

УДК 621.396.677.49

# АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ І СИГНАЛІВ В УМОВАХ ЗОСЕРЕДЖЕНИХ ЗА СПЕКТРОМ ЗАВАД



Ю.Ю. Коляденко, М.О. Чурсанов

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Abstract** – The measurement method of network elements and communication signals parameters in the conditions of the extraneous signals is developed. The possibility of using adaptive noise compensators in mobile network parameters is considered. In adaptive noise compensators, a reference signal is generated in a reference reception channel without the desired signal. Deleting the desired signal from the reference receiving channel is a problem, especially in a mobile network. In an actual situation, in the mobile network, installing the antenna of the reference channel of the reception in the right way is hardly possible. In addition, the direction of arrival of the reference signal can constantly be changing, which requires adjusting the zero pattern of the antenna of the reference reception channel in the direction of its arrival in real-time. To solve the problem of adaptive interference compensation, it is necessary to find such technical solutions that all these actions for the organization of the reference channel of reception are as simple as possible, formalized, and automated. The work proposes using an elemental adaptive antenna array in the reference receiving channel N. Using mathematical modeling in the MATLAB environment, the efficiency of removing the reference signal from the reference reception channel was analyzed. As a criterion for the effectiveness of the adaptive antenna array in the reference receiving channel, the traditional indicator of spatial-temporal processing, namely the SNR ratio of the reference signal levels to the sum of the levels of interference and noise, is taken. The dependences of the SNR in the reference receiving channel on the interference power level were obtained. The analysis showed that with the help of a 3-element AAA, it is possible to reduce the reference signal level in the reference channel of the adaptive interference compensator by 28 dB. The dependence of the SNR in the reference receiving channel on the number of antenna elements was obtained. The analysis showed that the SNR in the reference receiving channel decreases linearly with an increase in the number of antenna elements. That is, it can be concluded that the more antenna elements the reference receiving channel contains, the more effectively the reference signal is removed in the reference receiving channel of the adaptive interference compensator.

**Анотація** – Розроблено метод вимірювань параметрів мережних елементів і сигналів зв'язку в умовах сторонніх сигналів. Розглянуто можливість використання у вимірювачах параметрів мережі мобільного зв'язку адаптивних компенсаторів завад. В адаптивних компенсаторах завад опорний сигнал формують в опорному каналі прийому, в якому відсутній корисний сигнал. Видалення корисного сигналу з опорного каналу прийому є проблемою, особливо в мережі мобільного зв'язку. В реальній обстановці, в мережі мобільного зв'язку встановити антену опорного каналу прийому потрібним чином, наврод чи вдається. Крім того, напрямок приходу корисного сигналу може постійно змінюватися, що вимагає підстроювання нуля діаграми спрямованості антени опорного каналу прийому в напрямку його приходу в реальному масштабі часу. Для вирішення завдання адаптивної компенсації завад необхідно знаходити такі технічні рішення, щоб усі зазначені дії щодо організації опорного каналу прийому були максимально спрощені, формалізовані й автоматизовані. В роботі пропонується застосування в опорному каналі прийому N елементної адаптивної антенної решітки. За допомогою математичного моделювання в середовищі MATLAB проведено аналіз ефективності видалення корисного сигналу з опорного каналу прийому. Як критерій ефективності адаптивної антенної решітки в опорному каналі прийому взято традиційний для задач просторово-часової обробки показник ВСЗШ – відношення рівнів корисного сигналу до суми рівнів завади та шуму. Отримано залежності ВСЗШ в опорному каналі прийому від рівня потужності завади. Аналіз показав, що за допомогою 3-елементної ААР вдається на 28 дБ знизити рівень корисного сигналу в опорному каналі прийому адаптивного компенсатора завад. Отримано залежність ВСЗШ в опорному каналі прийому від кількості антенних елементів. Аналіз показав, що зі збільшенням кількості антенних елементів ВСЗШ в опорному каналі прийому лінійно зменшується. Тобто можна зробити висновок про те, що чим більше антенних елементів містить опорний канал прийому, тим ефективніше видалається корисний сигнал в опорному каналі прийому адаптивного компенсатора завад.

## Вступ

Розвиток мереж мобільного зв'язку (ММЗ), імовірнісне позиціонування абонентських станцій та їх орієнтація в просторі ускладнює забезпечення управління як окремими елементами, так і мережі загалом [1-5]. Система управління містить метрологічну підсистему, від якої надходять в реальному масштабі часу необхідні дані

для прийняття рішень щодо використання мережних ресурсів, своєчасного реагування на ті чи інші зміни трафіку і вимоги споживачів.

Вимірjana інформація про стан  $y_k$  надходить у блок оцінки (рис. 1), де здійснюється її статистична обробка  $\bar{y}_k \rightarrow \hat{x}_k$  [6]. Прийняття рішення  $\bar{y}_k \rightarrow D\hat{x}_k$  щодо резервування, перемикання режимів тощо здійснюється автоматично в режимі реального часу.

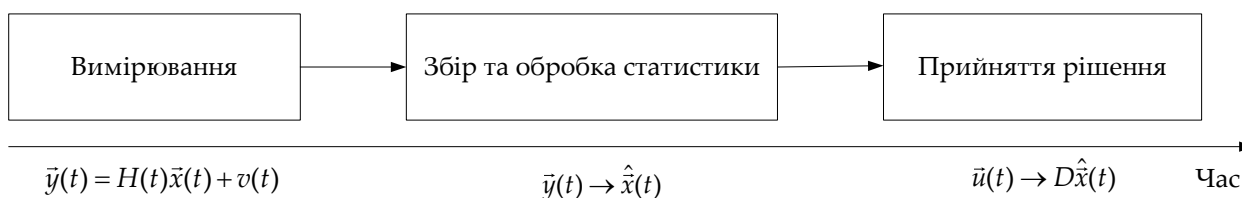


Рис. 1. Час, що витрачається на вимірювання, збір статистики та прийняття рішення

Існуючі технології вимірювань, процедури оцінки вимірjаної інформації та прийняття рішення мають декілька проблем. Однією з проблем є завади  $\bar{v}_k$  (рис. 1) під час вимірювань і передачі сигналів каналами зв'язку. Типовою завадою  $\bar{v}_k$  завжди є білий гаусівський шум, який погіршує якість оцінки та її точність. Крім білого гаусівського шуму  $\bar{v}_k$ , часто діють «забарвлені шуми»  $\bar{n}_k$  – зосереджені за спектром з корисним сигналом. Завади можуть створюватись абонентськими станціями мережі мобільного зв'язку, іншими джерелами або надходити від сусідніх каналів. Наявність таких завад може повністю спотворити статистику [6]. Водночас вимірjану інформацію необхідно буде передавати повторно, що зі свого боку потребує додаткових часових витрат. Тому боротьбі з даним класом завад необхідно приділяти особливу увагу.

У зв'язку з цим розробка методу моніторингу та контролю параметрів сигналів та елементів зв'язку ММЗ в умовах зосереджених за спектром завад є актуальною науковою задачею. Об'єктом дослідження є процес вимірювання й оцінки параметрів у мережах мобільного зв'язку. Предметом дослідження є методи моніторингу та контролю параметрів сигналів і мережних елементів ММЗ. Метою даної роботи є розробка та аналіз методу моніторингу та контролю параметрів сигналів і мережних елементів ММЗ в умовах зосереджених за спектром завад.

## 1. Загальна схема системи управління мережі мобільного зв'язку

Загальна схема системи управління з метрологічною підсистемою надана на рис. 2. Об'єктом управління може бути як ММЗ, так і мережні елементи на різних рівнях ієрархії [6].



Рис. 2. Узагальнена структурна схема системи управління

Сигнал  $s(t)$  з об'єкта управління надходить на засіб вимірювання, який перетворюється на сигнал  $x(t)$  для передачі каналом зв'язку. Виміряна інформація, проходячи каналами зв'язку, спотворюється як адитивними, так і мультиплікативними завадами і шумами. Оцінка виміряних параметрів  $\hat{x}(t)$  для безперервних спостережень або  $\hat{x}(k)$  для дискретних проводиться на підставі спостережень  $y(t) = f(x(t))$ , а прийняття рішення  $f(\hat{x}(t))$  здійснюється на підставі вибіркової статистики [5-8]. Наявність завад і шумів знижує достовірність результатів вимірювання та точність впливів управління. У даному випадку передача результатів вимірювання виконується повторно.

## II. Метод вимірювань параметрів мережних елементів і сигналів в умовах зосереджених за спектром завад

При поширенні сигналів радіоканалами зв'язку ці сигнали піддаються впливу адитивних шумів і сторонніх сигналів, зосереджених за спектром з вимірюваним сигналом. Це обумовлює актуальність задачі видалення з адитивної суміші сигналів і завад корисних сигналів, які надходять у результаті вимірів. У радіоканалах особливу роль відіграє просторово-часова обробка сигналів (ПЧОС). На основі ПЧОС розроблено та широко використовуються технології МІМО, адаптивних антенних решіток (ААР) та адаптивних компенсаторів завад (АКЗ) [6, 10-14].

В АКЗ опорний сигнал формують в опорному каналі прийому (ОКП), в якому відсутній корисний сигнал. Видалення корисного сигналу з опорного каналу є проблемою особливо в ММЗ. Для стаціонарних систем зв'язку для цього, наприклад, може бути використана інформація щодо напрямку приходу корисного сигналу  $x(t)$  або його поляризації. Тоді, орієнтуючи антену ОКП нулем діаграми спрямованості або нулем поляризаційної діаграми на сигнал  $x(t)$ , отримуємо шукане значення

$$y_o(t) = n_o(t) + v_o(t),$$

де  $n_o(t)$  – завада в ОКП;  
 $v_o(t)$  – шум в ОКП.

У реальній обстановці, в ММЗ встановити антену опорного каналу потрібним чином, навіряд чи вдається. Крім того, напрямок приходу корисного сигналу може

постійно змінюватися, що вимагає підстроювання нуля діаграми спрямованості антени ОКП у напрямку його приходу в реальному масштабі часу. Для вирішення задачі адаптивної компенсації завад необхідно знаходити такі технічні рішення, щоб всі зазначені дії по організації опорного каналу були максимально спрощені, формалізовані й автоматизовані [6].

У даній роботі розглядається можливість застосування в ОКП  $N$  елементної ААР. Тоді як для формування необхідного амплітудно-фазового розподілу поля по апертурі ААР за допомогою вектору вагових коефіцієнтів (ВВК) використовувати пристрій оцінки просторового спектра, за допомогою якого визначатимуться напрямки приходу сигналів і завад.

Оцінка вектору вагових коефіцієнтів (ВВК)  $\hat{w}(t)$  для АКЗ знаходиться в результаті будь-якої градієнтної процедури, наприклад, рекурсивної процедури з постійним кроковим коефіцієнтом  $\mu$ :

$$\frac{d\hat{w}(t)}{dt} = \mu y_o(t) \Delta y(t). \quad (1)$$

На рис. 3 надано структурну схему АКЗ, синтезованого відповідно до рівняння (1) [6, 10].

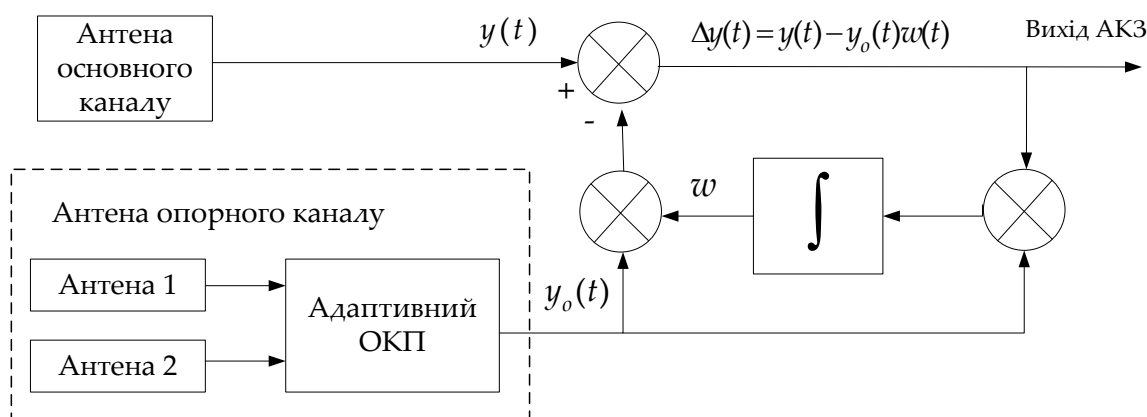


Рис. 3. Структурна схема АКЗ, синтезованого відповідно до рівняння (1)

Розглянемо більш детально формування адаптивного ОКП з використанням  $N$  елементної ААР.

Ідея ААР в опорному каналі прийому в тому, щоб на загальному суматорі скласти зважений корисний сигнал, що приймається з  $N$  антен так, щоб сумарний їх вплив дорівнював нулю. Узагальнену структурну схему  $N$  елементної ААР представлено на рис. 4.

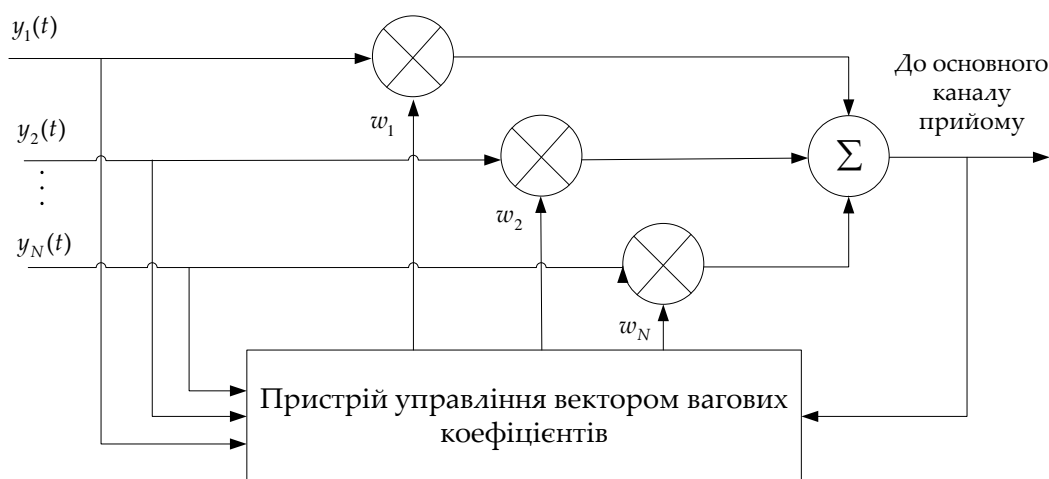


Рис. 4. Схема адаптивної антенної решітки

Аналітичне представлення алгоритму визначення вектору вагових коефіцієнтів антенної решітки ОКП представляється у вигляді

$$\hat{\vec{w}}(t)_{opt\ on} = R_{yy}^{-1} \vec{V}_3' \quad (2)$$

де  $R_{yy}$  – кореляційна матриця прийнятих антенною решіткою суміші сигналів, завад і шумів;

$\vec{V}_3$  – вектор завади, яким управляють.

### III. Аналіз ефективності методу вимірювань параметрів мережних елементів і сигналів в умовах зосереджених за спектром завад

За допомогою математичного моделювання в середовищі MATLAB проведено аналіз ефективності видалення корисного сигналу з ОКП. Як критерій ефективності ААР в ОКП взято традиційний для задач просторово-часової обробки показник ВСЗШ – відношення рівнів корисного сигналу  $P_c$  до суми рівнів завади  $P_z$  та шуму  $P_{ш}$  у смузі частот прийому цього корисного сигналу.

В ході першого експерименту було використано такі вихідні дані:

- кількість використовуваних антенних елементів  $N = 3$ ;
- потужність сигналу –  $P_c = 0$  дБ;
- потужність шуму –  $P_{ш} = 0,1$  дБ;
- потужність змінюваної завади –  $P_z$  від -10 до 10 дБ;
- кут приходу сигналу – 10 градусів;
- кут приходу завади – 10 градусів.

На рис. 5 наведено залежності ВСЗШ в ОКП від рівня потужності завади. Верхня крива відповідає ВСЗШ на вході ААР, а нижня крива – на виході ААР. Як видно з наведених графіків, за допомогою 3-х елементної ААР вдається на 28 дБ знизити рівень корисного сигналу в опорному каналі прийому адаптивного компенсатора завад.

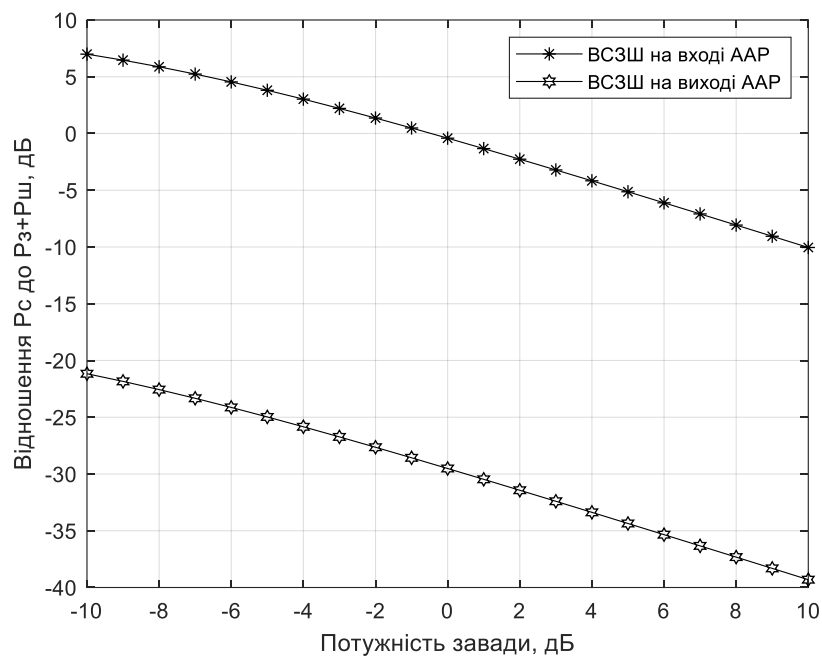


Рис. 5. Залежності ВСЗШ від потужності завади

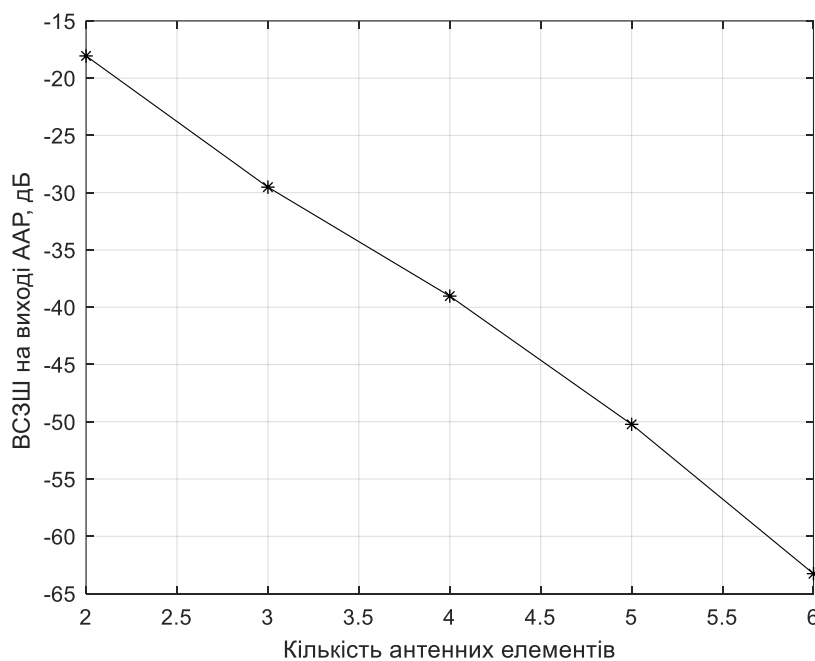


Рис. 6. Залежності ВСЗШ від кількості антенних елементів

Під час проведення другого експерименту було використано такі вихідні дані:

- кількість антенних елементів змінювалась від  $N = 2$  до  $N = 6$ ;
- потужність сигналу –  $P_c = 0$  дБ;
- потужність шуму –  $P_{ш} = 0,1$  дБ;
- потужність завади –  $P_3 = 0$  дБ;

- кут приходу сигналу – 10 градусів;
- кут приходу завади – 10 градусів.

На рис. 6 наведено залежність ВСЗШ в ОКП від кількості антенних елементів. Як видно з наведеного графіка, зі збільшенням кількості антенних елементів ВСЗШ в ОКП лінійно зменшується. Тобто можна зробити висновок про те, що чим більше антенних елементів містить опорний канал прийому, тим ефективніше видаляється корисний сигнал в опорному каналі прийому адаптивного компенсатора завад.

## Висновки

1. Для забезпечення ефективної працездатності мережі мобільного зв'язку необхідна організація моніторингу та контролю параметрів мережних елементів. Система управління від метрологічної підсистеми отримує необхідну інформацію для своєчасного прийняття рішення щодо використання мережних ресурсів, своєчасного реагування на ті чи інші зміни у трафіку та вимог користувачів.

2. Оскільки об'єкт управління, блок обробки статистики та блок прийняття рішення зазвичай територіально рознесені та з'єднані за допомогою каналу зв'язку, то вимірjana інформація, проходячи каналом зв'язку, спотворюється як адитивними, так і мультиплікативними завадами та шумами. Це знижує вірогідність результатів вимірювання і точність інформації, за допомогою якої здійснюється управління. В таких умовах доводиться передавати результати вимірювання повторно.

3. ММЗ представляють собою складні просторово-розподілені структури, що накладає певні обмеження на процедури вимірювання, контролю та управління. Через наявність завад різної природи статистичні дані, що надходять від датчиків, мають певну часову затримку. Це вимагає залучення відповідних алгоритмів обробки результатів вимірювання та узгодження одержуваних оцінок зі змістом тих завдань, для яких ці оцінки формуються.

4. Розроблено метод вимірювань параметрів мережних елементів і сигналів зв'язку в умовах сторонніх сигналів. Розглянуто можливість використання у вимірювачах параметрів ММЗ адаптивних компенсаторів завад. В адаптивному компенсаторі завад опорний сигнал формують в опорному каналі прийому, в якому відсутній корисний сигнал. Видалення корисного сигналу в опорному каналі є проблемою, що особливо важливо в ММЗ. Для стаціонарних систем зв'язку для цього, наприклад, може бути використана інформація про напрямок приходу корисного сигналу або про його поляризацію. Орієнтуючи антену опорного каналу прийому нулем діаграми спрямованості або нулем поляризаційної діаграми на сигнал, отримується значення завади та шуму. В реальній обстановці в ММЗ встановити антену опорного каналу потрібним чином, навряд чи вдасться. Крім того, напрямок приходу корисного сигналу може постійно змінюватися, що вимагає підстроювання нуля діаграми спрямованості антени ОКП в напрямку його приходу в реальному масштабі часу. Для вирішення задачі адаптивної компенсації завад необхідно знаходити такі технічні рішення, щоб усі зазначені дії щодо організації опорного каналу були мак-



симально спрощені, формалізовані й автоматизовані. У даній роботі пропонується застосування в ОКП  $N$ -елементної ААР.

5. За допомогою математичного моделювання в середовищі MATLAB проведено аналіз ефективності видалення корисного сигналу з ОКП. Як критерій ефективності ААР в ОКП взято традиційний для задач просторово-часової обробки показник ВСЗШ – відношення рівнів корисного сигналу  $P_c$  до суми рівнів завади  $P_z$  і шуму  $P_{ш}$  в смузі частот прийому цього корисного сигналу. Отримано залежності ВСЗШ в ОКП від рівня потужності завади. Аналіз показав, що за допомогою 3-х елементної ААР вдається на 28 дБ знизити рівень корисного сигналу в опорному каналі прийому адаптивного компенсатора завад. Отримано залежність ВСЗШ в ОКП від кількості антенних елементів. Аналіз показав, що зі збільшенням кількості антенних елементів ВСЗШ в ОКП лінійно зменшується. Тобто, чим більше антенних елементів містить опорний канал прийому, тим ефективніше видаляється корисний сигнал з опорного каналу адаптивного компенсатора завад.

### Список літератури

1. Кадацкая, О. И., Сабурова, С. А. (2016), “Методы метрологического обеспечения параметров качества NGN-сетей”, Системы обработки информации, No. 6, С. 52-54. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi\\_2016\\_6\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2016_6_14)
2. Кадацкая, О. И., Сабурова, С. А. (2015), “Мониторинг параметров качества услуг в технологии LTE в заданной электромагнитной обстановке”, Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (ЭМС-2015): сб. науч. тр. первой международн. науч.-техн. конф., 27 мая 2015 г., г. Харьков, ХНУРЭ, С. 64–67.
3. Kadatskaya, O., Saburova, S. (2016), “Methods of measurement of quality parameters or services in mobile Internet”, Proceedings of the Third International IEEE Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology”, PICS&T’2016, Ukraine, October 4-6, P. 195-198.
4. Романюк, В. А., Лисенко, О. І., Алексеева, І. В., Романюк, А. В., Новіков, В. І. (2017), “Підходи до розробки нової архітектури системи управління неоднорідними безпроводовими сенсорними мережами”, Математичні машини і системи, No. 2, С. 15-23.
5. Коляденко, Ю. Ю., Холод, Л. Н. (2004), “Проблемы внедрения современных систем управления в телекоммуникациях и методы их решения”, Східно-Європейський журнал передових технологій, No. 3(9), С. 37-41.
6. Коляденко, Ю. Ю., Чурсанов, Н. А., Коляденко, О.В. (2020), “Методика моніторингу та контролю параметрів сигналів та елементів мережі мобільного зв'язку під час вирішення завдання електромагнітної сумісності”, Проблеми телекомунікацій, No. (27), С. 3-15. DOI: <https://doi.org/10.30837/pt.2020.2.01>
7. Костин, А. А., Ребров, В. В. (2009), “Управление производительностью сети и качеством предоставляемых услуг”, Электросвязь, No. 2, С. 42-45.
8. Сенин, А. И. (2010), Статистическая радиотехника. Примеры и задачи: учебное пособие, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 72 с.
9. Тихонов, В. И. (2012), Статистическая радиотехника, М.: ЁЁ Медиа, 623 с.



10. Марчук, Л. А. (1991), Пространственно-временная обработка сигналов в линиях радиосвязи, Л.: ВАС, 136 с.

11. Горбунов, Ю. Н., Акоюн, Г. Л. (2019), “Пространственно-временная обработка сигналов в радиолокации и радиоэлектронном подавлении: ограничение возможностей”, Журнал радиоэлектроники, No. 6. DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2019.6.15>

12. Коляденко, Ю. Ю. (2002), “Адаптивный компенсатор помех для систем абонентского радиодоступа”, Прикладная радиоэлектроника, Том 1. No. 1, С. 94-98.

13. Коляденко Ю.Ю., Чурсанов М.О. Аналіз показників електромагнітної сумісності мереж зв'язку 5 G // Радіоелектроніка, інформатика, управління. ISSN 1607-3274. 2021. № 3 (58) с. 7-16. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-3-1>

14. Москалець, М. В., Коляденко, Ю. Ю., Коляденко, О. В. (2021), Методи доступу у перспективних системах мобільного зв'язку, Харків: ХНУРЕ, 539 с. DOI: <https://doi.org/10.30837/978-966-659-296-8>