

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

На правах рукопису

ТРОМСЮК ВОЛОДИМИР ДМИТРОВИЧ

УДК 621.38

МЕТОДИ ТА ПРИСТРОЇ ОЦІНЮВАННЯ БІТОВИХ ПОМИЛОК
У ПРОМИСЛОВИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Кичак Василь Мартинович,
д. т. н., професор

ВІННИЦЯ – 2017

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ПРИСТРОЇВ ОЦІНЮВАННЯ БІТОВИХ ПОМИЛОК У ПРОМИСЛОВИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ.....	14
1.1 Аналіз основних джерел та характеристик помилок у промислових комп'ютерних системах	14
1.2 Аналіз основних видів тестових послідовностей.....	20
1.3 Аналіз методів оцінювання бітових помилок у промислових комп'ютерних системах зі вставками та випаданнями бітів.....	24
1.4 Пристрої оцінювання параметрів адитивних і бітових помилок.....	32
1.5 Актуальність задачі розробки методів і пристроїв оцінювання параметрів бітових помилок на фоні одиничних адитивних помилок....	35
1.6 Висновки. Постановка задач дослідження	37
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ОЦІНЮВАННЯ БІТОВИХ ПОМИЛОК І ЗАВАДОСТІЙКОСТІ У ПРОМИСЛОВИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ.....	38
2.1 Загальні теоретичні передумови оцінювання промислових комп'ютерних систем зі вставками та випаданнями бітів.....	38
2.2 Загальні закономірності оцінювання ПБП на фоні одиничних адитивних помилок за допомогою ПВП	55
2.3 Удосконалений кореляційний метод оцінювання ПБП.....	59
2.4 Позиційний метод оцінювання ПБП на базі синхропослідовності з особливими параметрами.....	63
2.5 Метод перестановки ВПС за частотою їх появи.....	70
2.6 Попереднє оцінювання роздільної здатності удосконаленого кореляційного та позиційного методів.....	74
2.7 Оцінювання ПБП при різних видах демодуляції дискретних сигналів....	80

2.8 Оцінювання оптимальних значень сигнал/шум при наявності бітових помилок у промислових комп'ютерних системах	88
2.9 Алгоритми обробки вихідних даних пристроїв оцінювання ПБП.....	93
2.10 Висновки.....	99
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ОЦІНЮВАННЯ БІТОВИХ ПОМИЛОК У ПРОМИСЛОВИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ.....	100
3.1 Організація системи оцінювання параметрів бітових помилок.....	100
3.2 Структурні та функціональні схеми пристроїв оцінювання ПБП.....	105
3.2.1 Пристрій оцінювання ПБП, побудований на базі удосконаленого кореляційного методу.....	105
3.2.2 Пристрій оцінювання ПБП, побудований на базі позиційного методу.....	111
3.3 Блок знаходження ІВПС.....	118
3.4 Блок прийняття рішення про наявність помилок.....	125
3.5 Блок формування потоку станів.....	129
3.6 Оцінки складності та швидкодії пристроїв оцінювання ПБП, побудованих на базі удосконаленого кореляційного та позиційного методів.....	132
3.7 Висновки.....	135
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК ОЦІНЮВАННЯ ПБП У ПРОМИСЛОВИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ.....	137
4.1 Організація програмної моделі.....	137
4.1.1 Принципи моделювання та функціонування пристроїв оцінювання ПБП.....	137
4.1.2 Структурна схема моделі для дослідження алгоритмів пристроїв оцінювання ПБП.....	139
4.2 Методика оцінювання параметрів бітових помилок.....	141
4.3 Похибки оцінювання ПБП на виході пристроїв оцінювання ПБП.....	142
4.4 Результати перевірки похибки оцінювання ймовірнісних характеристик ПБП.....	149

4.5 Впровадження результатів дисертаційної роботи.....	153
4.6 Висновки.....	155
ВИСНОВКИ.....	156
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	159
ДОДАТКИ.....	172
ДОДАТОК А Залежність кількості випадків невірною виявлення фази від кількості помилок у вікні для удосконаленого кореляційного та позиційного методів оцінювання бітових помилок.....	173
ДОДАТОК Б Лістинг програмної моделі пристрою оцінювання ПБП синтезованого на базі удосконаленого кореляційного методу.....	178
ДОДАТОК В Лістинг програмної моделі пристрою оцінювання ПБП синтезованого на базі позиційного методу.....	189
ДОДАТОК Г Лістинг програмної моделі для перевірки похибки оцінки параметрів бітових помилок на виході пристрою оцінювання ПБП.....	200
ДОДАТОК Д Лістинг програм ПЕОМ для оперативної статистичної обробки вихідних даних пристрою оцінювання ПБП.....	212
ДОДАТОК Е Гістограми розподілу помилок.....	221
ДОДАТОК М Акти впровадження.....	229

ВСТУП

Актуальність теми. У зв'язку з стрімким розвитком сучасних технологій усе більш значними стають автоматизовані та технічно досконалі виробничі процеси, побудовані на базі промислових комп'ютерних систем. Їх надійність, завадостійкість і продуктивність у багатьох випадках визначаються якістю цифрових і дискретних каналів, які використовуються в промислових комп'ютерних системах, а також якістю відтворення даних у зовнішніх та оперативних запам'ятовувальних пристроях (ЗП) [1–12].

У сучасних промислових комп'ютерних системах висуваються значні вимоги до завадостійкості, швидкості передавання даних, надійності та характеристик помилок [9, 13–20]. У будь-якій системі, особливо якщо вона використовується при впливі на неї інтенсивних промислових (переважно імпульсних) завад, виникають різноманітні помилки. У таких системах на виході демодуляторів і ЗП можуть з'являтися вставки та випадання бітів, які приводять до зсуву інформаційних послідовностей і до утворення довгих пакетів помилок, що перевищують коректувальну здатність найпотужніших завадостійких кодів [1, 3, 4, 6, 9]. Тому для забезпечення високої достовірності передавання даних необхідне оцінювання таких параметрів бітових помилок, як вставки й випадання бітів. Отримані оцінки повинні однозначно давати відповідь на питання, які завадостійкі коди потрібно використовувати при передаванні інформації у промислових комп'ютерних системах з великим рівнем завад, щоб забезпечити заданий рівень завадостійкості, надійності та достовірності.

Питаннями цифрового оброблювання сигналів займалися багато провідних вчених. Розвиток теорії побудови засобів передавання інформації наведений у фундаментальних працях К. Шеннона, В. А. Котельнікова, Ф. Дж. Мак-Вільямса, А. А. Харкевича, Р. М. Хеммінга, Л. М. Фінка, І. В. Кузьміна, В. О. Шварцмана, Б. Я. Советова, А. І. Велічкіна, В. М. Муттера, Г. А.

Ємельянова, Н. Дж. Слоена, Дж. Прокіса. Питання оброблювання сигналів різної природи розглядалися в роботах Л. М. Голденберга, А. В. Оппенгейма, Р. В. Шафера, А. В. Давидова, Б. І. Мокіна та ін. Для вирішення проблем оцінювання помилок використовують різноманітні апаратні та програмні засоби [1–9]. При цьому більшість методів оцінювання бітових помилок базується на порівнянні прийнятої та переданої бітових послідовностей. Питання дослідження бітових помилок розглядалось у роботах І. Г. Бакланова, В. А. Канакова, А. Я. Кулика, В. В. Яцківа, Е. James Gilley, К. Chy Deepak, Md. Khaliluzzaman, K. V Sambasiva Rao, D. H. Wolaver, A. Morello, M. Sandell, Y. Li, L. J. Cimini, N. R. Solenberger, M. Mizoguchi та M. Morikura та ін. [3, 4, 108–110]. Проте застосування результатів досліджень цих авторів пов'язане з численними наближеннями та великими похибками визначення параметрів бітових помилок (на фоні одиничних адитивних помилок) запропонованими методами та пристроями. Тому виникає задача оцінювання параметрів бітових помилок у широкому діапазоні варіацій параметрів фонових адитивних помилок.

Значення характеристик помилок у промислових комп'ютерних системах вимагається при розробці та введенні в експлуатацію контролерів ЗЗП або ОЗП та апаратури передавання даних ЕОМ (електронно-обчислювальних машин), які передбачають в своєму складі систему корекції помилок FEC, яка передбачає застосування завадостійких кодів для виправлення помилок [1, 4, 9]. Доцільність використання будь-якого способу захисту інформаційних послідовностей залежить від характеру та параметрів бітових помилок. Поширені завадостійкі коди направлені на виправлення адитивних помилок, а не вставок і випадань бітів, що в свою чергу, призводить до спотворення даних [1, 4, 9, 20–24].

Процес передавання інформації регламентований стандартами, протоколами та рекомендаціями, які визначають відповідні технології побудови технічних засобів. Вони задають необхідні умови зв'язку, параметри

й характеристики промислових комп'ютерних систем. При цьому в сучасних ширококутових системах зв'язку чим менше навантаження (порожня мережа), тим ближче відношення сигнал/завада наближається до 0. З ростом навантаження (кількості абонентів, пропускної здатності) відношення сигнал/завада погіршується аж до $-12 \dots -14$ дБ, після чого, відповідно до налаштувань системи, може відбутися перехід від 3G до 2G. Тому важливою задачею є недостатньо ефективно передавання інформації у розподілених промислових комп'ютерних системах при складних умовах зв'язку, оскільки відсутні відомості про рівень вставок і випадань бітів на фоні одиничних адитивних помилок. Такі відомості дозволили б обрати методи кодування інформації, які б дозволили впоратися і з прогнозованим (вимірним) рівнем завад.

Для оцінювання якості промислових комп'ютерних систем, які працюють в умовах інтенсивних промислових (імпульсних) завад, і проектування пристрою, який буде виправляти (коректувати) бітові помилки, необхідно знати діапазон зміни їх параметрів: довжини вставок/випадань та їх позиції в пакеті даних, що передається. Названі параметри бітових помилок можуть бути знайдені в результаті статистичних досліджень промислових комп'ютерних систем за допомогою швидкодійних спеціалізованих обчислювальних пристроїв, які працюють у режимі реального часу на тактовій частоті демодульованої послідовності. Складність створення зазначених пристроїв полягає в тому, що бітові помилки проявляються на фоні одиничних адитивних помилок, які завжди присутні в реальних системах оброблення та передавання даних. Останні можуть призвести до підвищення похибки обчислення довжини вставок/випадань та їх позицій. Ступінь впливу одиничних адитивних помилок на похибку оцінювання параметрів бітових помилок, на сьогодні, практично не досліджений [1, 3-9].

У зв'язку з цим актуальною є науково-технічна задача, яка полягає в розробці методів і технічних засобів оцінювання параметрів бітових помилок у

промислових комп'ютерних системах зі вставками та випаданнями бітів на фоні одиничних адитивних помилок.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до програм і планів науково-дослідних робіт у Вінницькому національному технічному університеті, а саме: в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт: "Розробка методів і пристроїв первинного цифрового оброблення високочастотних сигналів для систем радіоелектронної боротьби" (№ Держ. реєстр. 0116U004710), "Розробка інформаційних пристроїв і засобів оцінювання джиттеру на базі принципів нечіткого іммітанса та цифрового оброблення сигналів" (Держ. реєстр. 0114U003463) та "Розробка структури цифрової системи передачі сигналів документального електрозв'язку" (госпдоговір № 4512, організація-замовник – ТОВ "Подільський проектний інститут). Автор дисертації був виконавцем зазначених НДР.

Мета і задачі дослідження. *Метою роботи* є підвищення точності оцінювання параметрів бітових помилок та завадостійкості промислових комп'ютерних систем шляхом зниження впливу одиничних адитивних помилок.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати ряд таких задач.

1. Аналіз існуючих методів і пристроїв оцінювання параметрів бітових помилок (ПБП) у промислових комп'ютерних системах. Визначення основних недоліків та обмежень в аналізованих методах і вимірювальному обладнанні.

2. Розробка та удосконалення методів оцінювання ПБП у промислових комп'ютерних системах.

3. Розробка апаратно-орієнтованих алгоритмів для виявлення бітових помилок (обчислення довжин вставок/випадань бітів та їх позицій) у промислових комп'ютерних системах зі вставками та випаданнями бітів.

4. Розробка алгоритмів і програм для статистичної обробки вихідних даних пристроїв оцінювання ПБП.

5. Синтез структурних, функціональних схем і розробка алгоритмів роботи спеціалізованих пристроїв оцінювання ПБП та оцінка їх апаратної складності.

6. Дослідження на імітаційній моделі похибки оцінювання ПБП у широких діапазонах зміни ймовірності одиничних адитивних помилок.

Об'єктом дослідження є процес виявлення позицій вставок/випадань бітів при передаванні даних у промислових комп'ютерних системах.

Предметом дослідження є методи та засоби виявлення та оцінювання вставок і випадань бітів у промислових комп'ютерних системах.

Методи дослідження базуються на теорії кінцевих полів для розробки апаратно-орієнтованих алгоритмів, розробки удосконаленого кореляційного та позиційного методів, теорії завадостійкого кодування для оцінювання бітових помилок при різних видах демодуляції дискретних сигналів, імітаційного моделювання для побудови імітаційної моделі пристроїв оцінювання бітових помилок, теорії проектування дискретних схем для синтезу структурних і функціональних схем пристроїв оцінювання ПБП, теорії ймовірностей і математичної статистики для визначення похибок оцінювання параметрів бітових помилок на виході пристроїв оцінювання ПБП.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше запропоновано позиційний метод оцінювання довжин і позицій вставок/випадань бітів, який, на відміну від існуючих, базується на обчисленні різниці двох позицій синхросимволів, в еталонній і прийнятій псевдовипадкових рекурсивних послідовностей, що дозволило підвищити точність оцінювання параметрів бітових помилок на фоні одиничних адитивних помилок;

- вперше запропоновано метод перестановки відносних позицій синхросимволів за частотою їх появи, який, на відміну від існуючих, передбачає здійснення перестановки елементів черги в кожний момент часу лише на базі вхідного та вихідного елементів, що дозволяє на базі послідовної реалізації

обчислювальних процесів підвищити точність оцінювання бітових помилок і зменшити апаратну складність пристрою, побудованого на базі позиційного методу;

- отримано нові аналітичні вирази для оцінювання довжин вставок/випадань бітів та їх позицій на фоні одиничних адитивних помилок, які, на відміну від відомих, враховують фазу синхросимволів, що є наслідком лінійної рекурсії тестових послідовностей і дозволяють здійснювати оцінювання найімовірнішої величини зсуву за аргументом максимального значення частоти повторення однакових величин;

- удосконалено кореляційний метод паралельної обробки коефіцієнтів взаємної кореляції, який, на відміну від існуючих, передбачає пірамідальну згортку значень коефіцієнтів взаємної кореляції, що дало можливість підвищити точність оцінювання бітових помилок та швидкодію, достатню для знаходження параметрів бітових помилок у режимі реального часу з великою роздільною здатністю.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі проведених теоретичних досліджень та отриманих наукових результатів:

- розроблено алгоритми оцінювання вставок і випадань біт у демодульованих послідовностях промислових комп'ютерних систем, які базуються на знаходженні різниці найбільш імовірних фаз сигналу в двох суміжних відрізках послідовності, що дозволило підвищити точність і завадостійкість оцінювання параметрів бітових помилок на фоні одиничних адитивних помилок, а також відокремлювати одна від одної помилки різних типів: вставки, випадання і одиничні адитивні помилки;

- на базі удосконаленого кореляційного методу запропоновані структурні та функціональні схеми пристрою оцінювання ПБП для визначення довжин і позицій вставок/випадань бітів на основі обчислення коефіцієнтів взаємної кореляції синхросимволів еталонної та прийнятої послідовностей. Розроблений пристрій паралельної обробки значень коефіцієнтів взаємної кореляції і

пристрій паралельного обрахування параметрів бітових помилок, що дозволяє підвищити точність і завадостійкість оцінювання ПБП у досліджуваних промислових комп'ютерних системах у режимі реального часу при тактовій частоті даного варіанта пристрою, що в два рази перевищує тактову частоту передавання вихідної бітової послідовності.

- на базі позиційного методу та методу перестановки синхросимволів за частотою їх появи розроблені структурні та функціональні схеми пристрою оцінювання ПБП на базі обчислення різниці двох позицій синхросимволів еталонної та прийнятої рекурсивної послідовностей, що дозволяє при послідовній реалізації обчислювальних процедур досягнути високої швидкодії розробленого пристрою, достатньої для підвищення точності оцінювання параметрів бітових помилок, у режимі реального часу, при швидкостях передавання інформації в досліджуваних промислових комп'ютерних системах до 50 Мбіт/с.

- на базі розробленої програмної моделі досліджень похибки оцінювання параметрів бітових помилок, яка була використана при імітаційному моделюванні розроблених методів, алгоритмів і пристроїв, було встановлено такі діапазони їх застосування: ймовірність виникнення фатальної (невиправної) помилки та середнє значення абсолютної помилки визначення позицій вставок і випадань бітів, які не перевищують, відповідно, 0,01...0,1 і 1-3 біт при ймовірностях виникнення одиничних адитивних помилок не більше ніж 10^{-2} на біт і вставок/випадань бітів не більше ніж $225 \cdot 10^{-5}$ на біт.

Практичні результати дисертаційного дослідження (Методи та пристрої оцінювання бітових помилок у промислових комп'ютерних системах) впроваджено на державному підприємстві "Науково-дослідний інститут Гелій" про що свідчить відповідний акт (акт від 6.10.2016) та у Подільському проектному інституті (акт від 10.10.2016), а також теоретичні та практичні положення роботи впроваджено в навчальний процес у Вінницькому національному технічному університеті для виконання лабораторних робіт та

проведення лекційних занять для студентів за напрямами підготовки 6.050901-02 – Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення (акт від 12.10.2016).

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та практичні результати отримані автором самостійно. У роботах, які були опубліковані у співавторстві, здобувачеві належать такі результати: у роботах [58, 59, 65] – постановка задачі дослідження, розробка можливих варіантів підвищення завадостійкості приймання сигналів; [60–64] – уточнення та розробка алгоритмів оцінювання вставок і випадань бітів у демодульованих двійкових послідовностях і на виході контролерів зовнішніх та оперативних ЗП; [66, 67, 69] – розробка удосконаленого кореляційного та позиційного методів оцінювання ПБП у промислових комп'ютерних системах; [68] – оцінювання ПБП при різних видах демодуляції сигналів; [69, 70] – оцінювання роздільної здатності удосконаленого кореляційного та позиційного методів; [71] – розробка методу сортування відносних позицій синхросимволів за частотою їх появи.

Апробація результатів дисертації. Викладені в дисертації результати пройшли апробацію (доповідались і обговорювались) на 8 наукових, науково-технічних, науково-практичних конференціях і семінарах, в тому числі: III Міжнародній науково-технічній конференції "Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки" (Чернівці, 2013); Міжнародній науково-технічній конференції "Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи" (РТПСАС – 2014) (Київ, 2014); IV Міжнародній науково-технічній конференції "Інфокомунікації – сучасність та майбутнє" (Одеса, 2014); XLVIII-XLIX Міжнародній науково-практичній конференції "Технические науки – от теории к практике» (Новосибірськ, 2015); III Міжнародній науково-технічній конференції "Techical Sciences: modern issues and development Prospects" (Шефїлд, 2015); Міжнародній науково-технічній конференції "Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи" (РТПСАС – 2016) (Київ, 2016); Міжнародній науково-технічній конференції

"Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science" (TCSET – 2016) (Львів, 2016); XVI Міжнародній науково-технічній конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах" (ВОТТП – 2016) (Одеса, 2016).

Публікації. Результати досліджень опубліковані в 16 наукових працях, у тому числі: в 6 статтях у наукових журналах, які входять до наукометричних баз, [65–68, 70, 71], з яких 1 входить у реферативну базу даних Scopus [71], у 2 патентах України на корисні моделі [56, 57] та 8 тезах і матеріалах доповідей на міжнародних конференціях [58–65, 69].

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, основних висновків, шести додатків та бібліографічного списку із 135 найменувань. Загальний обсяг дисертації складає 232 сторінки, з яких основний зміст викладений на 147 сторінках друкованого тексту, містить 25 таблиць та 63 рисунки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прокис Д. Цифровая связь / Джон Прокис ; [под ред. Д. Д. Кловского]. – М. : Радио и связь, 2000. – 800 с.
2. Основи побудови засобів та систем телекомунікації : навч. посібн. / В. М. Кичак, С. Т. Барась, О. С. Городецька, Ю. І. Кравцов. – Вінниця, 2010. – 186 с.
3. Бакланов И. Г. Технологии измерений первичной сети. Часть 2. Системы синхронизации, В-ISDN, АТМ / И. Г. Бакланов. – М. : Эко-Трендз, 2000. – 186 с.
4. Канаков В. А. Новые технологии измерения в цифровых каналах передачи информации. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации "Современные системы мобильной цифровой связи, проблемы помехозащищенности и защиты информации" / В. А. Канаков. – Нижний Новгород, 2006. – 91 с.
5. Сикарев А. А. Оптимальный приём дискретных сообщений / А. А. Сикарев, А. И. Фалько. – М. : Связь, 1978. – 328 с.
6. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М. : Вильямс, 2004. – 1098 с.
7. Зюко А. Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи / А. Г. Зюко. – М. : Связь, 1972. – 360 с.
8. Банкет В. Л. Дискретная математика в задачах теории цифровой связи : учебн. Пособие / В. Л. Банкет. – Одесса : ОНАС, 2008. – 118 с.
9. Proakis John. Digital Communications / Proakis John, Salehi Massoud. – New York : McGraw-Hill Education, 2007. – 1168 p.
10. Боккер П. Передача данных: Техника связи в системах телеобработки данных. В 2-х томах. Том 2. Устройства и системы : пер. с нем. / П. Боккер ; [Под ред. Д. Д. Кловского]. – М. : Радио и связь, 1981. – 256 с.

11. Типикин А. П. Коррекция ошибок в оптических накопителях информации / А. П. Типикин, В. В. Петров, А. Г. Бабанин. – Киев : Наукова думка, 1990. – 172 с.
12. Тихонов В. И. Оптимальный приём сигналов / В. И. Тихонов. – М. : Радио и связь, 1983. – 320 с.
13. Иванов А. Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А. Б. Иванов. – М. : Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999. – 672 с.
14. Назаров А. Н. АТМ: Технологии высокоскоростных сетей / А. Н. Назаров, М. В. Симонов. – М. : Эко-Трендз, 1997. – 163 с.
15. Слепов Н. Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (АТМ, РDН, SDН, SONЕТ и WDM) / Н. Н. Слепов. – М. : Радио и связь, 2003. – 468 с.
16. Tri T. На Digital Satellite Communications / Т. На Tri. – New York : – McGraw-Hill Publishing Company, 1990. – 468 p. – ISBN-10: 0070253897.
17. Redd J. Calculating Statistical Confidence Levels for Error-Probability Estimates / J. Redd // Lightwave, 2000. – April 1. – P. 110–114.
18. Wolaver D. H. Measure Error Rates Quickly and Accurately / D. H. Wolaver // Electronic Design, 1995. – May 30. – P. 89–98.
19. Шляпоберский В. И. Основы техники передачи дискретных сообщений / В. И. Шляпоберский. – М. : Связь, 1973. – 480 с.
20. Основи техніки передавання інформації / Р. Н. Кветний, М. М. Компанець, С. Г. Кривогубченко, А. Я. Кулик. – Вінниця : ВНТУ, 2001. – 364 с.
21. David R. Smith. Digital Transmission Systems. 3 Edition / Smith R. David – Springer Science+Business Media New-York, 2004. – 808 с.
22. Коричнев Л. П. Статистический контроль каналов связи / Л. П. Коричнев, В. Д. Королев. – М. : Радио и связь, 1989. – 240 с.
23. Бакланов И. Г. ISDN и FRAME RELAY: Технология и практика измерений / И. Г. Бакланов. – М. : Эко-Трендз, 1998. – 240 с.

24. Бакланов И. Г. Тестирование и диагностика систем связи / И. Г. Бакланов. – М. : Эко-Трендз, 2001. – 271 с. – ISBN 5-88405-031-3.
25. Бакланов И. Г. Технологии измерений в современных телекоммуникациях / И. Г. Бакланов – М. : Эко-Трендз, 1997. – 139 с.
26. Peyton Z. Digital Communication Systems / Z. Peyton Jr. Peebles. Prentice-Hall, Inc., 1987. – 416 p.
27. Roger L. Freeman. Fundamentals of Telecommunications / Freeman L. Roger. – Published by John Wiley & Sons, Inc., 1999. – 676 p. – ISBNs: 0-471-29699-6 (Hardback); – 0-471-22416-2 (Electronic).
28. Захаров И. С. Основные показатели результативности процесса функционирования измерительных систем с переменными параметрами элементов / И. С. Захаров, О. И. Атакищев, А. Г. Сайбель // Телекоммуникации, 2003. – № 7. – С. 2–5.
29. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки : пер. с англ. / Р. Блейхут. – М. : Мир, 1986. – 576 с.
30. Кларк Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: пер. с англ. / Дж. Кларк, Дж. Кейн. – М. : Радио и связь, 1987. – 392 с.
31. Теория кодирования : пер. с японского / Т. Касами, Н. Токура, Ё. Ивадари, Я. Инагаки. – М. : Мир, 1978. – 576 с.
32. Теория информации и кодирование / Б. Б. Самсонов, Е. М., Плохов, А. И. Филоненков, Т. В. Кречет. – Ростов н/Д, 2002. – 288 с. – ISBN 5-222-02240-4.
33. Стиффлер Дж. Теория синхронной связи : пер. с англ. / Стиффлер Дж. Дж. ; [под ред. Б. С. Цыбакова, Э. М. Габидулина]. – М. : Связь, 1975 – 488 с.
34. Колтунов Н. Н. Синхронизация по циклам в цифровых системах связи / Н. Н. Колтунов, В. Г. Коновалов, З. И. Лангуров. – М. : Связь, 1980. – 151 с.
35. ITU Recommendation G.821 // End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections.

SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital networks – Quality and availability targets. ITU-T. (www.itu.org).

36. ITU Recommendation G.826 // Error performance of an international digital connection operating at a bit rate below the primary rate and forming part of an Integrated Services Digital Network. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital networks – Quality and availability targets. ITU-T. (www.itu.org).

37. ITU Recommendation G.822 // Controlled slip rate objectives on an International digital connection. ITU-T. (www.itu.org).

38. Hu Zhengbing. Increasing the Data Transmission Robustness in WSN Using the Modified Error Correction Codes on Residue Number System / Hu Zhengbing, V. Yatskiv, A. Sachenko // *Elektronika or Elektrotehnika*, 2015. – Vol 21. – № 1. – P. 76–81.

39. David L. Mills. Internet Time Synchronization: The Network Time Protocol / Mills. L. David // *IEEE Transactions on Communications*, 1991. – № 10, October. – vol. 39.

40. American National Standard for Telecommunications. "Synchronization Interface Standards for Digital Networks". ANSI T1. 101 1994.

41. Abate J. E. AT&T's New Approach to the Synchronization of Telecommunication Networks / J. E Abate // *IEEE Communications Magazine*, 1989. – № 4, April. – vol. 27.

42. Yatskiv V. Improved Data Communication in WSN Using Modular Arithmetic / V. Yatskiv, A. Sachenko, N. Yatskiv // *Wireless Communication and HTW-University of Applied Sciences Berlin : Berlin*, 2010. – P. 39–49.

43. Линдсей В. Системы синхронизации в связи и управлении : пер. с англ. / В. Линдсей ; [под ред. Ю. Н. Бакаева и М. В. Капранова]. – М. : "Сов. Радио", 1978. – 600 с.

44. Лосев В. В. Поиск и декодирование сложных дискретных сигналов / В. В. Лосев, Е. Б. Бродская, В. И. Коржик ; [под ред. В. И. Коржика]. – М. : Радио и связь, 1988. – 224 с.
45. Davidek V. Implementing a Noise Cancellation System with the TMS320C31 / V. Davidek, J. Sika, J. Stusak. – Texas Instruments, Inc., 1996. – 23 с.
46. Трахтман А. М. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах / А. М. Трахтман, В. А. Трахтман. – Рипол Классик, 1975. – 208 с.
47. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – СПб. : Питер, 2012. – 608 с.
48. Lee W. C. Y. Mobile Communications Engineering: Theory and Applications 2nd Edition / William C. Y. Lee. – McGraw-Hill Series on Telecommunications, 1997. – 689 p. – ISBN-10: 0070371032.
49. Лидл Р. Конечные поля: В 2-х т. : пер. с англ. / Р. Лидл, Г. Нидеррайтер. – М. : Мир, 1988. – 392 с.
50. McElice R. J. Finite fields for computer scientists and engineers / Robert J. McElice. – Kluwer Academic Publishers : Boston, 1987. – 208 с. – ISBN 978-1-4613-1983-2.
51. Сарвате Д. В. Взаимокорреляционные свойства псевдослучайных и родственных последовательностей / Д. В. Сарвате, М. Б. Персли // ТИИЭР, 1980, – Т. 68. – № 5. – С. 59–90.
52. Патент № 4158193 США. МПК G08C 025/00; H04L 017/00. Data transmission test set with synchronization detector. / D'Antonio Renato A. – заявлено 06.06.77; N803987; опубл. 12.06.79.
53. Патент № 5282211 США. МПК G06F 11/00. Slip detection during bit-error-rate measurement. I Robert M. Manlick, Matthew L. Fichtenbaum заявлено 15.10.91 N776850; опубл. 25.01.94.
54. Патент № 5392289 США. МПК G06F 11/00; H04L 12/00; H04L 7/00; H03M 13/00. Error rate measurement using a comparison of received and

reconstructed PN sequences. / George R. Varian, Palo Alto, Calif ; заявлено 13.10.93; N136075; опубл. 21.02.95.

55. Патент № 5349611 США. МПК H04L 007/00; H04L 009/00; H04J 003/6. Recovering synchronization in a data stream. / George R. Varian, Palo Alto, Calif- заявлено 13.01.93; N003896; опубл. 20.09.95.

56. Пат. 89368 UA, МПК H03K 19/088. Логічний елемент I-НІ [Текст] / В. В. Стронський, В. Д. Тромсюк; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет - № u201303346 ; заявл. 19.03.2013 ; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8. – 5 с. : кресл.

57. Пат. 83366 UA, МПК H03K 19/08. Логічний елемент [Текст] / В. М. Кичак, В. В. Стронський, В. Д. Тромсюк; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет – № u2013 00762 ; заявл. 22.01.2013 ; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17. – 6 с. : кресл.

58. Кичак В. М. Метод підвищення точності при прийомі частотно-модельованих сигналів / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки” : матер. III Міжнар. наук.-техн. конференції. – Чернівці : ЧНУ, 2013. – С. 27–28. – ISBN 978–617–652–091–7.

59. Кичак В. М. Підвищення завадостійкості при прийомі дискретних сигналів / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (РТПСАС – 2014) : матеріали Міжнар. науково-технічної конференції. – Київ : КПІ, 2014. – С. 183–185. – ISSN 2311-4169.

60. Кичак В. М. Аналіз ефективності цифрових методів модуляції/демо-дуляції / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // Інфокомунікації – сучасність та майбутнє : матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Одеса : ОНАЗ, 2014. – С. 141–145. – ISBN 978-617-582-018-6.

61. Кичак В. М. Алгоритмы контроля параметров битовых ошибок в дискретных каналах связи / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // Технические науки – от теории к практике : сборник статей по материалам XLVIII-XLIX междунар.

научно-практической конференции. – Новосибирск : СИБАК, 2015. – С. 7–11. – ISSN 2308-5991.

62. Kychak V. The principles of control system parameters bit error / V. Kychak, V. Tromsyuk // *Technical Sciences : modern issues and development Prospects : materials of International scientific conference.* – Sheffield : Sheffield, 2015. – P. 116–119. – ISBN 10:1-941655-31-9.

63. Кичак В. М. Особливості формування вхідного бітового потоку для оцінки бітових помилок в дискретних каналах зв'язку / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // *Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (РТПСАС – 2016) : міжнар. наук.-техн. конф.* – Київ : КПІ, 2016. – С. 147–149. – ISSN 2311-4169.

64. Kychak V. Initial data processing algorithms of bit error rate testers / V. Kychak, V. Tromsyuk // *Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science (TCSET'2016) : materials of Proceedings of the International Conference.* – Lviv : Lviv Polytechnic, 2016. – P. 566–568. – ISBN 978-617-607-806-7.

65. Кичак В. М. Підвищення завадостійкості при прийомі ЧМН дискретних сигналів / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // *Всеукр. міжвід. наук. тех. зб. "Радіотехніка".* – 2014. – №178. – С. 24–30. – ISSN 0485-8972.

66. Кичак В. М. Кореляційний метод оцінювання параметрів бітових помилок / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // *Вісник Хмельницького національного університету.* – 2015. – №5. – С. 180–185. – ISSN 2307-5732.

67. Кичак В. М. Позиційний метод оцінювання характеристик бітових помилок / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту. Технічні науки.* – 2016. – № 3. – С. 116–124. – ISSN 1997-9266.

68. Тромсюк В. Д. Оцінювання бітових помилок при різних видах демодуляції дискретних сигналів / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // *Вісник Національного технічного університету України "КПІ".* – 2015. – № 63. – С. 55–63.

69. Кичак В. М. Дослідження роздільної здатності кореляційного і позиційного методів / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП_16_2016) : матер. XVI міжнар. наук.-техн. конф. – Одеса – Хмельницький : ХНУ, 2016. – С. 115–116. – ISBN 978-966-330-236-2.

70. Кичак В. М. Оцінювання роздільної здатності кореляційного та позиційного методів / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2016. – №2. – С. 204–209. – ISSN 2310-0397.

71. Кичак В. М. Метод сортировки относительных позиций синхросимволов по частоте их появления / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // Проблемы управления и информатики. – 2016. – №5. – С. 7–14. – ISSN 0572-2691.

72. Романец Ю. В. Защита информации в компьютерных системах и сетях / Ю. В. Романец, П. А. Тимофеев, В. Ф. Шаньгин. – М.: Радио и связь, 1999. – 328 с.

73. Иванов М. А. Криптографические методы защиты информации в компьютерных системах и сетях / М. А. Иванов. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2001. – 368 с.

74. Су Цзюнь. Повышение эффективности передачи данных в беспроводных сенсорных сетях на основе многопутевой маршрутизации / Су Цзюнь, В. В. Яцкив, А. О. Саченко // Физика, математика, информатика. Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест, 2010. – № 5 (650). – С. 21–24.

75. Aghes H. On the Quadratic Spans of de Bruijn Sequences / Aghes H. Chan, Richard A. Games // IEEE Transactions On Information Theory, vol. 36, No. 4, July 1990. – P. 822–829.

76. Кнут Д. Искусство программирования, том 1. Основные алгоритмы, 3-е изд. : пер. с англ. : уч. пос. / Д. Кнут. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2000. – 720 с.

77. Кнут Д. Искусство программирования, том 3. Сортировка и поиск, 2-е изд. : пер. с англ. : уч. пос. / Д. Кнут. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2000. – 832 с.

78. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. – М. : МЦНМО, 2001. – 960 с.

79. Построение и анализ вычислительных алгоритмов : пер. с англ. / А. Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж. Ульман, Ю. В. Матиясевич. – М. : Мир, 1979. – 536 с.

80. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель – М. : Наука, 1969. – 576 с.

81. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника / Е. П. Угрюмов – СПб. : БХВ-Петербург, 2000. – 528 с.

82. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения: Пер. с англ. / В. Феллер ; [под ред. Е. Б. Дынкина]. – М. : Мир, 1984. – Т.1. – 337 с.

83. Standard ECMA-130. Data interchange on read-only 120 mm optical data disks (CD-ROM). 2nd Edition June 1996. <http://www.ecma-international.org/publications/files/ecma-st/ECMA-130.pdf>

84. Бибило П. Н. Синтез логических схем с использованием языка VHDL / П. Н. Бибило. – М. : СОЛОН-Р, 2002. – 384 с.

85. Суворова Е. А. Проектирование цифровых систем на VHDL / Е. А. Суворова, Ю. Е. Шейнин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 576 с.

86. Parnell K. Programmable Logic Design Quick Handbook. Xilinx Corp / K. Parnell, N. Mentha. – Xilinx, Inc., 2003, – 190 p.

87. Xilinx DS031 Virtex-II Platform FPGAs : Complete Data Sheet. – 2002. – 319 p.

88. Прата С. Язык программирования С. Лекции и упражнения, 5-е издание : пер. с англ. / Стивен Прата. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2006. – 960 с. – ISBN 5-8459-0986-4.

89. Блох Э. Л. Модели источника ошибок в каналах передачи цифровой информации / Э. Л. Блох. – М. : "Связь", 1971. – 312 с.

90. Patrick A. H. Bours. Codes for Correcting Insertion and Deletion Errors / Patrick A. H. Bours – Eindhoven Technical University, June 1994. – 165 p. – DOI: 10.6100/IR418412

91. Edward A. Ratzel Codes for Channels with Insertions, Deletions and Substitutions / Edward A. Ratzel, David J.C. MacKay // 2nd International Symposium on Turbo Codes and Related Topics, Brest, France, 4–7 September – 2000. – 28 p. (<http://www.inference.phy.cam.ac.uk/ear23/papers/telecoms.pdf>)

92. David L. Capacity of Insertion and Deletion Channels / David Leigh // 3rd International Symposium on Turbo Codes and Related Topics, Brest, France, July 23, 2001. – 16 p. (<http://www.inference.eng.cam.ac.uk/is/papers/leigh.pdf>)

93. Кнут Д. Искусство программирования, том 2. Получисленные алгоритмы, 3-е изд.: пер. с англ.: уч. пос. / Д. Кнут – М.: "Вильямс", 2000. – 832 с.

94. Прата С. Язык программирования C++. Лекции и упражнения, 5-е издание : пер. с англ. / Стивен Прата – М. : "Вильямс", 2007. – 1187 с.

95. Brian W. Kernighan Программирование на C / Brian W. Kernighan, Dennis – M. Ritchie. – М. : "Вильямс", 1998. – 984 с.

96. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. Серия "Библиотека профессионала" / В. П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.

97. Якимов Е. В. Цифровая обработка сигналов / Е. В. Якимов, Г. В. Вавилова, И. А. Клубович. – Томск : Томский политехнический университет, 2008. – 308 с. – ISBN 5-98298-326-6

98. Методы обработки сигналов при наличии помех в линиях связи / К. Ф. Каменев, Н. Е. Кириллов, Н. И. Кобин, В. К. Кульчицкий. – М. : Радио и связь, 1985. – 224 с.

99. Sun K. An Improved Time-Frequency Analysis Method in Interference Detection for GNSS Receivers / Kewen Sun, Tian Jin, Dongkai Yang // Sensors –

Academic Editor : Wilmar Hernandez, 21 April 2015. – №15. – P 9404-9426.
– ISSN 1424-8220

100. Benesty J. Conceptual Framework for Noise Reduction / J. Benesty, J. A. Chen – N.-Y. : Springer, 2015. – 89 p. – DOI 10.1007/978-3-319-12955-6_1

101. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин. – М. : Радио и связь, 1989. – 656 с.

102. Куприянов М. С. Цифровая обработка сигналов: алгоритмы, процессоры, средства проектирования. -2-е изд., перераб. и доп. / М. С. Куприянов, Б. Д. Матюшкин. – СПб. : Политехника, 1999. – 592 с.

103. Андрианов А. В. Линейное предсказание и его применение в радиотехнике / А. В. Андрианов // Радиотехника, 1981. – Т. 36, –№ 1. – С. 11-18.

104. Коратаев Г. А. Методы линейного предсказания / Г. А. Коратаев // Зарубежная радиоэлектроника, 1980. – № 10. – С. 49–65.

105. Lei Xu. Blind multipath channel equalization based on eigenvector decomposition / Lei Xu, Liu Lijuan, Xu Chongyang. – Compel. Bradford : – 2004. Vol. 23, Iss. 1; – P. 277.

106. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов. Практический подход / Э. Айфичер, Б. Джервис. – М. : "Вильямс", 2004. – 992 с.

107. Тараканов А. Н. Адаптивная цифровая обработка сигналов: учебное пособие / А. Н. Тараканов, В. В. Хрящев, А. Л. Приоров. – Ярославль : ЯрГУ, 2001. – 134 с.

108. Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: Теория и алгоритмы / В. И. Джиган. – М. : Техносфера, 2013. – 528 с.

109. A. Sudhir Babu. Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels under Various Modulation Schemes / A. Sudhir Babu, Dr. K.V Sambasiva Rao // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 26. – No 9, July 2011.

110. Deepak K. Chy. Evaluation of SNR for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels Under DPSK Modulation Scheme with Constant BER / Deepak K.

Chy , Md. Khaliluzzaman // International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing (2330-1007) Volume 6 – № 6, February 6, 2015. – P. 7–12.

111. James E. Gilley. Bit-Error-Rate Simulation Using Matlab / James E. Gilley // Transkrypt international, INC., August 19, 2003, – P. 1–8.

112. Левин И. И. Современные высокопроизводительные вычислительные системы с реконфигурируемой архитектурой на основе ПЛИС Xilinx Virtex-7 и Virtex UltraScale / И. И. Левин, А. И. Дордуполо, И.А. Каляев, Ю. И. Доронченко // Russian Supercomputing Days 2015, 2015 – №1. – С.435–446.

113. <http://www.mathworks.com/> Интернет-сайт компании Math-Works.

114. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / А. Г. Зюко, А. И. Фалько, И. П. Панфилов и др. ; [под ред. А. Г. Зюко]. – М. : Радио и связь, 1985. – 272 с.

115. Bortnik G. Correction of clock jitter in analog-digital equipment of telecommunication systems / G. Bortnik, M. Vasylykivskyj, V. Cheloyan Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science – Proceedings of the 10th International Conference, TCSET'2010. – 2010. – P. 221.

116. Сукачев Э. А. Введение в теорию сигналов с управляемой межсимвольной интерференцией. Монография / Э. А. Сукачев, П. А. Шкулипа. – Одесса : ВМВ, 2011. – 200 с.

117. Кулик А. Я. Концепція роботи систем мобільного зв'язку 3G із застосуванням алгебри логарифма функції правдоподібності для алгоритму декодування Vi-SOVA / А. Я. Кулик, Ю. Ю. Іванов // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – 2013. – № 18 (206). – С. 84-91.

118. Сверхширокополосные скрытные системы радиосвязи: тр. Всеросс. научн.-техн. дист. конф. "Информационно-телекоммуникационные технологии" [Электронный ресурс] / В. И. Гусевский, Л. А. Белов. – М. : МАИ, 2003. – Режим доступа : <http://conf2003.mail.ru/index.php?module=articles>

119. Харкевич А. А. Борьба с помехами. / А. А. Харкевич – М. : Наука, 1965. – 276 с.
120. Кузьмин И. В. Основы теории информации и кодирования: учебн. [для студ. высш. уч. зав.]/И. В. Кузьмин, В. А. Кедрус. – К. : Вища школа, 1986 – 238 с.
121. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений / Л. М. Финк. – М. : Советское радио, 1970. – 728 с.
122. Филатов В. А. О моделях обработки данных на основе иерархии сетей высокого уровня / В. А. Филатов, В. Е. Кучеренко // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління, 2004. – № 1. – С. 95–100.
123. Экстремальная радионавигация / И. Н. Белоглазов, Г. А. Медведев, Р. И. Половников и др. ; [под ред. Р. И. Половникова, В. П. Тарасенко]. – М. : Наука, 1978. – 280 с.
124. Идентификация статистических параметров в одной модели условной независимости [Электронный ресурс] / М. И. Шлезингер. – Режим доступа : <http://www.irte.org.ua/image>
125. Васильев К. К. Методы обработки сигналов / К. К. Васильев. – Ульяновск : УлГТУ, 2001. – 80 с.
126. Кветный Р. Н. Математическое моделирование в задачах проектирования средств автоматики и информационно-измерительной техники: уч пос. [для студ. высш. уч. зав.] / Р. Н. Кветный. – К. : УМК ВО, 1989. – 112 с.
127. Кулик А. Я. Приймання інформативних сигналів на фоні завад з апріорно невизначеними параметрами / А. Я. Кулик // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2006. – № 1(24). – С. 103–106.
128. Мокін Б. І. Методи ідентифікації електромеханічних процесів у лінійних системах: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 240 с.

129. Мокін Б. І. Методи ідентифікації електромеханічних процесів: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 300 с.

130. Ларіонов Ю. І. Дослідження операцій в інформаційних системах: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / Ю. І. Ларіонов, В. М. Левикін, М. А. Хажмурадов. – Харків : СМІТ, 2005. – 364 с.

131. Коржик В. И. Расчёт помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: справочник / В. И. Коржик, Л. М. Финк, К. Н. Щелкунов. – М. : Радио и связь, 1981. – 232 с.

132. Техніка передавання аналогової та дискретної інформації: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / Васюра А. С., Кривогубченко С. Г., Кулик А. Я. та ін. – Вінниця: ВДТУ, 1998. – 101 с.

133. Сравнительный анализ приближений для вероятности обнаружения радиолокационных сигналов [Электронный ресурс] / Р.С. Аносов, С.С. Аносов // Журнал радиоэлектроники. – 2000. – № 8. – Режим доступа до журн. : <http://jre.cplire.ru/jre/aug00/4/text.html>

134. Ван Трис Г. Теория обработки оценок и модуляции (В 3-х томах) / Пер. с англ. / Г. Ван Трис. – М. : Советское радио, 1972.

135. Optimization of process of exchange information in the computer systems: Materialy IV mezinarodni vedecko-prakticka conference “Zpravy Vedecke IDEJE-2008”, Praha, 27.10 – 05.11.2008 / A.J. Kulyk, D.S. Krivogubtchenko, A.A. Kulyk. – Praha : Education and Science s.r.o., 2008. – Dil 11. – P. 106–10.