

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерства освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ОБІХОД ЯРОСЛАВ ЯКОВИЧ

УДК 621.391

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДИ КЕРУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі
05 – технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Я.Я. Обіход

Науковий керівник

Лисечко Володимир Петрович
кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2019

АНОТАЦІЯ

Обіход Я. Я. Методи керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі». - Український державний університет залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України, Харків, 2019.

Дисертаційна робота присвячена розробці методів керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж з метою підвищення ефективності їх функціонування.

У вступі обґрунтовується актуальність теми роботи, зв'язок роботи з науковими програмами, формулюються мета і задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження. Наведено перелік результатів дисертаційного дослідження, які становлять наукову новизну, зазначено практичне значення отриманих результатів, перелік наукових статей та конференцій, на яких було проведено апробацію результатів, а також структуру та обсяг роботи.

У першому розділі проведено дослідження рівня керування доступом до середовища, методів керування та керування системами когнітивного радіо. Співіснування критично важливе для радіоінтерфейса IEEE 802.22, який потрібен, щоб включати діючі механізми виявлення і захисту, а також заходу співіснування. Протокол СВР (Coexistence Beacon Protocol, СВР) використовується, щоб обмінюватися маяками співіснування для досягнення ефективного співіснування серед клітин, що перекриваються IEEE 802.22. Комбінація діючого захисту і механізмів співіснування формує рівень MAC (Media Access Control, MAC), що є дуже гнучким і адаптивним до середовища і може реагувати на раптові зміни. Перш ніж CPE (Customer Premises Equipment, CPE) може увійти в мережу, воно повинне бути обслуговане базовою станцією (base station, BS), і його можливості повинні бути погоджені з BS. Дана процедура може включати багато завдань (наприклад, геолокацію і розпізнавання каналів) і налагодження зв'язків між CPE і

BS. Вся ця процедура згадується як ініціалізація і мережева асоціація. Ще більш важливим є те, що під час цього процесу BS повинен мінімізувати передачу CPE так, щоб не викликати інтерференційні перешкоди із працюючими структурами. Іншими словами, ініціалізація і мережевий процес асоціації означає, що системний захист, що займає позицію, повинен максимізуватися. Мережі, на основі нечітких нейронних мереж, одержали свою назву в силу того, що для апроксимації залежності вихідного сигналу від вхідного вектора $X=[x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ у них використовуються вирази, запозичені з нечітких систем (зокрема, із систем Мамдани-Заді й Такаги-Сугено-Канга). Усі вузли мережі (т.з. мережі MANET – Mobile Ad-Hoc Networks) обмінюються інформацією безпосередньо між собою або застосовують ретрансляцію переданих пакетів. Особливостями такої системи є багатомірність, багатофункціональність, ієрархічність, сильна залежність характеру функціонування від параметрів когнітивного радіо та зовнішніх впливів, функціонування мережі з можливістю її самоорганізації, прийняття розв'язків у реальному або близькому до реального масштабі часу, мінімальне завантаження мережі службовою інформацією, оптимізація характеристик мережі і максимальна автоматизація процесів керування мережею.

У другому розділі отримав подальший розвиток метод керування середовищем когнітивного радіо, було здійснено впровадження когнітивних функцій в його архітектуру. Запропоновано архітектуру керування середовищем WRAN (Wireless Regional Area Network, WRAN) з використанням когнітивних функцій, а також розроблено блок-схему алгоритму керування середовищем WRAN, реалізованого під керуванням нейронної мережі. Безліч різних WRANs разом розташовуються в певній географічній області. Нейронна мережа розташовується в кожній BS і взаємодіє з іншими WRANs, відповідно до стандарту IEEE 802.22. Оточення мережі може складатися з інших WRANs, з якими вона може взаємодіяти. Ці взаємодії можуть включати спільне використання даних і узгодження розподілу ресурсу. Окрема мережа може служити координатором середовища і взаємодіяти з множинними WRANs з метою забезпечення заявлених характеристик когнітивного радіо. Використовуючи внутрішню організацію мережі, провайдер може організувати

білінгову систему всередині WRAN або організувати послугу роумінгу, якщо це стосується іншого WRAN. Функції, пов'язані з користувальницькою автентифікацією, тарифікацією, безпекою, конфіденційністю, керуванням мобільністю, можуть бути також враховані як параметри нейронної мережі. Застосування додаткової нейронної мережі дає можливість спрогнозувати навантаження і взаємний вплив параметрів один на одного. Таким чином, можна спрогнозувати пропускну здатність, як AP (Access Point), так і всієї мережі, навантаження в різний час і т.д. На підставі накопичених даних нейронна мережа повинна забезпечити збалансований розподіл ресурсів в масштабі WRAN. Дана мережа буде прагнути до обслуговування максимальної кількості абонентів до одночасної мінімізації випадків відмови від обслуговування. Нейронна мережа в кожній WRAN може збирати статистичні дані про стан оточення для аналізу і оцінки параметрів, щоб оптимізувати системну продуктивність, яка може ґрунтуватися на прогнозуванні з використанням нейронної мережі або інших методів. Інформація може бути розширена додатковими компонентами визначення для забезпечення додаткових даних, які безпосередньо пов'язані з безпекою, несанкціонованим доступом, впливом інших WRANs. Нейронна мережа використовує результати вимірювань для генерації локального керування і регулює продуктивність всієї системи WRAN. Дана система має такі функціональні блоки як: блок прийому-передачі; блок геолокації, моніторингу спектра і вимірювання рівня випромінювання; шина обміну даних; блок зберігання і обробки службової інформації; блок системи управління, підсистема керування, підсистема прийняття рішення. Результати роботи імовірнісної нейронної мережі (Probabilistic Neural Network, PNN) більш детально описані в другому розділі.

У третьому розділі розроблено узагальнений алгоритм PSO-NN (Particle Swarm Optimization, PSO-NN). Також удосконалено метод множинного виявлення шляхом використання методу рою частинок і згорткової нейронної мережі, а також його реалізації. Розроблений узагальнений алгоритм PSO-NN відрізняється від існуючих тим, що він більш коректно налаштовується на реальні умови, властиві архітектурі когнітивних систем. Цей алгоритм використовує оптимізацію

рою частинок під керуванням згорткової нейронної мережі. Завдяки цьому забезпечується суворий доступ до аналізу спектру на основі енергетичної складової мобільних користувачів. За рахунок використання мікрочасткової архітектури та згорткових нейронних шарів, функція ефективності виявлення і глобальне розташування частинок визначається більш точно. Подальша реалізація алгоритму множинного виявлення відрізняється від існуючих тим, що після об'єднання матриць користувачів виявлених каналів, тільки один користувач закріплюється за певним каналом. Також, така реалізація передбачає більш реалістичний простір пошуку і швидкість виявлення користувачів зі знайденими каналами. Моделювання PSO-NN, як алгоритм ефективності множинного виявлення для 50 мобільних користувачів, має кілька згорткових шарів, які узагальнено один з одним. Така архітектура може бути підтвердженням того, що обрана практичним шляхом нейронна мережа більшою мірою задовольняє поставленим завданням.

Четвертий розділ присвячено розробці методу суміщеного використання спектру для зменшення ймовірності помилок при виявленні вільних каналів та для зменшення кількості помилок при передачі інформації вторинними користувачами, а також реалізації процедури вибору каналу для великої кількості вторинних користувачів на основі конкуруючого набору. Виявлення спектральних «дір» є основою механізму DSA (Dynamic spectral access, DSA). Крім того, помилково знайдені канали впливають на продуктивність передачі вторинних користувачів та призводять до виникнення помилок в роботі первинних користувачів. Спектральний аналіз повинен виконуватися перед передачею даних для виявлення доступності каналу. Більшість методів застосовуються вторинними користувачами для виявлення активності первинних користувачів. Метод детектування енергетичної складової простий в реалізації і показує реальну картину зайняття каналів. Тому такий метод є більш точним, навіть якщо вторинний користувач практично не має інформації про первинного користувача і взятий за основу в розробці методу як алгоритм зондування спектру. Тобто, основною метою вимірювання спектра є визначення зайнятості каналу в ліцензованих смугах частот. При помилковому виявленні можливе виникнення двох

типів помилок: хибна помилка і, власне, помилкове виявлення. Хибна помилка виникає, коли канал вільний, а вторинний користувач вважає, що канал зайнятий. При помилковому виявленні вторинний користувач ідентифікує канал як вільний, який фактично зайнятий. Звідси випливає, що хибна помилка вказує на невикористану можливість доступу до спектру, в той час як помилкове виявлення вносить потенційні завади в каналі з первинним користувачем. Через ефекти багатопроменевого завмирання, всередині високих будівель з високими втратами і локальними перешкодами та завадами, ймовірності хибної помилки і помилкового виявлення збільшуються при не суміщених методах виявлення, що призводить до помилок при прийомі-передачі між первинними та вторинними користувачами в мережах когнітивного радіо. При надходженні даних на приймач вторинного користувача, він здійснює порівняння результатів поточного стану каналу з інформацією CSI (Channel state information, CSI), визначає потужність первинного користувача на підставі відстані і посилення антени в тому випадку, якщо первинний користувач повністю не займає цей канал. Для режиму перекриття немає обмеження для потужності передачі вторинного користувача. Для зміни поточного стану каналу в режим сполучення, через виникнення завад, викликаних впливом роботи вторинного користувача на канал первинного користувача, необхідно зменшити потужність передачі, змінити тип модуляції і визначити тип кодування, для забезпечення відповідного SNR (signal-to-noise ratio, SNR). У такій гібридній моделі передачі даних вторинний користувач може визначити, чи здійснювати йому передачу даних або «збір» енергії в залежності від буфера даних або стану джерела безперебійного живлення. Грунтуючись на результатах вимірювання спектра і порогових значеннях режиму суміщення або перекриття, кожен вторинний користувач може як отримувати доступ до каналу з комп'ютера, так і накопичувати енергію з каналів, зайнятих первинним користувачем. Нейронна мережа, використовуючи накопичену інформацію про стани каналу, топології виявлених каналів, рівня випромінювання, дальності, приймає рішення про перехід на новий канал для передачі даних на зайнятих частотах для «збору» енергії або передачі даних в наступних фазах CS (channel sensing, CS). На підставі розробленого методу гібридної моделі передачі даних

кожен вторинний користувач може або передавати дані у вільному каналі, або здійснювати «збір» енергії з зайнятого каналу. Для мережі когнітивного радіо з великою кількістю первинних та вторинних користувачів однією з ключових проблем, пов'язаних з доступом до багатоканальних систем, є проблема конкуренції між вторинними користувачами. Для вирішення проблеми конкуренції каналів серед вторинних користувачів, у розділі 4 було розроблено гібридну модель передачі для одного вторинного користувача. Кожен вторинний користувач може здійснювати передачу даних в незайнятому каналі або здійснювати «збір» енергії з каналу, в якому відбувається передача даних з урахуванням конкуруючого набору і стану ємності джерела безперебійного живлення.

У додатках представлено результати моделювання і програмна реалізація методів навчання інтелектуальних телекомунікаційних мереж, які було реалізовано в системі математичного моделювання MATLAB та за допомогою інтерпретованої об'єктно-орієнтованої мови програмування високого рівня зі строгою типізацією PYTHON.

Ключові слова: вторинний користувач, збереження енергії, когнітивне радіо, нейронна мережа, первинний користувач, передача даних, радіо хвилі, радіочастотний спектр.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Фоменко О.К. Метод навчання когнітивних радіомереж на основі кіл Маркова. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 133. С. 147-154.

2. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Олефіренко Т.М. Дослідження імовірносного розподілу службових сигналів в когнітивному радіо. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. Харків: УкрДАЗТ. 2015. Вип. 6. С. 51-54.

3. Obikhod Y.Y., Lysechko V., Sverhunova Y., Zhuchenko O., Progonniy O., Kachurovskiy G., Tretijk V., Malyuga V., Voinov V. Improvement of the cognitive radio system area management method with using neural networks. *Eastern-European JOURNAL of enterprise technologies*. 2017. Vol. 4/9 (88). P. 22-29.

4. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Олефіренко Т.М. Розробка методу вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів з використанням технології “ENERGY HARVESTING” під керуванням нейронної мережі. *Збірник наукових праць*. Полтава: УкрДУЗТ. 2018. Вип. 3(49). С. 165-174.

5. Obikhod, Y.Y. Mobile user's multiple detection method on the basis of the particle swarm optimization in the cognitive radio network. *Quarterly scientific and technical journal*. Kharkiv: National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”. 2018. Vol. 2(2). P. 127-132.

6. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Ковтун І.В., Шувалова Ю.С., Сколота С.В. Методи віртуалізації і масштабування в мережах безпроводового доступу. *Журнал «Системи управління, навігації та зв'язку»*. 2019. Вип 3(55). Полтава. С.171-175. ISSN 2073-7394.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Олефіренко Т.М. Дослідження імовірнісного розподілу службових сигналів в когнітивному радіо. *Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку»*. 2015. Харків. С. 64.

8. Обіход Я.Я., В.П. Лисечко. Вдосконалення методу керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронної мережі. Матеріали шостої міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління». 2016. Харків. С. 63.

9. Обіход Я.Я., В.П. Лисечко. Методи навчання інтелектуальних телекомунікаційних систем. Матеріали стендових доповідей та виступів учасників

29-ої міжнародної науково-практичної конференції *«Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»*. 2016. Черноморськ: УкрДУЗТ. Черноморськ, С. 38.

10. Обіход Я.Я., В.П. Лисечко. Метод вибору каналів у когнітивному радіо під керуванням нейронної мережі. Збірник наукових праць УкрДУЗТ *LXXX Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. 2018. Вип.177. Харків: УкрДУЗТ. С. 39.

11. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Сколота О.В. Метод множинного виявлення мобільних користувачів в когнітивній радіомережі. Тези доповідей *шостої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації»*. Черкаси: ЧДТУ, ВА ЗС АР, УТіГН, НТУ «ХП». 2018. С. 32.

12. Обіход Я.Я., В.П. Лисечко. Розробка методу вибору каналів когнітивного радіоприймача при множинному доступу первинних та вторинних користувачів з використанням технології «Energy Harvesting» під керуванням нейронної мережі. Збірник тез доповідей науково-практичної конференції *«Службово-бойова діяльність Національної гвардії України: сучасний стан, проблеми та перспективи»*. Харків: НАНГУ. 2018. С. 36.

ABSTRACT

Obikhod, Y.Y. Methods of control intellectual telecommunication networks. – Qualifying scientific paper on the rights of the manuscript.

A thesis submitted in fulfilment of the candidate of technical sciences degree on specialty 05.12.02 «Telecommunication systems and networks». - Ukrainian State University of Railway Transport of Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The introduction substantiates the relevance of the topic of work, the relationship work with scientific programs, formulated the aim and research tasks defined the object and subject of research. The list of results of the dissertation research, which constitute scientific novelty, indicates the practical significance of the obtained results, the list of scientific articles and conferences, which tested the results, as well as the structure and scope of work.

In the first chapter, it was conducted the research of the level of access control to the environment, teaching methods and management of cognitive radio systems. Coexistence is critically important for the IEEE 802.22 radio interface, which is needed to include the existing detection and protection mechanisms, as well as coexistence. The CBP protocol is used to exchange beacons of coexistence to achieve effective self-interfacing among cells overlapping with IEEE 802.22. The combination of active protection and self-alignment mechanisms forms the level of MAC, which is very flexible and adaptable to the environment and can respond to sudden changes. Before the Customer Premises Equipment can enter the network, it must be served by the base station, and its capabilities must be agreed with the BS. This procedure can include many tasks (for example, geolocation and channel recognition) and the establishment of connections between CPE and BS. All this procedure is referred to as initialization and network association. Even more important is that during this process, the BS must minimize the transfer of the CPE so as not to cause interference with the working structures. In other words, the initialization and networking process of the association means that the systemic protection occupying the position should be maximized.

Networks, based on fuzzy neural networks, have got their name due to the fact that for the approximation of the dependence of the output signal on the input vector $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$, expressions borrowed from fuzzy systems (in particular, from the systems of Mamdani-Zadi and Takagi-Sugen-Kang). All nodes of a network (the so-called MANET network - Mobile Ad-Hoc Networks) exchange information directly between them or apply relayed packets transmitted. Features of such a system are multidimensionality, multifunctionality, hierarchy, strong dependence of the nature of functioning on the parameters of cognitive radio and external influences, functioning of the network with the possibility of its self-organization, the adoption of solutions in real or close to real time, minimal download of network information, optimization of characteristics network and maximum automation of network management processes.

In the second chapter of the thesis, the method for controlling the cognitive radio environment was further developed the implementation of cognitive functions in its architecture was implemented. The WRAN environment management architecture with the use of cognitive functions is proposed, as well as a block diagram of the WRAN environment control algorithm implemented under the control of the neural network. Many different WRANs are located in a particular geographic area. The neural network is located in each BS and interacts with other WRANs, according to the IEEE 802.22 standard. The network environment may consist of other WRANs that it can interact with. These interactions may include sharing data and reconciling resource allocation. A separate network can serve as the environment coordinator and interact with multiple WRANs in order to provide the claimed characteristics of cognitive radio. Using the internal organization of the network, the provider can arrange the billing system inside the WRAN or organize the roaming service, if it concerns another WRAN. Functions associated with user authentication, billing, security, privacy, and mobility management can also be considered as parameters of the neural network. The use of an additional neural network allows you to predict the load and the mutual influence of parameters on each other. Thus, you can predict bandwidth, like AP (Access Point), and the entire network, load at different times, etc. Based on the accumulated data, the neural network should provide a balanced distribution of resources on a WRAN scale. This network will strive to maintain the maximum number of subscribers while minimizing the cases

of denial of service. The neural network in each WRAN can collect statistics about the state of the environment for analysis and evaluation of parameters in order to optimize system performance that can be based on prediction using a neural network or other methods. Information can be expanded by additional definition components to provide additional data that is directly related to security, unauthorized access, and the impact of other WRANs. The neural network uses measurement results to generate local control and regulates the performance of the entire WRAN system. This system has such functional blocks as: reception and transmission unit; geolocation, spectrum monitoring and radiation measurements; data bus; block of storage and processing of official information; control unit block, training subsystem, decision subsystem. The results of the probabilistic neural network (PNN) are described in more detail in the second section.

In the third chapter a generalized PSO-NN algorithm is developed. Also, the method of multiple detection by using the method of particle swarm and convolutional neural network, as well as its implementation, has been improved. The developed generalized PSO-NN algorithm differs from the existing ones by the fact that it is more correctly adjusted to the real conditions inherent in the architecture of cognitive systems. This algorithm uses the optimization of the particle swarm under the control of the convolutional neural network. This ensures rigorous access to spectrum analysis based on the energy component of mobile users. Due to the use of microparticle architecture and convolutional neuron layers, the function of detection efficiency and global particle arrangement is determined more precisely. Subsequent implementation of the multiplication algorithm differs from the existing ones by the fact that after combining the matrices of users of the detected channels, only one user is assigned to a particular channel. Also, such implementation provides a more realistic search space and the speed of finding users with the found channels. The PSO-NN modeling, as the multi-discovery efficiency algorithm for 50 mobile users, has several convolutional layers that are generalized with each other. Such an architecture can be a confirmation that the practical choice of the neural network to a greater extent satisfies the objectives.

The fourth chapter is devoted to the development of a combined spectrum use method to reduce the likelihood of errors in detecting free channels and to reduce the

number of errors in the transmission of information by secondary users, as well as to implement a channel selection procedure for a large number of secondary users based on a competing set. Detection of spectral "holes" is the basis of the dynamic spectral access (DSA) mechanism. In addition, erroneously found channels affect the performance of the transmission of secondary users and lead to errors in the work of primary users. Spectral analysis should be performed before the data is transferred to detect channel availability. Most methods are used by secondary users to detect the activity of primary users. The method of detecting the energy component is simple to implement and shows the real picture of the occupation of the channels. Therefore, this method is more precise, even if the secondary user has virtually no information about the primary user and is taken as the basis for developing the method as a spectral sensing algorithm. That is, the main purpose of measuring the spectrum is to determine the employment of the channel in the licensed band of frequencies. When erroneously detecting, two types of errors may occur: a false error and, in fact, a false detection. A false error occurs when the channel is free, and the secondary user believes that the channel is busy. In the case of erroneous detection, the secondary user identifies the channel as a free, which is actually busy. It follows that a false error indicates an unused possibility of access to the spectrum, while a false detection brings potential interference to the channel with the primary user. Due to the effects of multi-beam fading, inside high-rise buildings with high losses and local obstacles and obstacles, the probability of false mistake and false detection increase with non-combined detection methods, resulting in errors in reception-transmission between primary and secondary users in cognitive radio networks. When the data is received by the secondary user receiver, it compares the results of the current state of the channel with the CSI (Channel state information, CSI) information, which determines the power of the primary user based on the distance and amplification of the antenna in the event that the primary user does not completely occupy this channel. For the overlay mode there is no limit to the power of the secondary user's transmission. In order to change the current state of the channel to the interconnection mode, due to the occurrence of interference caused by the influence of the secondary user's operation on the channel of the primary user, it is necessary to reduce the transmission power, change the type of modulation,

and determine the type of encoding, to provide the appropriate signal-to-noise ratio. In this hybrid data transmission model, the secondary user can determine whether to transmit data or "collect" energy depending on the data buffer or the state of the uninterruptible power supply. Based on the measurement results of the spectrum and the thresholds of the combination or overlap mode, each secondary user can both access the channel from the PC and accumulate energy from the channels occupied by the primary user. The neural network uses the accumulated information about the channel states, the topology of the detected channels, the level of radiation, the range, decides to switch to a new channel for data transmission at busy frequencies for the "collection" of energy or data transfer in the following phases CS (channel sensing, CS). Based on the developed method of the hybrid data transmission model, each secondary user can either transmit data to a free channel, or "collect" energy from the occupied channel. For a cognitive radio network with a large number of primary and secondary users, one of the key issues associated with access to multichannel systems is the problem of competition between secondary users. In order to solve the problem of channel competition among secondary users, chapter 4 developed a hybrid transmission model for one secondary user. Each secondary user can transmit data to an unoccupied channel or to "collect" energy from a channel in which the data transfer takes place taking into account the competing set and the state of the power source of the uninterrupted power supply.

The annexes present the results of simulation and software implementation of the methods of teaching intelligent telecommunication networks that were implemented in MATLAB mathematical modeling and using the interpreted object-oriented high-level programming language with the strict typing of PYTHON.

Keywords: secondary user, energy conservation, cognitive radio, neural network, primary user, data transmission, radio waves, radio frequency spectrum.

The list of author`s publications

Journals where basic scientific results of the thesis has been published

1. Obikhod Y.Y., Lysechko V.P., Phomenko O.K. A method of teaching cognitive radio networks based on Markov circles. *Zbirnik naukovih prats Ukrayinskoyi derzhavnoyi akademiyi zaliznichnogo transportu*. 2012. №133. P. 147-154.
2. Obikhod Y.Y., Lysechko V.P., Olefirenko T.M. Investigation of probabilistic distribution of service signals in cognitive radio. *Zbirnik naukovih prats Ukrayinskoyi derzhavnoyi akademiyi zaliznichnogo transportu*. 2015. № 6. P. 51-54.
3. Obikhod Y., Lysechko V., Sverhunova Y., Zhuchenko O., Progonniy O., Kachurovskiy G., Tretijk V., Malyuga V., Voinov V. Improvement of the cognitive radio system area management method with using neural networks. *Eastern-European JOURNAL of enterprise technologies*. 2017. № 4/9 (88). P. 22-29. [SCOPUS]
4. Obikhod Y.Y., Lysechko V.P., Olefirenko T.M. Development of a cognitive radio channel selection method for multiple access of primary and secondary users using "ENERGY HARVESTING" technology based on neural network. *Zbirnik naukovih prats*. 2018. № 3(49). P. 165-174.
5. Obikhod Y.Y. Mobile user's multiple detection method on the basis of the particle swarm optimization in the cognitive radio network. *Quarterly scientific and technical journal*. 2018. № 2(2). P. 127-132.
6. Obikhod Y.Y., Lysechko V.P., Kovtun I.V., Shuvalova Y.A., Skolota S.V. Methods of virtualization and scaling in wireless access networks. *Control, Navigation and Communication journal*. 2019. № 3(55). P.171-175. ISSN 2073-7394.

Proceedings that certify an approvement of thesis materials

7. Obikhod Y.Y., Lysechko V.P., Olefirenko T.M. Investigation of probabilistic distribution of service signals in cognitive radio. *Zbirny`k tez dopovidej naukovo-prakty`chnoyi konferenciyi «Zastosuvannya informacijny`x texnologij u pidgotovci ta diyal`nosti sy`l oxorony` pravoporyadku»*. 2015. P. 64.
8. Obikhod Y.Y., Lysechko V.P. Improvement of the cognitive radio system environment management method using neural network. *Materialy` shostoyi mizhnarodnoyi naukovo-texnichnoyi konferenciyi «Suchasni napryamy` rozvy`tku informacijno-komunikacijny`x texnologij ta zasobiv upravlinnya»*. 2016. P.63.

9. Obikhod Y.Y., Lysechko V.P. Teaching Methods for Intelligent Telecommunication Systems. *Materiali stendovih dopovidey ta vystupiv uchasnikiv 29-oyi mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi «Informatsiyno-keruyuchi sistemi na zaliznichnomu transporti»*. 2016. P.38.

10. Obikhod Y.Y., Lysechko V.P. A method for selecting channels in a cognitive radio running a neural network. *Zbirnik naukovih prats ukrduzt LXXX mizhnarodnoyi naukovo-tehnichnoyi konferentsiyi «Rozvitok naukovoyi ta innovatsiynoyi diyalnosti na transporti»*. 2018. № 177. P. 39.

11. Obikhod Y.Y., Lysechko V.P., Skolota O.V. A method of multiple detection of mobile users in a cognitive radio network. *Tezy` dopovidej shostoyi mizhnarodnoyi naukovo-texnichnoyi konferenciyi «Problemy` informaty`zacyi»*. 2018. P. 32.

12. Obikhod Y.Y., Lysechko V.P. Development of a cognitive radio channel selection method for multiple access of primary and secondary users using Energy Harvesting technology based on neural network. *Zbirny`k tez dopovidej naukovo-prakty`chnoyi konferenciyi «Sluzhbovo-bojova diyal`nist` Nacional`noyi gvardiyi Ukrainy`: suchasny`j stan, problemy` ta perspekty`vy`»*. 2018. P. 36.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	20
ВСТУП.....	22
1 ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ КЕРУВАННЯ ДОСТУПОМ ДО СЕРЕДОВИЩА В КОГНІТИВНИХ РАДІОСИСТЕМАХ.....	29
1.1. Дослідження рівня співіснування когнітивних радіомереж.....	30
1.2. Дослідження рівня ініціалізації та мережових з'єднань.....	34
1.3. Дослідження методів керування системами когнітивного радіо.....	36
1.3.1. Цикл Бойда.....	36
1.3.2. Метод керування системами на основі нечітких нейронних мереж .	38
1.3.3. Метод керування системами на основі мереж MANET	40
1.3.4. Метод керування системами на основі нейронних мереж	42
1.4. Висновки за розділом 1	47
2 МЕТОД КЕРУВАННЯ СЕРЕДОВИЩЕМ КОГНІТИВНОЇ РАДІОСИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	48
2.1. Модель керування середовищем WRAN когнітивного радіо	48
2.1.1. Архітектура керування середовищем WRAN з використанням нейронної мережі	52
2.2. Система керування когнітивної радіомережі.....	55
2.2.1. Керування еталонною моделлю середовища WRAN	56
2.2.2. Механізм безпеки IEEE 802.22	59
2.3. Підсистема керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронної мережі	61
2.4. Метод керування когнітивних радіомереж на основі кіл Маркова	64
2.5. Система прийняття рішення	73
2.6. Результати досліджень методу керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронної мережі.....	75
2.7. Обговорення результатів досліджень методу керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронної мережі	78
2.8. Висновки за розділом 2	80

3	МЕТОД	МНОЖИННОГО	ВИЯВЛЕННЯ	МОБІЛЬНИХ	КОРИСТУВАЧІВ	НА	ОСНОВІ	ОПТИМІЗАЦІЇ	РОЮ	ЧАСТИНОК	В	КОГНІТИВНІЙ	РАДІОМЕРЕЖІ	82							
3.1.	Архітектура	множинного	виявлення	мобільних	користувачів	на	основі	оптимізації	рою	частинок	83										
3.1.1.	Механізми	контролю	керування	доступом	мобільних	користувачів	до	середовища	.....	87											
3.1.2.	Методи	віртуалізації	і	масштабування	в	мережах	безпроводового	доступу	.....	90											
3.1.3	Якість	обслуговування	керування	доступом	мобільних	користувачів	до	середовища	.....	99											
3.2.	Узагальнений	алгоритм	множинного	виявлення	мобільних	користувачів	на	основі	оптимізації	рою	частинок	к	використанням	згорткової	нейронної	мережі	103				
3.3.	Подальша	реалізація	алгоритму	множинного	виявлення	мобільних	користувачів	на	основі	оптимізації	рою	частинок	105								
3.4.	Моделювання	PSO-NN	, як	алгоритму	ефективності	множинного	виявлення	для	50	мобільних	користувачів	108									
3.5.	Висновки	за	розділом	3	.....	109															
4	МЕТОД	ВИБОРУ	КАНАЛІВ	КОГНІТИВНОГО	РАДІО	ПРИ	МНОЖИННОМУ	ДОСТУПІ	ПЕРВИННИХ	ТА	ВТОРИННИХ	КОРИСТУВАЧІВ	З	ВИКОРИСТАННЯМ	ТЕХНОЛОГІЇ	«ENERGY HARVESTING»	ПІД	КЕРУВАННЯМ	НЕЙРОННОЇ	МЕРЕЖІ	110
4.1.	Множинний	доступ	первинних	та	вторинних	користувачів	до	мережі	когнітивного	радіо	з	використанням	технології	«ENERGY HARVESTING»	110						
4.2.	Сумісний	аналіз	спектру	.....	112																
4.3.	Критерій	вибору	каналу	.....	114																
4.3.1.	Вибір	існуючого	режиму	передачі	вторинних	користувачів	.....	117													
4.3.2.	Вибір	режиму	передачі	вторинних	користувачів	з	використанням	використанням	технології	«ENERGY HARVESTING»	120										
4.4.	Аналіз	ефективності	критерію	вибору	каналу	.....	124														

4.5. <u>Висновки за розділом 4</u>	130
<u>ВИСНОВКИ</u>	132
<u>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</u>	135
ДОДАТОК А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	146
ДОДАТОК Б. Акти про використання результатів дисертаційної роботи	149
ДОДАТОК В. Програмний код для покращення методу керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронної мережі	152
ДОДАТОК Г. Програмний код для розробки множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі.....	154
ДОДАТОК Д. Програмний код для реалізації методу вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів з використанням технології «ENERGY HARVESTING» під керуванням нейронної мережі.....	174

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

AWGN – Additive white Gaussian noise

BS – Base station

BSS – Base station system

CBP – Coexistence Beacon protocol

CPE – Customer Premises Equipment

CPS – Cinema Production Service

CS – Channel sensing

CSI – Channel state information

DSA – Dynamic spectral access

DT – Data Transmission

EH – “Energy Harvesting”

FC – Fusion center

MAC – Media Access Control

MANET – Mobile Ad-Hoc Networks

MCSC – Mobile Crowd Sensing and Computing

NP-hard – Алгоритм класу складності

OODA – “Observe, Orient, Decide, Act”

PNN – Probabilistic Neural Network

PSO-NN – Particle Swarm Optimization

QoS – Quality of Service

RTS – Request To Send

SCW – заголовок управління суперкадра

SM – Spectrum Manager

SNR – Signal-to-Noise-Ratio

TSK – Мережі Такаґи-Сугено-Канґа

WRAN – Wireless Regional Area Network

РБФ – Радіальна базисна функція

ШНМ – Штучні нейронні мережі

ВСТУП

Актуальність роботи. Однією з основних проблем, що виникають при функціонуванні інтелектуальних телекомунікаційних мереж є недостатньо гнучке та дієве керування в системах прийняття рішень когнітивного радіо. Відсутність механізмів, реалізації динамічної зміни середовища, низька відмовостійкість призводять до зменшення пропускної спроможності системи, збільшення вартості розгортання та обслуговування мережі.

Сучасні тенденції розвитку інтелектуальних телекомунікаційних мереж спрямованні на впровадження механізмів моніторингу робочого спектру частот, співіснування, реєстрації та відстеження користувачів. Впровадження накопичених знань та прийняття рішень є одними з найважливіших напрямів розвитку інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

В останні роки розгортається безліч однотипних WRANs (Wireless Regional Area Networks – безпроводові локальні мережі) в межах невеликої територіальної близькості. Різні WRANs в певній галузі можуть бути розгорнуті різними провайдерами. У такому динамічно зростаючому середовищі з'являється велика кількість проблем, пов'язаних з безпекою, співіснуванням, топологією мережі та ін. Всі провайдери повинні узгоджувати свої дії між собою для того, щоб користувачі мали змогу спільно використовувати одні і ті ж ресурси в різних WRANs. У цій галузі радіозв'язку працюють такі вчені: Young Chang, Hu Wendong, Gubbi, S. Marusic, M., Cordeiro C., Challapali L., Birru D. Однак суттєвим є те, що в роботах перелічених авторів, не розглядається архітектура когнітивної мережі. Описано деякі елементи архітектури і їх взаємодія, такі як безпека, сценарій ініціалізації частот, валідація, але недостатньо розглянуто архітектуру WRAN. Також мало уваги приділено методам керування та аналізу частот. В той же час, керування середовищем в когнітивній радіосистемі вимагає детального розгляду функцій керування спектром та радіозв'язку з програмованими параметрами. Таке керування реалізується на фізичному рівні (PHY - Physical layer) стандарту IEEE 802.22. WRANs є важливою складовою когнітивних радіо-платформ. В цьому напрямку стандарту працюють такі вчені: Vaschus R., Voguska

H., Mahmoud Q., ZouY., WangX., ShenW. Але суттєвим недоліком є те, що питання про двох або більше вторинних користувачів, які конкурують за один канал практично не вивчалось. Більш того, ймовірність виникнення помилок між вторинним та первинним користувачами збільшується в режимі множинних вторинних користувачів, також залишилось без уваги.

Технологія когнітивного радіо дозволяє неліцензованим користувачам використовувати вільний спектр, в той момент, коли він не використовується ліцензованими користувачами. Тому спектральний аналіз повинен проводитися до того, як неліцензовані користувачі отримають доступ до частотного ресурсу. Даній проблематиці присвячені праці: Alhammad A., Tragos E. Z., Zeadally S., Arslan H. В цих працях використовується спрощена цільова функція, і відсутнє бюджетне обмеження (BD – budget constraint), а також всі ці дослідження не враховують енергетичну складову мобільних користувачів.

Таким чином, актуальність роботи визначається необхідністю вирішення завдань, що виникають при керуванні середовищем когнітивної радіосистеми з метою підвищення ефективності їх функціонування та підвищення відмовостійкості, збільшення пропускної спроможності системи, зменшення вартості розгортання та обслуговування мережі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дослідження в дисертаційній роботі безпосередньо пов'язані з наступними положеннями:

– Концепція розвитку телекомунікацій в Україні, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 червня 2006 р., N 316-р (із змінами, внесеними згідно з Розпорядженням КМ N 1612-р (1612-2008-р) від 27.12.2008).

– Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні.

– Концепція Національної програми інформатизації, схвалена Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4 лютого 1998 р., No 75/98-ВР (із змінами, внесеними згідно із Законами N 3421-IV (3421-15) від 09.02.2006, N 3610-VI (3610-17) від 07.07.2011, 406-VII (406-18) від 04.07.2013).

– Рекомендаціями щодо «Реформ галузі інформаційно-комунікаційних технологій та розвитку інформаційного простору України».

– Державна науково-технічна програма «Створення перспективних телекомунікаційних систем та технологій».

– Постанова про затвердження Правил надання та отримання телекомунікаційних сервісів від 11 квітня 2012 р. No 295 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ No 251 від 29.04.2015).

– Стратегія сталого розвитку "Україна–2020", схвалена Указом Президента України від 12 січня 2015 року No 5/2015.226. Тема дисертаційної роботи пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, наведеними в «Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на 2011-2015 роки», затвердженому Постановою Кабінету міністрів України No 942 від 7 вересня 2011.

Дисертаційні дослідження виконувались у відповідності до наукового напрямку кафедри транспортного зв'язку Українського державного університету залізничного транспорту.

Мета роботи і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування інтелектуальних телекомунікаційних мереж за рахунок розробки та впровадження методів керування в системах прийняття рішень мережах когнітивного радіо.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити загальну науково-прикладну задачу, яка полягає в розробці методів керування та прийняття рішень на основі нейронних мереж. Щоб вирішити загальну науково-прикладну задачу дисертації необхідно вирішити такі частинні задачі досліджень:

1. Виконати дослідження рівня керування доступом до середовища, методів керування системами когнітивного радіо.

2. Удосконалити метод керування середовищем когнітивного радіо з використанням нейронної мережі.

3. Розробити метод множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі.

4. Розробити метод вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів.

5. Розробити алгоритми для програмної реалізації методів керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

Об'єктом дослідження є процес керування систем керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

Предмет дослідження – методи керування систем керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж, які забезпечують підвищення ефективності функціонування інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

Методи дослідження. При вирішенні часткових наукових задач дисертації використовувались методи статистичної теорії зв'язку, теорії ймовірностей і випадкових процесів, числові методи обробки емпіричних даних – при розробці методу керування середовищем когнітивного радіо, методу множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі та методу вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів.

Для підтвердження достовірності отриманих теоретичних результатів застосовувались методи імітаційного моделювання. Аналіз результатів експериментальних досліджень проводився з використанням методів математичної статистики, математичні моделі побудовані за принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж, математичні моделі керування, методи теорії алгоритмів NP-hard.

Наукова новизна положень, розроблених особисто здобувачем обумовлена новим вирішенням важливої науково-прикладної проблеми, що полягає у підвищенні ефективності функціонування інтелектуальних телекомунікаційних мереж та збільшенні енергетичної ефективності, а також дозволяє підвищити ефективність виявлення мобільних користувачів інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

1. **Удосконалено** метод керування середовищем когнітивного радіо за рахунок розширення мережі, який відрізняється від існуючих введенням когнітивних функцій до системи керування середовищем WRAN, реалізованого під керуванням нейронної мережі, що дозволяє підвищити ефективність функціонування інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

2. **Вперше** розроблено метод множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі, який дозволяє, на відміну від існуючих, підвищити ефективність виявлення мобільних користувачів інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

3. **Вперше** розроблено метод вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів, який дозволяє, на відміну від існуючих, впровадити технології «ENERGY HARVESTING» під керуванням нейронної мережі. Це дозволяє зменшити ймовірність помилок при передачі інформації вторинними користувачами та реалізувати процедуру вибору каналу для великої кількості вторинних користувачів на основі конкуруючого набору.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю розроблених моделей та методів в існуючих технологіях забезпечення вимог QoS в телекомунікаційних системах.

Наукове значення роботи. Отримані наукові результати в сукупності є розвитком стандарту IEEE802.22.2 та спрямовані на підвищення виявлення мобільних користувачів у телекомунікаційних системах та мережах, а також збільшення швидкості передачі даних та адаптацію до змін навколишнього середовища.

Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає у створенні програмних засобів, які реалізують методи:

1) керування середовищем когнітивного радіо з використанням нейронної мережі, що дозволив забезпечити адаптацію до змін навколишнього середовища і збільшення швидкості передачі даних в 1,67 рази;

2) множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі, що покращив виявлення мобільних користувачів інтелектуальних телекомунікаційних мереж від 10 до 35 % в залежності від кількості локацій.

3) вибору каналу когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів, що дозволяє зменшити ймовірність помилок при

виявленні вільних каналів і зменшити помилки при передачі вторинних користувачів;

Отриманні в роботі результати знайшли практичне впровадження та використання:

- У ТОВ «АРТІКС ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ» при розробці рекомендацій з організації та впровадження щодо системи радіозв'язку на основі стандарту IEEE 802.22.2.

- В Національній академії Національної Гвардії України при здійсненні професійної, науково-технічної та дослідницько-інноваційної діяльності щодо впровадження удосконаленого методу керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронних мереж.

Достовірність отриманих результатів підтверджується відсутністю протиріч з основними положеннями теорії інформації, теорії оптимізації, теорії математичного програмування, а також збіжністю отриманих результатів із даними експериментальних досліджень та результатами математичного моделювання.

Особистий внесок здобувача. Всі результати викладені в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно. У роботах, виконаних у співавторстві і опублікованих у наукових фахових виданнях України та виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, особистий внесок автора полягає у розробці методів керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж. У наступних статтях, які були опубліковані у співавторстві, здобувачу належить: у роботі [1] - досліджено метод керування когнітивних радіомереж на основі кіл Маркова; у [2] – проведено дослідження імовірнісного розподілу службових сигналів в когнітивному радіо; у [3] – запропоновано метод керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронної мережі; у [4] – розроблено метод вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів з використанням технології «ENERGY HARVESTING» під керуванням нейронної мережі, у роботі [5] – розроблено метод множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок

В когнітивній радіомережі. У роботі [6] - розроблено узагальнену хмарну архітектуру мережі оператора зв'язку на основі SDN/NFV.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційних досліджень, практичні висновки та рекомендації, одержані в процесі досліджень, були апробовані, оприлюднені та отримали позитивну оцінку у ході:

Науково-практичної конференції Національної академії Національної гвардії України (2015 року, м. Харків); VI міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів керування» (2016, м. Харків); XXIX Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (2016, м. Чорноморськ); LXXX Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (2018, м. Харків); VI міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації» (2018, м. Черкаси); Науково-практичної конференції Національної академії Національної гвардії України (2018 р., м. Харків).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані у 12 наукових працях, у тому числі у 6 наукових статтях (з них 1 одноосібна) у фахових виданнях України та виданнях України, що входять до наукометричних баз (з них 4 – у наукових журналах, 2 -у збірниках наукових праць, серед яких 1 стаття у журналі, що індексується наукометричною базою SCOPUS) та 6 тезах доповідей та матеріалах наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку та додатків. Повний обсяг дисертації складає 182 сторінки, у тому числі 112 сторінок основного тексту, 50 рисунків, 5 таблиць, список використаних джерел зі 105 найменувань на 10 сторінках, 5 додатків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. [Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. М., "Вильямс". 2006.](#) С. 227–233.
2. Neghabi A. A., Jafari Navimipour N., Hosseinzadeh M., Rezaee A. Load balancing mechanisms in the software defined networks: a systematic and comprehensive review of the literature. 2018. IEEE Access. Vol. 6(7). P. 345–340.
3. Benamrane F., Ben mamoun M., Benaini R. An east-west interface for distributed SDN control plane: implementation and evaluation. 2017. Computers & Electrical Engineering. Vol. 57. P. 240–250.
4. Павлов И. Ю., Колосков В. Л., Иванов Е. Б. Анализ централизованных и децентрализованных систем автоматизированного управления «Интеллектуальным домом». 2016. Новые Информационные технологии в автоматизированных системах. № 19. С. 338–340.
5. Wang G. Zhao Y., Huang J., Wang W. The controller placement problem in software defined networking: a survey. 2017. IEEE Network. Vol. 31(5). P. 38–40.
6. Arslan.H., Y.Arslan. Cognitive Radio, Software Defined Radio, and Adaptive Wireless Systems. 2007. Springer, 2007. P. 327. ISBN 978-1-4020-5541-6.
7. Kryszkiewicz P., Kliks A., Bogucka H. Small-scale spectrum aggregation and sharing. 2016. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 34(10). P. 239–241.
8. Stevenson C., Chouinard G., Zhongding Lei, Wendong Hu, Shellhammer S., Caldwell W. IEEE 802.22: The first cognitive radio wireless regional area network standard [Communications Magazine, IEEE](#). 2009. Vol 47. P. 130 – 138.
9. Bacchus R., Fertner A., Hood C., Roberson D. Long-term, Wide-Band Spectral Monitoring in Support of Dynamic Spectrum Access Networks. 2008. 3rd IEEE International Symposium on [New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks](#). P. 257–259.

10. Petcu A., Faltings B. A distributed, complete method for multiagent constraint optimization. 2004. Fifth International Workshop on Distributed Constraint Reasoning. P. 266–271.
11. Bogucka H., Kryszkiewicz P., Kliks A. Dynamic spectrum aggregation for future 5G communications. 2015. IEEE Communications Magazine. Vol. 53(5). P. 112–118.
12. Ranganathan R., Qiu R., Hu Z. Radio for Smart Grid: Theory, Algorithms, and Security. 2011. C. 14.
13. Pateromichelakis E., Samdanis K. A graph coloring based inter-slice resource management for 5G dynamic TDD RANs. 2018. In Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC 2018). P. 15–19.
14. Mahmoud Q. Cognitive Networks. 2007. Wiley, 2007. P. 27. ISBN 978-0-470-06196-1,
15. Romero Perez, Sallent O., Ferrus R., Agusti R. On the configuration of radio resource management in a sliced RAN. 2018. Proceedings of the NOMS. P. 28–30.
16. Li A., Han G., Wan L., Shu L. A Sensitive Secondary Users Selection Algorithm for Cognitive Radio Ad Hoc Networks. 2016. CH.: Sensors. P. 4–8.
17. Chang Young, Wendong Hu. IEEE 802.22 WRAN Standard PHY/MAC Proposal. 2006. Runcom STMicroelectronics. P. 24.
18. Jin J., Gubbi J., Marusic S., Palaniswami M. An information framework for creating a smart city through internet of things. 2014. IEEE Internet of Things Journal. Vol.1(2). P. 112–121.
19. Tengkvist P., Koudouridis G. P., Qvarfordt C., Dryjanski M., Cellier M. Multi-dimensional radio service maps for position-based self-organized networks. 2017. In Proceedings of the 22nd IEEE International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks, CAMAD. P. 8–10.
20. Mitola J III, Maguire Jr. G. Q. Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal. 1999. IEEE Pers. Commun.. Vol. 6(4). P. 14.
21. Zhu C., M. Leung V. C., Shu L., and Ngai E. C. H. Green internet of things for smart world. 2015. IEEE Access. Vol.3. P. 2151–2162.

22. Шибзухов З. М. Некоторые вопросы теоретической нейроинформатики. 2010. XIII Всероссийская научно-техническая конференция "Нейроинформатика-2011". Лекции по нейроинформатике. М., НИЯУ МИФИ. С. 44-72.
23. Zou Y., Wang X., Shen W., Physical-layer security with multiuser scheduling in cognitive radio networks. 2013. IEEE Transactions on Communications. Vol. 61(12). P. 416–426.
24. Ho-Van K. K. Influence of channel information imperfection on outage probability of cooperative cognitive networks with partial relay selection. 2017. Wireless Personal Communications. Vol. 94(4). P. 89–91.
25. Wu Y., Yang Q., Liu X., Kwak K. S. Delay-constrained optimal transmission with proactive spectrum handoff in cognitive radio networks. 2016. IEEE Transactions on Communications. Vol. 64(7). P. 247–249.
26. Wendong Hu, Mario Gerla, George A. Vlantis, Gregory J. Efficient, Flexible, and Scalable Inter-Network Spectrum Sharing and Communications in Cognitive IEEE 802.22 Networks. ISBN 798-1-1024-9567-5. STMicroelectronics. University of California, IEEE. P. 156.
27. Li W., Zhu C., Leung V. C. M., Yang L. T., Ma Y. Performance comparison of cognitive radio sensor networks for industrial IoT with different deployment patterns. 2015. IEEE Systems Journal. P. 15-24.
28. Alhammadi A., Roslee M., Alias M. Y. Analysis of spectrum handoff schemes in cognitive radio network using particle swarm optimization. 2016. In Proceedings of 3rd International Symposium on Telecommunication Technologies (ISTT). P. 55–58.
29. Apurva N., Gerald Chouinard. IEEE 802.22 Wireless Regional Area Networks. www.ieee802.org/22/technology/22-10-0073-03-0000-802-22-overview-and-core-technologies.pdf. P. 4.
30. Li W., Leung V., Zhu C., Ma Y. Scheduling and routing methods for cognitive radio sensor networks in regular topology. 2016. Wireless Communications and Mobile Computing. Vol. 16(1). P. 47–58.
31. Liang Y. C., Chen C., Li G. Y., and Mahonen P. Cognitive radio networking and communications: an overview. 2011. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 60(7). P. 3386–3407.

32. Tragos E. Z., Zeadally S., Fragkiadakis A. G., Siris V. A. Spectrum assignment in cognitive radio networks: a comprehensive survey. 2013. IEEE Communications Surveys & Tutorials. Vol. 15(3). P. 1108–1135.
33. [Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2006.](#) Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин // 2-е изд. М., "Вильямс". P. 125–131.
34. Zhai X., Zheng L., Tan C. W. Energy-infeasibility tradeoff in cognitive radio networks: price-driven spectrum access algorithms. 2014. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 32(3). P. 528–538.
35. Specht D. A General Regression Neural Network. 1991. IEEE Trans. on Neural Networks. Vol.2(6). P. 558-565.
36. Mitola III J., Maguire Jr G. Q. Cognitive radio: making software radios more personal. 1999. IEEE Personal Communications. Vol. 6(4). P. 14.
37. Arslan H. Cognitive Radio, Software Defined Radio and Adaptive Wireless Systems. 2007. Springer. P. 327.
38. Zhang L., Song T., Wu M., Bao X., Guo J., Hu J. Traffic-adaptive proactive spectrum handoff strategy for graded secondary users in cognitive radio networks. 2015. Chinese Journal of Electronics. Vol. 24(4). P. 425–428.
39. Yilmaz Y., Guo Z., and Wang X. Sequential joint spectrum sensing and channel estimation for dynamic spectrum access. 2014. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 32(11). P. 2000–2012.
40. Khambekar N., Spooner C. M., Chaudhary V. On improving serviceability with quantified dynamic spectrum access. 2014. Proceedings of the IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks. P. 553–564.
41. Jing T., Xing X., Cheng W., Huo Y., Znati T. Cooperative spectrum prediction in multi-PU multi-SU cognitive radio networks. 2014. International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks. Vol. 19. P. 64–67.
42. Chu T. M. C., Phan H., Zepernick H. J. Hybrid interweave-underlay spectrum access for cognitive cooperative radio networks. 2014. IEEE Transactions on Communications. Vol. 62(7). P. 2183–2197.

43. Miao L., Sun Z., Jie Z. The Parallel Algorithm Based on Genetic Algorithm for Improving the Performance of Cognitive Radio. 2018. *Wireless Communications and Mobile Computing*. Vol. P. 3-4.
44. Chakravarthy V., Li X., Zhou R., Wu Z., Temple M. Novel overlay/underlay cognitive radio waveforms using sd-smse framework to enhance spectrum efficiency-part II: analysis in fading channels. 2010. *IEEE Transactions on Communications*. Vol. 58(6). P. 1868–1876.
45. Karmokar A. K., Senthuran S., Anpalagan A. Physical layer-optimal and cross-layer channel access policies for hybrid overlay-underlay cognitive radio networks. 2014. *IET Communications*. Vol. 8(15). P. 2666–2675.
46. Srilatha M., Hemalatha R., Ramesh K. S. An improved technique to mitigate interference between adjacent bands in cognitive radio system. 2017. In *Proceedings of the 7th IEEE international advanced computing conference, (IACC '17)*. P. 156–159.
47. Zou J., Xiong H., Wang D., Chen C. W. Optimal power allocation for hybrid overlay/underlay spectrum sharing in multiband cognitive radio networks. 2013. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Vol. 62(4). P. 1827–1837.
48. Cho H., Hwang G. An optimized random channel access policy in cognitive radio networks under packet collision requirement for primary users. 2013. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. Vol. 12(12). P. 6382–6391.
49. Xie S., Wang Y. Construction of tree network with limited delivery latency in homogeneous wireless sensor networks. 2014. *Wireless Personal Communications*. Vol. 78(1). P. 231–246.
50. Shen J., Tan H., Wang J., Wang J., Lee S. A novel routing protocol providing good transmission reliability in underwater sensor networks. 2015. *Journal of Internet Technology*. Vol. 16(1). P. 171–178.
51. Sudevalayam S., Kulkarni P. Energy harvesting sensor nodes: survey and implications. 2011. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. Vol. 13(3). P. 443–461.
52. Pratibha K., Li H., The K. C. Energy-harvesting cognitive radio systems cooperating for spectrum sensing and utilization. 2015. In *Proceedings of the IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM '15)*. P. 6.

53. Hu S., Yao Y. D., Yang Z. Cognitive medium access control protocols for secondary users sharing a common channel with time division multiple access primary users. 2014. *Wireless Communications and Mobile Computing*. Vol. 14(2). P. 284–296.
54. Salameh H. A. B., El-Attar M. F. Cooperative OFDM-based virtual clustering scheme for distributed coordination in cognitive radio networks. 2015. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Vol. 64(8). P. 3624–3632.
55. Park S., Kim H., Hong D. Cognitive radio networks with energy harvesting. 2013. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. Vol. 12(3). P. 1386–1397.
56. Chien W. B., Yang C. K., Huang Y. H. Energy-saving cooperative spectrum sensing processor for cognitive radio system. 2011. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. Vol. 58(4). P. 711–723.
57. Smith P. J., Dmochowski P. A., Suraweera H. A., Shafi M. The effects of limited channel knowledge on cognitive radio system capacity. 2013. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Vol. 62(2). P. 927–933.
58. Herath S. P., Rajatheva N. Analysis of equal gain combining in energy detection for cognitive radio over Nakagami channels. 2008. In *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '08)*. P. 1–5.
59. Yucek T., Arslan H. A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications. 2009. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. Vol. 11(1). P. 116–130.
60. Cordeiro C., Challapali L., Birru D., Shankar S. IEEE 802.22: The First Worldwide Wireless Standard based on Cognitive Radios. 2005. *IEEE DySPAN*. P. 16.
61. Khoshkholgh M. G., Navaie K., Yanikomeroglu H. Access strategies for spectrum sharing in fading environment: overlay, underlay, and mixed. 2010. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. Vol. 9(12). P. 1780–1793.
62. Wang Y., Ren P., Gao F., Su Z. A hybrid underlay/overlay transmission mode for cognitive radio networks with statistical quality-of-service provisioning. 2014. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. Vol. 13(3). P. 1482–1498.
63. Mitola III J., Maguire Jr. G. Q. Cognitive radio: making software radios more personal. 1999. *IEEE Personal Communications*. Vol. 6(4). P. 13–18.

64. Guo B., Wang Z., Yu et al Z. Mobile crowd sensing and computing: the review of an emerging human-powered sensing paradigm. 2015. *ACM Computing Surveys*. Vol. 48(1). Article 7.
65. Saleem Y., Rehmani M. H. Primary radio user activity models for cognitive radio networks: a survey. 2014. *Journal of Network and Computer Applications*. Vol. 43. P. 1–16.
66. Arslan H. A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications. 2009. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. Vol. 11(1). P. 116–130.
67. Zeng F., Tian Z., Li C. Distributed compressive wideband spectrum sensing in cooperative multi-hop cognitive networks. 2010. In *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Communications, ICC 2010*. P. 52-56.
68. Feng J., Lu G., Wang H., Wang X. Supporting secure spectrum sensing data transmission against SSDH attack in cognitive radio ad hoc networks. 2016. *Journal of Network and Computer Applications*. Vol. 76. P. 140–149.
69. Zhang R., Zhang J., Zhang Y., Zhang C. Secure crowdsourcing-based cooperative spectrum sensing. 2013. In *Proceedings of the 32nd IEEE Conference on Computer Communications*. P. 2526–2534.
70. Lu Y., Wang D., Fattouche M. Cooperative spectrum-sensing algorithm in cognitive radio by simultaneous sensing and BER measurements . 2016. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*. Vol. 2016(1). Article 136.
71. Liu C.-H., Azarfar A., Frigon J.-F., Sansò B., Cabric D. Robust cooperative spectrum sensing scheduling optimization in multi-channel dynamic spectrum access networks. 2016. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. Vol. 15(8). P. 2094–2108.
72. Zhu J., Jiang D., Ba S., Zhang Y. A game-theoretic power control mechanism based on hidden Markov model in cognitive wireless sensor network with imperfect information. 2017. *Neurocomputing*. Vol. 22. P. 76–83.
73. Arora P., Xia N., Zheng R. A Gibbs sampler approach for optimal distributed monitoring of multi-channel wireless networks. 2011. In *Proceedings of the 54th Annual IEEE Global Telecommunications Conference: "Energizing Global Communications"*, GLOBECOM. P. 32-38.

74. Shin D.-H., Bagchi S., Wang C.-C. Distributed online channel assignment toward optimal monitoring in multi-channel wireless networks. 2012. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Communications, INFOCOM. P. 2626–2630.
75. Shin D.-H., Bagchi S. An optimization framework for monitoring multi-channel multi-radio wireless mesh networks. 2013. Vol. 11(3). P. 926–943.
76. Shin D.-H., He S., Zhang J. Joint sensing task and subband allocation for large-scale spectrum profiling. 2015. In Proceedings of the 34th IEEE Annual Conference on Computer Communications and Networks, IEEE INFOCOM. P. 433–441.
77. Eberhart R. C., Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory. 1995. In Proceedings of the 6th International Symposium on Micro Machine and Human Science (MHS '95). P. 39–43.
78. Liu H., Chen Z., Qian L. The three primary colors of mobile systems. 2016. IEEE Communications Magazine. P. 22–27.
79. Yang C., Shao H.-R. Wifi-based indoor positioning. 2015. IEEE Communications Magazine. Vol. 53(3). P. 90–105.
80. Li K., Yang C., Chen Z., Tao M. Optimization and analysis of probabilistic caching in N -tier heterogeneous networks. 2018. IEEE Transactions on Wireless Communications. Vol. 17(2). P. 182–185.
81. Wang Z., Chen Z., Xia B., Luo L., Zhou J. Cognitive relay networks with energy harvesting and information transfer: design, analysis, and optimization. 2016. IEEE Transactions on Wireless Communications. Vol. 15(4). P. 252–256.
82. Chung W., Park S., Lim S., Hong D. Spectrum sensing optimization for energy-harvesting cognitive radio systems. 2014. IEEE Transactions on Wireless Communications. Vol. 13(5). P. 105–107.
83. Shafie A. E., Sultan A. Optimal random access for a cognitive radio terminal. 2013. IEEE Communications Letters. Vol. 17(6). P. 90–95.
84. Yang X., Chen Z., Li et al. K. Communication-constrained mobile edge computing systems for wireless virtual reality: scheduling and tradeoff. 2018. IEEE Access. Vol. 6. P. 220–226.

85. Wang Z., Chen Z., Xia B., Luo H. Modeling and bandwidth allocation of cognitive relay networks. 2016. In Proceedings of the 2016 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC). P. 14–16.
86. Wang K., Chen Z., Liu H. Push-based wireless converged networks for massive multimedia content delivery. 2014. IEEE Transactions on Wireless Communications. Vol. 13(5). P. 325–330.
87. Hernández-Suárez C. A., Pedraza-Martínez L. F., Rodríguez de la Colina E. Fuzzy feedback algorithm for the spectral handoff in cognitive radio networks. 2016. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. No. 81. 2016. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. P. 22–27.
88. Bloem M., Alpcan T., Basar T. A Stackelberg game for power control and channel allocation in cognitive radio networks. 2007. Value Tools '07 proceedings of the 2nd International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools. P. 49–53.
89. Wyglinski A. M., Nekovee M., Hou Y. T. Cognitive Radio Communications and Networks: Principles and Practice. 2009. P. 43–45.
90. Khan M. S., Koo I. The Effect of Multiple Energy Detector on Evidence Theory Based Cooperative Spectrum Sensing for Cognitive Radio Networks. 2016. Journal of Information Processing Systems. Vol. 12(2). 2016. Journal of Information Processing Systems. P. 124–128,
91. Sharifi A. A., Musevi Niya M. J. Defense Against SSDF Attack in Cognitive Radio Networks: Attack-Aware Collaborative Spectrum Sensing Approach. 2016. IEEE Communications Letters. Vol. 20(1). 2016. IEEE Communications Letters. 2016. P. 83–87.
92. Tang J., Mistrá S., Xue G. Joint spectrum allocation and scheduling for fair spectrum sharing in cognitive radio wireless networks. 2008. Computer Networks. Vol.52(11). P. 148–158.
93. Ye F., Zhang X., Li Y. Collaborative spectrum sensing algorithm based on exponential entropy in cognitive radio networks. 2017. Symmetry. Vol. 9. 2017. Symmetry. P. 44-45.

94. Burbank J. L. Security in cognitive radio networks: the required evolution in approaches to wireless network security. 2008. 3rd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (Crown-Com). P. 1–7.
95. Peng T., Chen Y., Xiao J., Zheng Y., Yang J. Improved soft fusion-based cooperative spectrum sensing defense against SSDF attacks. 2016. In Proceedings of the 2016 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems. P. 7-9.
96. Shiang H., van der Schaar. Distributed resource management in multi-hop cognitive radio networks for delay sensitive transmission. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 58(2). IEEE Transactions on Vehicular Technology. P. 941–953.
97. Хайкин С. Нейронные сети. 2006. М.: Вильямс. 2006. М.: Вильямс. С. 371 – 378.
98. Rauniyar A., Shin S. Y. Cooperative adaptive threshold based energy and matched filter detector in cognitive radio networks. 2015. Journal of Communication and Computer. Vol. 12. P. 17.
99. Терехов В. А., Ефимов Д. В., Тюкин И. Ю. Нейросетевые системы управления. 1999. СПб.: Издательство. С. 115–123.
100. Du H., Fu S., Chu H. A credibility-based defense ssdf attacks scheme for the expulsion of malicious users in cognitive radio. 2015. International Journal of Hybrid Information Technology. Vol. 8. P. 31-38.
101. Rana A. R., Kim J., Kim B-S. Named Data Networking for Cognitive Radio Ad Hoc Networks. 2015. Mobile Information Systems. 2015. Mobile Information Systems. P. 3–7.
102. Горбань А. Н. Обучение нейронных сетей. 1990. М. изд. СССР-США СП «ParaGraph».С. 160.
103. Shiang H., van der Schaar. Distributed resource management in multi-hop cognitive radio networks for delay sensitive transmission. 2012. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol.58(2). P. 941–953.

104. Geete P., Motta M. Analysis of Different Spectrum Sensing Techniques in Cognitive Radio Network. 2015. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Vol. 2. P. 12-17.

105. Khalid M., Wang Y., Ra I., Sankar R. Two-relay-based cooperative MAC protocol for wireless ad hoc networks. 2011. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 60(7). P. 172–184.

Додаток А.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Фоменко О.К. Метод навчання когнітивних радіомереж на основі кіл Маркова. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 133. С. 147-154.
2. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Олефіренко Т.М. Дослідження імовірного розподілу службових сигналів в когнітивному радіо. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. Харків: УкрДАЗТ. 2015. Вип. 6. С. 51-54.
3. Obikhod Y.Y., Lysechko V., Sverhunova Y., Zhuchenko O., Progonniy O., Kachurovskiy G., Tretijk V., Malyuga V., Voinov V. Improvement of the cognitive radio system area management method with using neural networks. *Eastern-European JOURNAL of enterprise technologies*. 2017. Vol. 4/9 (88). P. 22-29.
4. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Олефіренко Т.М. Розробка методу вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів з використанням технології “ENERGY HARVESTING” під керуванням нейронної мережі. *Збірник наукових праць*. Полтава: УкрДУЗТ. 2018. Вип. 3(49). С. 165-174.
5. Obikhod, Y.Y. Mobile user’s multiple detection method on the basis of the particle swarm optimization in the cognitive radio network. *Quarterly scientific and technical journal*. Kharkiv: National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”. 2018. Vol. 2(2). P. 127-132.
6. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Ковтун І.В., Шувалова Ю.С., Сколота С.В. Методи віртуалізації і масштабування в мережах безпроводового доступу. *Журнал*

«Системи управління, навігації та зв'язку». 2019. Вип 3(55). Полтава. С.171-175.
ISSN 2073-7394.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Олефіренко Т.М. Дослідження імовірнісного розподілу службових сигналів в когнітивному радіо. *Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку»*. 2015. Харків. С. 64.

8. Обіход Я.Я., В.П. Лисечко. Вдосконалення методу керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронної мережі. Матеріали шостої міжнародної науково-технічної конференції *«Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління»*. 2016. Харків. С. 63.

9. Обіход Я.Я., В.П. Лисечко. Методи навчання інтелектуальних телекомунікаційних систем. Матеріали стендових доповідей та виступів учасників 29-ої міжнародної науково-практичної конференції *«Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»*. 2016. Черноморськ: УкрДУЗТ. Черноморськ, С. 38.

10. Обіход Я.Я., В.П. Лисечко. Метод вибору каналів у когнітивному радіо під керуванням нейронної мережі. Збірник наукових праць УкрДУЗТ *LXXX Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. 2018. Вип.177. Харків: УкрДУЗТ. С. 39.

11. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Сколота О.В. Метод множинного виявлення мобільних користувачів в когнітивній радіомережі. Тези доповідей *шостої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації»*. Черкаси: ЧДТУ, ВА ЗС АР, УТіГН, НТУ «ХП». 2018. С. 32.

12. Обіход Я.Я., В.П. Лисечко. Розробка методу вибору каналів когнітивного радіоприймача при множинному доступу первинних та вторинних користувачів з використанням технології «Energy Harvesting» під керуванням нейронної мережі. Збірник тез доповідей науково-практичної конференції

«Службово-бойова діяльність Національної гвардії України: сучасний стан, проблеми та перспективи». Харків: НАНГУ. 2018. С. 36.

