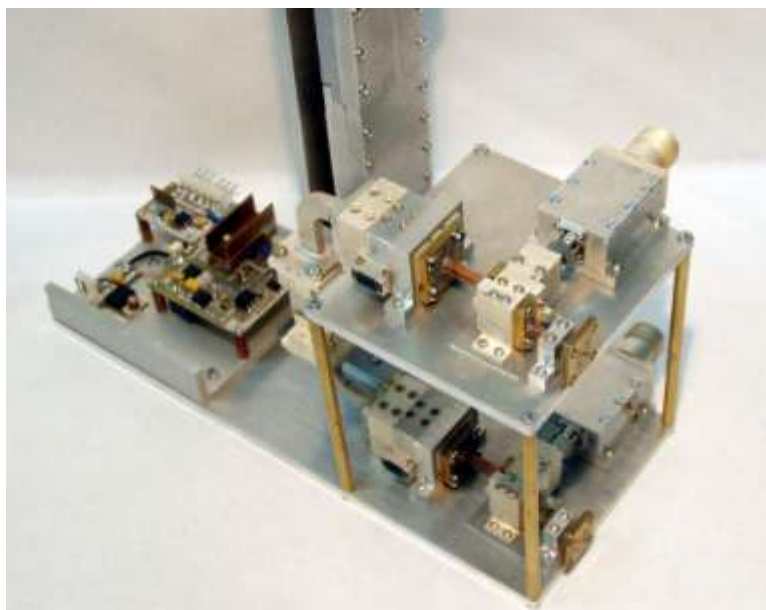
15. Нарытник Т.Н.,Слюсар В.И. Методы построения современных радиорелейных тропосферных станций// Сборник трудов конференции «Проблемы инфокоммуникаций. Наука и технологии» PIC S&T'2014».-Харьков.-2014.-II том.-с.178-181.

16.Нарытник Т.Н., Казимиренко В.Я., Сайко В.Г., Али Абдалла Ибрагим Идрис, Осам Тураби. Технические решения по развертыванию сети широкополосного доступа на базе микроволновых телекоммуникационных систем типа UMDS//Збірник Всеукраїнської науково-практичної конференції "Сучасні проблеми телекомунікацій та підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2014" (СПТЕЛ – 2014).- м.Львів.-С.155-158.

**12. Фото або слайди (декілька з фото) презентації розробки в електронному вигляді (рекламного характеру).** Якщо фото надається окремим файлом, бажано використовувати JPEG формат.



**Високошвидкісний гігабітний модем**



Телекомунікаційна система в зборі



Високошвидкісний гігабітний модем в корпусі

**ОПИС ЗАВЕРШЕНОЇ РОЗРОБКИ** надсилається по e-mail або подається в електронному вигляді до організаційно-аналітичного відділу НДЧ. Файл “Документ Word”, розмір шрифту 12, міжрядковий інтервал 1, формат А4, поля з усіх боків 2 см).  
**Увага !**

Кожна розробка надається окремим файлом з наступною назвою:

– для завершених бюджетних робіт - № теми з літерою наприклад, 2317-ф або 2014-п.

**Ваша розробка буде розміщена в базі завершених розробок на сайті Департаменту**  
<http://science.kpi.ua/> .

**Організаційно-аналітичний відділ НДЧ, e-mail: [o.savitch@kpi.ua](mailto:o.savitch@kpi.ua) к. 138-1. Тел. 454-92-00.**



**Дослідження механізму з'єднання матеріалів в умовах керованої і високоенергетичної плазмохімічної обробки поверхонь**

**Исследование механизма соединения материалов в условиях управляемой высокоэнергетической плазмохимической обработки поверхности**

**Investigation of the mechanism of joining materials in the conditions of the controlled high-energy plasma chemical surface treatment**

1. **Номер державної реєстрації теми - 0108U000572, НТУУ «КПІ» - 2109-п.**
2. **Науковий керівник -** д.т.н., проф. Кузнецов В.Д., Кузнецов В.Д., Kuznetsov Valeriy D.

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

**(укр.)**

Виявлення характеристик просторового положення плазми дуги керованою зовнішнім магнітним полем дозволяє контролювати тепловнесення в основний метал у процесах аргоно-дугового наплавлення. Введення теплового потоку відхиленої магнітним полем плазми дуги безпосередньо на присадковий дріт супроводжується різким його плавленням, мінімальним підплавленням основи, і, відповідно, суттєвим збільшенням площ наплавленого металу. За результатами досліджень розроблений та виготовлений макет пристрою введення магнітного поля із блоком керування та надані технологічні рекомендації щодо впровадження процесів при відновленні деталей лезвійного типу та тонкостінних конструкцій.

Встановлення впливу електромагнітних дій та складного газового середовища з активними компонентами на процес формування газопорошкових потоків дозволяє свідомо керувати просторовою організацією взаємного положення окремих фаз гетерогенного потоку в процесах нанесення покриття, змінювати енергетичні умови ведення процесу, впливаючи на структурні перетворення в матеріалі покриття, створювати нові фази в матеріалі покриття (в тому числі і нанорозмірного діапазону). За результатами досліджень розроблений макет розпилювального пристрою для газотермічного нанесення покриття із застосуванням поперечного магнітного поля і складних газових сумішей на основі повітря, який дозволяє узгоджувати взаємне положення фаз газопорошкового потоку, що суттєво впливає на коефіцієнт використання матеріальних та енергетичних ресурсів.

Створення спеціального активного газового середовища при плазмовому різанні дозволяє контролювати процес розчинення азоту у розплавленому металі різі, що в подальшому зменшує кількість розчинного азоту у зварному шві, завдяки чому різко (у кілька разів) зменшується пористість зварних швів та їх робочі характеристики навіть без додаткової механічної обробки вирізаних крайок. На основі проведених досліджень розроблені технологічні рекомендації повітряно-плазмового різання із додаванням води і макети спеціального обладнання.

**(рос.)**

Проведены экспериментальные исследования влияния электромагнитных полей на электрическую дугу в процессах плазменного напыления и аргонодуговой наплавки; разработаны действующие макеты оборудования; определено влияние режимных параметров ведения процесса на показатели качества полученного продукта и эффективность технологий; исследованы процессы плазменной резки с плазмохимическим синтезом соединений азота для влияния на порообразование (*.....переклад укр.варіанту*).

**(англ.)**

Experimental researchers acting of electromagnetic fields on the arc in the processes of plasma air spraying and TIG surfacing are provided, and the models of that equipment are developed. The

parameters of the processes and the rates of the quality and efficiency of technologies are determined. Processes of plasmas cutting are resears... (бажано переклад укр.варіанту).

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

- Патент на корисну модель №29480. Спосіб формування газопорошкового потоку при плазмовому нанесенні покриттів / Пащенко В.М., Кузнецов В.Д., Свистун С.В. – опубл. 10 січня 2008 р. Бюл. №1;
- Патент на корисну модель №29482. Пристрій для формування газопорошкового потоку при плазмовому нанесенні покриттів / Пащенко В.М., Кузнецов В.Д., Свистун С.В. – опубл. 10 січня 2008 р. Бюл. №1;
- Патент на корисну модель №34848. Спосіб формування газопорошкового потоку при плазмовому напиленні / Пащенко В.М., Кузнецов В.Д., Солодкий С.П., Свистун С.В. – опубл. 26.08. 2008 р. Бюл. №16;
- Патент на корисну модель №34849. Спосіб керування просторовим положенням плазмового потоку / Пащенко В.М., Кузнецов В.Д. – опубл. 26.08. 2008 р. Бюл. №16;
- Патент на корисну модель №42589. Пристрій для формування газопорошкового потоку при плазмовому напиленні / Пащенко В.М., Василенко О.С. – опубл. 10.07. 2009 р. Бюл. №13.

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

Результати відповідають світовому рівню, а підходи до керування енергетичними та технологічними можливостями джерел нагрівання за рахунок формування високотемпературних газових потоків із прогнозованими та керованими у просторі та часі тепловими, газодинамічними та концентраційними параметрами не мають аналогів у світовій практиці інженерії поверхні.

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

Застосування розроблених технологій та обладнання дозволяє значно знизити собівартість та підвищити якість виробів з покриттями за рахунок:

- підвищення на 30 – 70 % коефіцієнта використання матеріалу в процесах нанесення поверхневих шарів;
- підвищення на 40 – 70 % продуктивності процесів газотермічного нанесення покриття;
- зниження (на 30 – 40 %) питомих енерговитрат на одиницю оброблюваного матеріалу;
- зменшення долі участі основного металу в поверхневому шарі до 2 – 5 %.

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

Технології інженерії поверхні із керуванням рівня енергетичного впливу на об'єкт можуть застосовуватись на підприємствах та в організаціях різних галузей промисловості: машинобудуванні, металургійному і гірничому комплексах, авіа і суднобудуванні, теплоенергетиці, де широко розповсюджені технології інженерії поверхні і гостро стоїть проблема підвищення ефективності виробництва.

#### **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.**

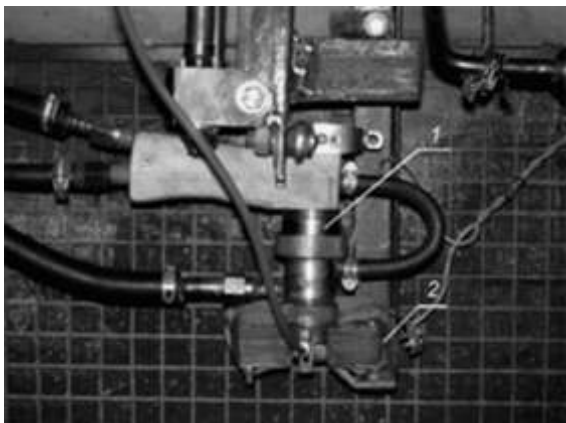
Технологія плазмового різання керованим плазмохімічним струменем впроваджена на Херсонському суднобудівному підприємстві у виробництві заготовок обшивки корпусів і

забезпечує високу продуктивність, чистоту різку та хімічний склад поверхні під наступне зварювання. Заплановано сумісне використання технологій і пристроїв з ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України та «Інститутом механізації та електрифікації сільського господарства».

Основні положення роботи впроваджені у підручнику “Інженерія поверхні ” та лабораторних роботах з курсів “ Обладнання та технологія для газотермічного нанесення покриття” та «Теоретичні основи інженерії поверхні”. За матеріалами роботи підготовлена докторська дисертація за темою: „Удосконалення технологій дифузійного зварювання паяння у вакуумі та повітряно-плазмового різання на основі аналізу газової фази і її взаємодії з металом та термодформаційних процесів при зварюванні ”; захищена кандидатська дисертація за темою: „Підвищення ефективності плазмового напилення застосуванням електромагнітних дій”. Розроблена технологія підвищення зносостійкості лап культиватора плазмово-дуговим напиленням із застосуванням магнітних дій (дослідна партія виробів проходить випробування в Інституті механізації та електрифікації сільського господарства).

#### 10. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ”КПІ”, зварювальний факультет, кафедра відновлення деталей машин,  
406-82-42, [kvd@wd.ntu-kpi.kiev.ua](mailto:kvd@wd.ntu-kpi.kiev.ua)



Макет плазмового пристрою для нанесення покриттів із магнітним керуванням процесом формування газопорошкового потоку

Макет установки аргоно-дугового наплавлення неплавким електродом із застосуванням струмопровідного присадково-вого дроту і магнітним керуванням положенням електричної дуги



#### 11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Пашенко В.М. Керування енергетичними та просторовими характеристиками плазмових струменів в процесах інженерії поверхні // Міжнародна науково-технічна конференція ”Досконалість зварювання – комплексний підхід ”, Київ,15-17 травня, 2007 р. – С.70- 71.
2. Пашенко В.М., Солодкий С. П.Підвищення коефіцієнта використання дисперсного матеріалу при повітряно-плазмовому нанесенні покриттів Міжнародна науково-технічна конференція ”Досконалість зварювання – комплексний підхід ”,Київ,15-17 травня 2007 р. – С.72-73.

3. Пащенко В.М. Просторове узгодження положення твердої та газової фаз при плазмовому нанесенні покриття // Вісник Приазовського Державного технічного університету. – вип.18., 2008р. – С.193-197.
4. Пащенко В.Н. Влияние состава плазмообразующей воздушно-газовой смеси на параметры струи плазмотрона // Автоматическая сварка. – №4 (672), 2009 р. – С.33-38.
5. Кузнецов В.Д., Пащенко В.Н., Маковой В. А., Износостойкость слоев при наплавке и напылении на высокоуглеродистые материалы // Труды XV Міжнародної науково-технічної конференції «Машиностроение и техносфера XXI века», 15-20 вересня 2008 р., м. Севастополь, 2008. – т.4. – С. 272-276.
6. Кузнецов В.Д., Пащенко В.М., Маковой В.О., та ін., Проблеми відновлення зношених поверхонь деталей машин і конструкцій із високовуглецевих матеріалів //«Технологические системы», Научно-технический журнал. –Киев, 2008. – 1(41), С. 34-38.
7. Kvasnytskyu V.V., Egorov G.V, Goloborod`ko Z.G., Kvasnytskyu V.F., Pototnya A.M. Influence of plasma cutting methods on the quality of ship hull details and welded constructions/ //Maritime industry, Ocean Engineering and Coastal Resources: Proceedings of 12<sup>th</sup> international congress of the international maritime association of the mediterranean (IMAM 2007), Varna, Bulgaria, 2-6 sept. 2007. Vol.1/ Editors: C. Guades Soares, Petar N. Kolev. – London: Taylor and Francis Group, 2008. – P. 477 – 482.
8. Квасницький В.В., Голобородько Ж. Г., Квасницький В. Ф. Термодинамический анализ газовой фазы и влияние состава воздушно-паровой плазмы на тепловые характеристики дуги // Проблеми техніки: Науково - виробн. журнал. – Одеса: Одеський нац. ун-т, №2, 2008. –С. 83 – 90.
9. Квасницький В.В. Влив способів плазмового різання на якість деталей сільськогосподарських машин // Міжвід. темат. наук. зб. «Механізація та електрифікація сільського господарства». – Глеваха: НДЦ «ІМЕСГ». – 2008. – вип.92. – С.446 – 450.