

Вченому секретарю спеціалізованої
вченої ради Д 64.052.03
Харківського національного універ-
ситету радіоелектроніки,
проф. Безруку В.М.
пр. Науки,14, м. Харків, 61166

ВІДГУК

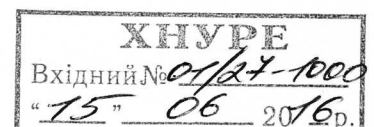
офіційного опонента на дисертаційну роботу Ушакова Сергія Іванови-
ча на тему “Методи компенсації впливу багатопроменевості сигналу
спільного джерела в пасивних радіотехнічних системах частотно-
часової синхронізації”, яка подана на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні
та телевізійні системи

Актуальність теми дисертації

Інтенсивний розвиток глобальних систем координатно-часового та частотно-
часового забезпечення, зумовлений зростаючими потребами сучасності, вису-
ває все більш високі вимоги до показників точності та надійності їх функціо-
нування. Тому у розвинутих країнах світу наукові дослідження, що спрямовані
на удосконалення систем синхронізації часу та частоти, є дуже актуальними.

Основною особливістю таких досліджень є те, що за сигналами первинних
високоточних еталонів необхідно синхронізувати велику кількість віддалених
радіотехнічних засобів. Такий стан справ вимагає постійного удосконалення
науково-технічної бази та організаційної структури систем синхронізації часу
та частоти. Однак слід зауважити, що суттєвим чинником, який впливає на які-
сні показники систем частотно-часової синхронізації є багатопроменеве поши-
рення інформаційного сигналу, що може призвести до збільшення похибки си-
нхронізації чи взагалі унеможливити високоточне звірення просторово розне-
сених еталонів часу та частоти.

У дисертації Ушакова С.І. теоретично та експериментально досліджуються
доволі складні процеси впливу багатопроменевого розповсюдження сигналу на
похибки окремих груп віддалених радіотехнічних систем синхронізації. Тому
дисертаційна робота Ушакова С.І. “Методи компенсації впливу багатопроме-
невості сигналу спільного джерела в пасивних радіотехнічних системах частот-
но-часової синхронізації” є актуальним науковим дослідженням.



Зв'язок дисертаційної роботи з державними науковими програмами й пріоритетними напрямками розвитку науки й техніки

Дисертаційні дослідження Ушакова С.І. безпосередньо пов'язані з виконанням Державної програми «Створення і розвиток Державної служби єдиного часу та еталонних частот». У рамках цієї Програми проводився ряд НДР.

1. Національним науковим центром «Інститут метрології» було виконано дві НДР «Забезпечення функціонування Державної служби єдиного часу і еталонних частот в Україні»
 - №ДР 0112U008240,
 - №ДР 0115U003818.
2. Метрологічним центром військових еталонів Збройних Сил України були виконані НДР
 - «Дослідження варіантів побудови й функціонування комплексу апаратури Центру метрологічного контролю й розробка програмно-методичного забезпечення його дослідної експлуатації й державних випробувань», № ДР 0114U00411.
 - «Дослідження методів синхронізації шкал часу і частоти та визначення оптимальних варіантів звірення вихідного еталона Збройних Сил України (ВЕЗСУ 07-01-01-09) часу та частоти з державним еталоном», шифр «Промет-РТ».

Ушаков С.І. був виконавцем зазначеної Державної програми. Результати його дисертаційних досліджень були використані в чотирьох зазначених НДР.

3. Крім цього, Ушаков С.І. у якості виконавця брав участь у НДР Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ) «Створення технологій побудови багатофункціонального радіотехнічного комплексу для екологічного моніторингу», розділ № 287-5 «Розробка альтернативних методів синхронізації інформаційно-вимірювальних систем раціонального природокористування», № ДР 0114U002697.

Таким чином, результати дисертаційних досліджень Ушакова С.І. пов'язані з державними програмами України й пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки.

Аналіз змісту дисертаційної роботи

Повний обсяг дисертаційної роботи Ушакова С.І. становить 183 сторінки і складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, який включає 150 найменувань, і додатків, у які включено 4 акти впровадження результатів досліджень. У роботі наведено 54 рисунки і 7 таблиць. Основний зміст дисертації викладений на 161 с., з яких 7 с. повністю займають рисунки і таблиці.

У вступі автор обґрунтовує актуальність науково-технічної задачі компенсації багатопроменевих завад у багатопозиційних пасивних системах синхронізації часу та частоти, визначає предмет, об'єкт і методи дослідження, наводить дані щодо отриманих наукових і практичних результатів, апробації та публікації матеріалів роботи, особистого внеску в наукових працях, які виконані у співавторстві.

У першому розділі проведений порівняльний аналіз методів частотно-часової синхронізації інформаційно-вимірювальних систем та джерел похибок синхронізації, за результатами якого робиться висновок про необхідність зниження впливу багатопроменевого сигналу, визначені мета і задачі роботи.

Поставлена науково-практична задача вирішується шляхом адаптації відомих принципів боротьби з пасивними завадами з урахуванням особливостей реалізації пасивного методу загального охоплення. Що саме мається на увазі. Класичні методи компенсації пасивних завад, якими є багатопроменеві завади, реалізовано для активних та напів-активних радіолокаційних та інформаційно-вимірювальних систем, в яких параметри зондуючого (інформаційного) сигналу відомі і навіть можуть цілеспрямовано змінюватися (адаптуватися) з метою подолання пасивних завад. Такі радіотехнічні системи, як правило, вирішують задачі виявлення та вимірювання параметрів об'єктів в реальному масштабі часу та використовують складні фазовані антенні системи. Відмінність пасивної системи синхронізації полягає у тому, що для синхронізації просторово рознесених еталонів часу та частоти використовуються сигнали сторонніх джерел, які впевнено приймаються в пунктах синхронізації. Тобто впливати будь яким чином на параметри такого сигналу можливості немає. Однак відсутні жорсткі вимоги до швидкодії – обробка інформації виконується у пост-сеансному режимі. Ще одною суттєвою перевагою пасивної системи, яка і використовується для подавлення багатопроменевої завади є те, що така завада не може бути однаковою одночасно для всіх пунктів і, якщо хоч в одному пункті вона відсутня (має припустимий рівень), то можлива реалізація запропонованого автором методу компенсації для таких умов.

У другому розділі розроблено теоретичні засади нового методу подавлення багатопроменевої завади для багатопозиційних пасивних систем синхронізації. Для цього проаналізовано особливості реалізації пасивного методу загального охоплення та відомі методи боротьби з пасивними завадами, що дозволило розробити нові (одноканальний та багатоканальний) методи компенсації. Оскільки одноканальна реалізація є більш економічною, то основну увагу у роботі приділено саме одноканальному методу.

Також у цьому розділі визначено яким шляхом можна зробити висновок щодо наявності багатопроменевої завади в тому чи іншому пункті. Запропоновано два способи, один з яких базується на енергетичних відмінностях прийня-

тих сигналів, тобто спектральна щільність потужності зашумленого сигналу буде вищою, ніж сигналу, вільного від завади. При цьому необхідно здійснювати калібрування приймачів у пунктах синхронізації. Другий спосіб полягає у знаходженні попарних взаємо кореляційних функцій прийнятих сигналів спільного джерела. Такий спосіб прийнятний, коли багатопроменева завада відсутня як мінімум у двох пунктах синхронізації.

Слід звернути увагу на те, що у пасивній системі синхронізації багатопроменева завада діє у продовж всієї сигнальної вибірки і вона не може бути подавлена шляхом стробування у часі. Автор розглядає ситуацію, коли про наявну часткову кореляцію і про багатопроменевість свідчать додаткові піки взаємокореляційної функції прийнятих в пунктах сигналів. Це можливо за умови, коли час затримки додаткового променя (променів) не перевищує тривалості сигнальної вибірки. Однак запропонований метод компенсації є працездатним і за відсутності часткової кореляції основного та додаткових сигналів. У цьому разі спрацює енергетичний критерій визначення факту багатопроменевості, який є менш наглядним, ніж знаходження попарних функцій взаємної кореляції.

Розроблено принципи функціонування БПСС у разі наявності багапроменевої завади, алгоритм роботи компенсатора таких завад та структурна схема системи синхронізації часу та частоти з блоками компенсації багатопроменевого сигналу. Також визначено основні рекомендації для побудови пасивної системи синхронізації, яка реалізує подавлення багатопроменевої завади.

У третьому розділі за допомогою математичного моделювання досліджений вплив похибок, викликаних багатопроменевістю поширення радіохвиль. Виконане математичне моделювання впливу багатопроменевості на результуючу похибку синхронізації. Проаналізована ефективність застосування різних способів обробки прийнятих сигналів спільного джерела в залежності від співвідношення сигнал/шум. Для цього розроблено узагальнену математичну модель пасивної системи синхронізації, яка реалізує фільтрову та (або) взаємокореляційну обробку прийнятих сигналів спільного джерела в умовах їх багатопроменевості. Проведені дослідження не виявили суттєвих відмінностей від отриманих попередніми авторами результатів за однакових початкових умов, що визначають інтервал кореляції сигналів набагато меншим тривалості сигнальної вибірки та рівень завадового сигналу набагато меншим від рівня основного сигналу. Однак у реальних умовах такі спрощення можуть бути неприйнятними, про що свідчать виконані за участю автора дисертаційної роботи експериментальні дослідження.

Четвертий розділ присвячений експериментальним дослідженням з використанням спеціально виготовлених діючих лабораторних макетів кількох варіантів систем частотно-часової синхронізації. Підтверджена достовірність і

реалізуємість теоретичних положень і висновків попередніх розділів дисертаційної роботи.

Результати лабораторних досліджень діючих макетів продемонстрували високу ефективність пасивних систем синхронізації та запропонованого методу подавлення багатопроменевої завади. Всього описано 4 експерименти, однак основний експеримент з перевірки метода компенсації багатопроменевого сигналу спільного джерела фактично включає три окремих експерименти, які подано як етапи – визначення похибки синхронізації за відсутності багатопроменевої завади (перший етап), оцінка результатів вимірів при багатопроменевому сигналі (другий етап), оцінка результатів вимірів після подавлення багатопроменевого сигналу (третій етап). Аналіз отриманих результатів свідчить, що середньоквадратичне відхилення оцінки зсуву шкал часу еталонів після подавлення багатопроменевої завади зменшено майже у 5 разів (з 65 нс до 14 нс), що переконливо доводить можливість ефективної протидії багатопроменевим завадам у розробленій системі синхронізації.

У висновках дисертації викладені отримані автором найбільш важливі наукові й практичні результати.

У додатках наведено 4 акти про впровадження результатів досліджень.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність

Усі наведені в дисертації наукові положення, висновки та рекомендації достатньо обґрунтовані і вірогідні, що забезпечується грамотним використанням методів кореляційного аналізу, математичної статистики та моделювання, вмілим застосуванням сучасних радіовимірювальних приладів та засобів обчислювальної техніки, практичною реалізацією розроблених методів і засобів вимірів за допомогою діючих лабораторних макетів пасивних систем синхронізації часу й частоти, вірним трактуванням результатів обробки отриманих даних.

Створені автором математичні моделі адекватно відображають фізичні процеси, що відбуваються в досліджуваних системах, і дозволяють оптимізувати характеристики радіосистем на етапі розробки та створення. Прийняті в роботі спрощення і наближення повністю обґрунтовані.

Наукова новизна дисертаційної роботи

У дисертаційній роботі Ушакова С.І. вирішена актуальна науково-прикладна задача підвищення точності звірення шкал просторово-рознесених еталонів часу і частоти методом компенсації впливу багатопроменевої завади спільного джерела в пасивних радіотехнічних системах частотно-часової синхронізації. Це дозволило забезпечити підвищення точності, перешкодозахищеності, скритності, економічності таких систем, а також поліпшило електромагнітну сумісність із іншими радіотехнічними засобами.

До основних наукових результатів, отриманим автором у дисертації, необхідно віднести наступне.

1. Новий метод компенсації впливу багатопроменевості сигналу спільного джерела на результуючу похибку синхронізації багатопозиційної пасивної системи, який на відміну від відомих, дозволяє здійснити одночасну компенсацію частково-корельованих і некорельованих багатопроменевих завад, що знаходяться у стробі часового розрізнення.
2. Нову математичну модель багатопозиційної пасивної системи синхронізації, в якій на відміну від відомих моделей систем звірення шкал часу і частоти реалізовано компенсацію багатопроменевого поширення сигналу спільного джерела.
3. Нові принципи побудови компенсаторів багатопроменевих сигналів у багатопозиційних пасивних системах синхронізації, які на відміну від відомих, засновані на першочерговому виділенні і компенсації корисного сигналу, після чого стає можливим виділення складових завади для їх подальшого подавлення.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи.

У якості найбільш суттєвих практичних результатів слід зазначити наступне.

- Розроблений алгоритм роботи компенсатора реалізує нову послідовність (етапність) виконання операцій подавлення багатопроменевої завади у багатопозиційних пасивних системах синхронізації. В основу роботи алгоритму покладено модифіковані принципи кореляційної компенсації з визначенням етапів першочергового виділення та подавлення корисного сигналу, що надає можливість подальшого виділення складових багатопроменевої завади та їх компенсацію.
- Компенсатор, структуру якого синтезовано у ході досліджень, забезпечує подавлення багатопроменевої завади у сигналі спільного джерела у багатопозиційних пасивних системах синхронізації. Відмінною особливістю запропонованого компенсатора є те, що його робота побудована на виділенні корисного сигналу, вільного від багатопроменевої завади, за допомогою якого у подальшому здійснюється виділення складових завади для формування необхідного компенсуючого сигналу.
- Отримані в ході проведення експериментальних досліджень результати підтверджують працездатність запропонованого методу компенсації багатопроменевої завади сигналу спільного джерела навіть при рівні завади більше рівня корисного сигналу. Структура розробленої експериментальної установки може бути практично реалізована при проведенні частотно-часових звірень у багатопозиційних пасивних системах синхроні-

зації, що входять до складу Державної служби синхронізації часу та частоти.

- Експериментальні дослідження макета пасивної системи синхронізації з використанням сигналів цифрового наземного телебачення Харківського телецентру в режимі “нульової бази” довели ефективність запропонованих програмно-апаратних рішень компенсатора багатопроменевої завади і принципів обробки результатів вимірювань. Використання компенсатора дозволило подавити багатопроменеву заваду до рівня, який забезпечив зниження середньоквадратичної похибки вимірювання зсуву шкал часу та частоти у 4-5 разів.

Апробації й публікації результатів дисертаційної роботи, повнота їх викладу.

Основний зміст дисертації Ушакова С.І. викладено в 6 статтях, опублікованих у періодичних виданнях, що входять у затверджений перелік спеціалізованих видань України. Із цих статей 2 вийшли в журналах, які входять до міжнародних наукометричних баз. Наукові положення, пропозиції та висновки, які містяться в дисертаційній роботі, викладені в 6 доповідях на галузевих та міжнародних науково-практичних конференціях.

Таким чином, основні результати дисертації досить повно апробовані й відомі фахівцям. Повнота відображення результатів дисертаційних досліджень і вимоги до кількості публікацій відповідають встановленим вимогам.

Оформлення й відповідність змісту автореферату й дисертаційної роботи.

Оформлення, стиль і мова викладу, обсяг дисертації, її структура відповідають установленим вимогам. Задачі і їх рішення викладені аргументовано. Робота викладена з коректним використанням науково-технічної термінології. В авторефераті приведені об'єкт, предмет і методи досліджень, мета, розв'язувані задачі, наукова новизна, практична значимість отриманих результатів, відомості про впровадження й апробації результатів дисертаційних досліджень. Вказується особистий внесок у кожну публікацію Ушакова С.І. Зміст автореферату у повній мірі відповідає змісту дисертації.

Області можливого використання результатів дисертації.

Результати дисертаційної роботи Ушакова С.І. можуть бути використані при створенні нових пасивних систем синхронізації часу й частоти при виконанні Державної програми «Створення й розвиток Державної служби єдиного часу й еталонних частот».

Організаціями, зацікавленими у використанні результатів дисертаційних досліджень Ушакова С.І. можуть бути:

- ННЦ «Інститут метрології»;
- ДП «Укрметртестстандарт»;
- Метрологічний центр військових еталонів;
- Укртелеком;
- Український науково-дослідний інститут зв'язку та ін.

Також отримані результати можуть бути використані й впроваджені:

- спеціалізованими науковими й проектними організаціями, які займаються розробкою систем синхронізації часу та частоти;
- навчальними закладами, які готують фахівців відповідного профілю.

Зауваження по дисертаційній роботі й автореферату.

Дисертаційна робота Ушакова С.І. виконана на високому рівні, однак у ній є ряд недоліків.

1. Автором визначені умови застосування запропонованого методу компенсації багатопроменевої завади і не визначено, наприклад, за допомогою моделювання, конкретні значення таких обмежень. Це стосується умови, що в одному з пунктів синхронізації багатопроменева завада відсутня або має допустимий рівень. Слід зауважити, що перевідбиття сигналу завжди має місце і тому більш коректним є застосування обмеження щодо допустимого рівня багатопроменевої завади. А в такому разі слід вказати значення такого рівня.

2. У дисертації не знайшли відображення оцінки відбиваючих властивостей різноманітних речовин і об'єктів, що широко використовуються для аналізу та синтезу радіотехнічних систем, працюючих в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль. Використання таких оцінок сприяло б повнішому відображенню необхідності розробки нового методу компенсації багатопроменевого сигналу (підр. 2.4).

3. При виконанні теоретичних досліджень основну увагу приділено похибці синхронізації. Зміна (покращення, погіршення) будь яких інших параметрів чи характеристик у роботі не оцінюється. Слід було б привести розрахункові дані про час виконання звірень із заданою точністю, необхідний обчислювальний ресурс, надійність системи, її завадозахищеність та ін., що з більшою переконливістю могло б показати переваги нового методу подавлення багатопроменевого сигналу. Цей недолік відноситься так само і до результатів експериментальних досліджень, які оцінюються тільки за оцінкою отриманої похибки зсуву шкал еталонів, що звіряються (підр. 4.1-4.3). Числові характеристики з поліпшення інших параметрів пасивної системи синхронізації по відношенню до відомих систем відсутні.

4. Отримані теоретичні результати підтверджені експериментально і приведені оцінки вимірюваних параметрів свідчать про наявність не лише макетів розробленої апаратури, але і про створення високоточних вимірювальних програмно-апаратних комплексів. Проте в матеріалах дисертації відсутня інфор-

мація про перевірку засобів вимірів, а також про те, якого класу точності використовувались штатні прилади. З наведеного опису калібрування вимірювального стенду (підр. 4.2, стор. 143-144) виходить, що виконана оцінка відносного приросту затримки, а вимірювання абсолютних значень не калібрувалося, а якщо і калібрувалося, то не вказано, яким чином виконувалася дана операція.

Висновки

Відзначені недоліки не знижують загальну високу оцінку роботи. Представлена Ушаковим С.І. дисертація на тему “Методи компенсації впливу багатопроменевості сигналу спільного джерела в пасивних радіотехнічних системах частотно-часової синхронізації” є завершеною науковою працею, яка виконана автором самостійно на високому науковому рівні. Назва відповідає змісту дисертаційної роботи. У дисертації сформульовано та вирішено актуальну науково-прикладну задачу підвищення точності звірення шкал просторово-рознесених еталонів часу і частоти за рахунок використання нового методу компенсації впливу багатопроменевої завади спільного джерела в пасивних радіотехнічних системах частотно-часової синхронізації. Отримані результати теоретично обґрунтовані та експериментально підтверджені.

Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи, результати досліджень повністю відображені в публікаціях. Їхня кількість, повнота висвітлення результатів досліджень повністю відповідають установленим вимогам.

По своїй тематичній спрямованості дисертаційна робота Ушакова С.І. відповідає паспорту спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи і відповідає встановленим вимогам.

Ушаков Сергій Іванович заслуговує присудження вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – "Радіотехнічні та телевізійні системи".

Зав. відділом обробки радіосигналів
ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України,
докт. техн. наук, професор

 А.Ф. Величко /

Підпис зав. відділом, д.т.н., проф. Величка А.Ф. ЗАСВІДЧУЮ
т.в.о. вченого секретаря ІРЕ ім. О.Я.Усикова НАН України



/Ткачова Т.О./

4.06.2016