



Семенко Анатолій Іваріонович - доктор технічних наук, професор, академік академії зв'язку України і Міжнародної академії інформатизації, академік академії наук вищої школи України, лауреат Державної премії СРСР.

Професор кафедри комп'ютерних наук та програмної інженерії Європейського університету.

Автор понад 90 наукових статей, 7 монографій, 7 патентів України.

Області наукових інтересів: інфокомунікаційні та комп'ютерні мережі, безпроводні телекомунікаційні системи, широкосмугові системи з підвищеною секретністю передачі інформації.



Бойко Юлій Миколайович - доктор технічних наук, професор, дійсний член академії інженерних наук України, член наукової експертної ради МОН України за фаховими напрямками по секції №5 «Електроніка, радіотехніка та телекомунікації», експерт з акредитації освітніх програм Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти.

Професор кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій Хмельницького національного університету.

Автор понад 100 наукових статей, 7 монографій, 10 патентів України.

Області наукових інтересів: обробка сигналів, синхронізація, телекомунікації, кодування, захист інформації, електронні компоненти.



Шлур Ольга Миколаївна - кандидат технічних наук.

Доцент кафедри інформаційних та комунікаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка».

Відповідальний секретар наукового журналу «Information and communication technologies, electronic engineering».

Автор понад 50 наукових статей.

Області наукових інтересів: дослідження методів та моделей інтеграції складних розподілених сервісних систем для надання послуг у гетерогенних інфокомунікаційних мережах.



Стрелковська Ірина Вікторівна - доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, IEEE Senior member, академік академії зв'язку України і Міжнародної академії інформатизації, академік наук прикладної радіоелектроніки, науковий лідер України Національного народного рейтингу 2024.

Декан факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук Міжнародного гуманітарного університету.

Автор понад 125 наукових статей, 8 підручників з грифом Міністерства освіти і науки України, 2 підручників з грифом Міністерства транспорту та зв'язку України, 14 монографій (з яких 1 видана за кордоном) та 12 розділів у 9 Springer-books, 4 патенти України.

Сфера наукових інтересів: дослідження аналітичних сплайнів в областях з квазіконформною границею, застосування сплайн- та вейвлет-апарату, тензорного аналізу в інфокомунікаційних технологіях.



Корчинський Володимир Вікторович - доктор технічних наук, професор.

Завідувач кафедри кібербезпеки і технічного захисту інформації Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку.

Автор понад 90 наукових статей, 3 монографій, патенту України.

Області наукових інтересів: кібербезпека та захист інформації, інфокомунікаційні та комп'ютерні мережі, безпроводні телекомунікаційні системи, широкосмугові системи з підвищеною секретністю передачі інформації.



Яровий Роман Олександрович - кандидат технічних наук, доцент.

Декан факультету інформаційних систем та технологій Європейського університету.

Автор понад 90 наукових статей.

Області наукових інтересів: інформаційні системи та технології, комп'ютерні системи та мережі, програмна інженерія.

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

A.I. СЕМЕНКО, Ю.М.БОЙКО, О.М.ШПУР, І.В.СТРЕЛКОВСЬКА,
В.В.КОРЧИНСЬКИЙ, Р.О.ЯРОВИЙ



ЄВРОПЕЙСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КИЇВ - 2024

**А.І. СЕМЕНКО, Ю.М.БОЙКО, О.М.ШПУР, І.В.СТРЕЛКОВСЬКА,
В.В.КОРЧИНСЬКИЙ, Р.О. ЯРОВИЙ**

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА
КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ**

Монографія

Наукове видання

**За загальною науковою редакцією доктора технічних наук професора
Семенка А.І.**

**ANATOLY SEMENKO, YULIUS BOIKO, OLHA SHPUR, IRINA STRELKOVSKA,
VLADIMIR KORCHISKY, ROMAN YAROVIIY**

КИЇВ 2024

УДК 621.395.721.5:004.77

ББК 32.884.1

С 91

*Рекомендовано до друку Вченою радою
ПВНЗ «Європейський університет»
(протокол № 6 від 15 жовтня 2024 р.).*

Рецензенти:

д.т.н. проф. Лунтовський А.О., професор кафедри інформаційної безпеки та передачі даних відділення ІТ університету «Беруфсакадемія» Саксонської Академії, Дрезден, Німеччина;

д.т.н. проф. Уривський Л.О., професор кафедри електронних комунікацій і інтернету речей Національного університету «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна;

д.т.н. проф. Климаш М.М., завідувач кафедри інформаційно-комунікаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка», Львів, Україна.

Сучасні технології інфокомунікаційних та комп'ютерних мереж: колективна монографія/ За загальною науковою редакцією А.І.Семенка.-Київ: Європейський університет, ФО-П Білецький Р.Г., 2024.- 557 с.

ISBN 978-617-853-009-9

У монографії в систематизованому вигляді викладені теоретичні основи досліджень і прикладні аспекти проектування інфокомунікаційних та комп'ютерних систем і мереж. Викладена у книзі інформація стане базисом для наукових працівників і фахівців в галузі *інфокомунікаційних та комп'ютерних технологій, а також для студентів всіх трьох рівнів вищої освіти.*

The monograph systematically presents the theoretical foundations of research and applied aspects of designing infocommunication and computer systems and networks. The information presented will become a basis for researchers and specialists in the field of infocommunication and computer technologies, as well as for students of all three levels of higher education.

*Присвячується світлій пам'яті видатного вченого України в галузі телекомунікацій доктора технічних наук професора **Захарченка Миколи Васильовича** (1937-2024 рр.).*

37 років (1981-2018 рр.) незмінний проректор з навчальної роботи Одеської Національної академії зв'язку ім.О.С.Попова . Видав 23 монографії, навчальних посібники, підручники. Підготував 52 кандидатів і докторів технічних наук. Вперше запропонував таймерні сигнали в телекомунікаціях.

УДК 621.395.721.5:004.77

ISBN 978-617-853-009-9

© А.І. Семенко, Ю.М.Бойко, О.М.Шпур,
І.В.Стрелковська, В.В.Корчинський, Р.О.Яровий,
Європейський університет , 2024 .

ГЛАВА 1. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ ТКС	9
1.1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИГНАЛІВ	9
1.2. ВИДИ МОДУЛЯЦІЇ СИГНАЛУ	17
1.3. ПЕРЕДАЧА СИГНАЛІВ ЧЕРЕЗ ЛІНІЙНУ СИСТЕМУ	21
1.4. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТКС	26
1.5. ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ	31
1.6. СПЕЦІАЛЬНІ ТКС	44
1.7. ІЄРАРХІЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ.....	50
1.8. ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ	60
1.9. НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ТКС	62
ГЛАВА 2. ПСЕВДОВИПАДКОВІ ПОСЛІДОВНОСТІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ШИРОКОСМУГОВОГО СИГНАЛУ	67
2.1. КОРЕЛЯЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛІВ	67
2.2. ВИДИ ПВП	69
2.2.1. М-последовності	70
2.2.2. Класичні ПВП Голда	71
2.2.3. Модифіковані ПВП Голда.....	73
2.2.4. ПВП Касамі.....	78
2.2.5. ПВП на основі хаосу.....	80
2.2.5. ПВП УОЛША.....	88
ГЛАВА 3. ВИКОРИСТАННЯ ШИРОКОСМУГОВОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ПОБУДОВИ ТКС	90
3.1. ПЕРЕВАГИ СИСТЕМ З ШИРОКОСМУГОВИМ СИГНАЛОМ	90
3.2. СУПУТНИКОВА СИСТЕМА ЗВ'ЯЗКУ З ШИРОКОСМУГОВИМ СИГНАЛОМ.....	94
3.3. ТКС З ПІДВИЩЕНОЮ КОНФІДЕНЦІЙНІСТЮ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ	96
ГЛАВА 4. МЕТОДИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЙМАННЯ СИГНАЛУ	98
4.1. ШУМИ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ.....	98
4.2. ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛУ НА ФОНІ ШУМУ.....	100
4.3. КЛАСИЧНІ МЕТОДИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЙМАННЯ СИГНАЛУ	106
4.3.1. Використання узгодженого фільтра для оптимального приймання сигналу	106
4.3.2. Кореляційне приймання сигналів.....	111
4.4. ВИКОРИСТАННЯ RAKE-ПРИЙМАЧА	113
4.5. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ OFDM.....	115
4.6. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МІМО.....	132
4.7. КОМПЛЕКСНА ОПТИМІЗАЦІЯ ТКС	136
ГЛАВА 5. ЗАВАДОСТІЙКЕ КОДУВАННЯ СИГНАЛУ	140
5.1. ПАРАМЕТРИ КОДІВ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ	140
5.2. ПРИНЦИПИ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОДОВОЇ НАДЛИШКОВОСТІ В КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ.....	146
5.3 ВИДИ ЗАВАДОСТІЙКИХ КОДІВ	150
5.3.1 Лінійні двійкові блокові коди	150
5.3.2 Методика формування та дослідження телекомунікаційного каналу передачі інформації із завадостійким кодуванням	165
5.3.3 Циклічні коди	169
5.3.4. Формування завадостійких сигнально-кодових конструкцій у електронних комунікаціях на прикладі каналу з турбо-кодуванням. Можливості турбо-кодів підвищення завадостійкості електронних комунікацій.....	174
5.4 LDPC КОДИ.....	183
5.4.1 Формат каналу зв'язку з кодами LDPC	183
5.4.2 Загальний опис LDPC-кодів.....	184
5.4.3 LDPC-коди та протограф	187

5.4.4	Квазіциклічні QC-LDPC коди.....	189
5.4.5	Специфіка кодування та декодування LDPC кодів.....	192
5.5	ПОЛЯРНІ КОДИ.....	197
5.5.1	Концепція поляризації каналу.....	197
5.5.2	Особливості декодування полярних кодів.....	200
5.6	ФОРМУВАННЯ ОЦІНОЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ В ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЯХ.....	203
5.7	КОДУВАННЯ МОВНОГО СИГНАЛУ.....	205
ГЛАВА 6. ПІДВИЩЕННЯ ПРИХОВАНОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....		207
6.1	СТРУКТУРНА ПРИХОВАНІСТЬ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	207
6.2	ІНФОРМАЦІЙНА ПРИХОВАНІСТЬ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	213
6.3	СТРУКТУРНА ПРИХОВАНІСТЬ СИГНАЛІВ ПРИ СПІЛЬНОМУ ВИКОРИСТАННІ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ І ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ.....	214
6.4	ПРИХОВАНІСТЬ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ СУМІСНОМУ ВИКОРИСТАННІ ХАОТИЧНИХ І ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛІВ.....	215
6.5	ПІДВИЩЕННЯ ПРИХОВАНОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ПСЕВДОВИПАДКОВІЙ ПЕРЕБУДОВІ РОБОЧОЇ ЧАСТОТИ Й ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛІВ.....	224
6.6	ПІДВИЩЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ПРИХОВАНОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОРІВНЕВИХ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	226
ГЛАВА 7. БЕЗПРОВІДНІ ТКС.....		228
7.1	ФІЗИЧНА ОСНОВА СТВОРЕННЯ БЕЗПРОВІДНИХ ТКС.....	228
7.2	ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІОХВИЛЬ.....	230
7.3	АНТЕННІ ПРИСТРОЇ.....	232
7.4	ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ.....	247
7.5	ВИДИ БЕЗПРОВІДНИХ ТКС.....	255
7.5.1	Загальна характеристика безпровідних ТКС.....	255
7.5.2	Системи короткохвильового зв'язку.....	256
7.5.3	Системи транкінгового радіозв'язку.....	258
7.5.4	Системи зв'язку на основі стандарту DECT.....	264
7.5.5	Системи зв'язку на основі технології WiFi.....	265
7.5.6	Системи зв'язку на основі технології WIMAX.....	270
7.5.7	Використання технології LiFi при побудові ТКС.....	275
7.6	РАДІОРЕЛЕЙНІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ.....	276
7.7	МОБІЛЬНІ ЦИФРОВІ КОМБІНОВАНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СТАНЦІЇ НВЧ ДІАПАЗОНУ.....	284
7.7.1	Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція.....	284
7.7.2	Мобільна цифрова тропосферно-іоносферна станція.....	290
7.8	СУПУТНИКОВІ ТКС.....	293
7.8.1	Особливості систем супутникового зв'язку.....	293
7.8.2	Глобальні системи супутникового зв'язку.....	295
7.8.3	Супутникові навігаційні системи.....	299
7.8.4	Спеціальні системи супутникового зв'язку.....	301
7.9	СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ.....	303
7.9.1	Принципи побудови систем мобільного зв'язку.....	303
7.9.2	ТКС стандарту GSM.....	308
7.9.3	ТКС з розділенням каналів CDMA.....	319
7.9.4	Використання фемтокомірок в системі мобільного зв'язку.....	326
7.9.5	Системи мобільного зв'язку LTE.....	330
7.9.6	Еволюція систем мобільного зв'язку.....	337
7.9.7	Системи супутникового мобільного зв'язку.....	340

7.9.8. Використання системи супутникового зв'язку для передачі сигналів точного часу	348
7.9.9. Безпроводні коміркові мережі	354
ГЛАВА 8. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	360
8.1. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	360
8.1.1. Взаємозв'язок ділових цілей замовника і завдань проєкту мережі	361
8.1.2. Визначення обсягу мережного проєкту та можливостей його реалізації	363
8.1.3. Аналіз ділових обмежень при реалізації проєкту	365
8.2. ВЗАЄМОЗ'ЯЗОК ТЕХНІЧНИХ ЦІЛЕЙ ЗАМОВНИКА І ЗАВДАНЬ ПРОЄКТУ	367
8.2.1. Визначення технічних цілей	367
8.2.2. Досягнення компромісів у технічних вимогах до мережного проєкту	378
8.3. ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄДНАННЯ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПРИ СТВОРЕННІ ПРОЄКТУ	380
8.3.1. Характеризація наявної мережної інфраструктури	380
8.3.2. Характеризація потоків трафіку для нових мережних застосувань	386
8.3.3. Прогнозування навантаження трафіком та розвитку мережі	391
8.3.4. Засоби та методи інженерії трафіку	394
8.4. ВИБІР МЕРЕЖНИХ ТОПОЛОГІЙ НА РЕАЛІЗАЦІЮ ПРОЄКТУ	396
8.4.1. Порівняння плоскої та ієрархічної топологій	396
8.4.2. Проєктування топології мереж з надлишковістю	399
8.4.3. Проєктування модульних мереж	400
8.4.4. Проєктування топології мережі кампусу	402
8.4.5. Рекомендації щодо проєктування мережі з ієрархічною топологією	403
8.5. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ МЕРЕЖНОГО ПЛАНУВАННЯ	404
8.5.1. Рівні мережного планування	404
8.5.2. Послідовність мережного планування і проєктування	405
ГЛАВА 9. СПЕЦІАЛЬНІ МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ І СИНТЕЗУ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	408
9.1. МЕТОДИ СПЛАЙН-ФУНКЦІЙ У ЗАДАЧАХ АПРОКСИМАЦІЇ ПРИ АНАЛІЗІ І СИНТЕЗІ МОДЕЛЕЙ	408
9.1.1. Поліноміальні сплайни. Способи надання. Інтерполяція сплайнів	410
9.1.2. Кубічні сплайни класу C^2	413
9.2. НАБЛИЖЕНЕ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ	417
9.3. НАБЛИЖЕНЕ РОЗВ'ЯЗАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ РІВНЯНЬ	423
9.4. ЗАСТОСУВАННЯ ДІЙСНИХ ТА КОМПЛЕКСНИХ СПЛАЙНІВ В ЗАДАЧАХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙ	427
9.4.1. Задача відновлення сигналу $f(x)$ за допомогою кубічних сплайнів	428
9.4.2. Задача відновлення стану мережних елементів RTP/RTCP	429
9.4.3. Задача апроксимації спектральних характеристик сигналу	431
9.4.4. Задача прогнозування характеристик відеотрафіку	433
9.4.5. Прогнозування телематичних даних IoT-пристроїв	437
9.4.6. Прогнозування графіка кібератак типу DDoS з використанням сплайн-функцій	438
9.4.7. Використання лінійних комплексних сплайнів для прогнозування користувачів в мережі WiFi /Indoor	439
9.5. ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТІВ У ЗАДАЧАХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ	441
9.5.1. Особливості використання вейвлетів	441
9.5.2. Відновлення сигналу за допомогою вейвлет-функцій	444
9.5.3. Аналіз результатів відновлення неперервних сигналів за допомогою різних апроксимуючих функцій	448
9.5.4. Порівняльний аналіз методів вейвлет- та сплайн-інтерполяції в задачах прогнозування самоподібного трафіку	450
ГЛАВА 10. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	456

10.1. ЗАГАЛЬНІ ВИЗНАЧЕННЯ.....	456
10.2. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ ...	457
10.2.1. Модель OSI	457
10.2.2. Стек протоколів TCP / IP.....	460
10.2.3. Топології комп'ютерних мереж.....	461
10.2.4. Види комутації в комп'ютерних мережах	462
10.2.5. Види комп'ютерних мереж	465
10.2.6. Технології Інтернет	469
10.2.7. Технології Ethernet	471
10.2.8. Технології мережі SDN.....	475
10.2.9. Технології MPLS	478
10.2.10. Мультисервісні платформи	482
10.2.11. Хмарні обчислення	485
10.2.12. Використання мережі електроживлення для створення комп'ютерних мереж	487
10.2.13. Забезпечення якісних характеристик мережі.....	490
10.2.14. Продукти компанії CISCO для комп'ютерних мереж	492
10.3. АПАРАТНІ ЗАСОБИ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	495
10.3.1. Мережеве обладнання	495
10.3.2. Кабелі	502
10.3.3. Цифрові системи комутації.....	505
10.3.4. Суперкомп'ютери	511
10.4. АКТУАЛЬНІ ПРАКТИЧНІ КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ.....	514
10.4.1. Корпоративні мережі	514
10.4.2. Мережі відеоконференц зв'язку	516
10.4.3. Мережі відеоспостережень.....	518
10.4.4. Мережі безпеки авіаційного транспорту.....	522
10.4.5. Мережі безпеки морського транспорту.....	528
10.4.6. Мережі «розумний будинок»	532
10.4.7. Безпроводні сенсорні мережі	539
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	542
ДОДАТОК 1. ГАУССІВ ІНТЕГРАЛ ПОМИЛОК.....	556

ПЕРЕДМОВА

На даному етапі розвитку наукових досліджень і розробок в світі особлива увага приділяється тематичі телекомунікаційних та комп'ютерних технологій. При цьому важливими завданнями є забезпечення необхідних характеристик систем завдяки використанню новітніх наукових результатів та електронних компонентів.

Основною вимогою щодо достовірності та якості передачі інформації в системах слід вважати мінімальну ймовірність бітової помилки приймання сигналу при наявному рівні завад, які неодмінно діють в каналі передачі сигналу. При цьому важливо використовувати мінімальну потужність передавача, високу завадозахищеність та завадостійкість системи, скритність передачі інформації, електромагнітну сумісність системи з поряд працюючими електронними пристроями. В значній мірі виконанню вказаних вимог сприяє оптимальне приймання відповідно спеціально сформованого сигналу в приймачі, зокрема використання сучасних методів кодування та обробки сигналу.

Розглядаються класичні методи оптимального приймання сигналу, зокрема автокореляційне та кореляційне приймання сигналу, використання узгодженого фільтра. При цьому наводяться особливості формування та переваги широкосмугового сигналу.

Особлива увага приділяється спеціальним методам оптимального приймання багатопроменевого сигналу з використанням RAKE – приймача, еквайзера, сигналу з OFDM – модуляцією, комплексної оптимізації приймання сигналу. Розглядаються також спеціальні математичні методи аналізу та синтезу інфокомунікаційних та комп'ютерних мереж з використанням сплай-функцій та вейвлет-функцій.

Показані переваги систем з широкосмуговим сигналом, що створюються завдяки використанню модулюючих псевдовипадкових послідовностей.

Особлива увага приділена дослідженню та використанню безпроводних систем, які забезпечують понад 60% трафіку передачі інформації. Це системи ультракороткохвильового та транкінгового зв'язку, системи радіорелейного та комбінованого радіорелейно-тропосферно-іоносферного зв'язку, системи супутникового зв'язку, системи мобільного зв'язку, у тому числі системи за технологією LTE.

В монографії наведені нові результати проєктування інфокомунікаційних систем з підвищеною скритністю передачі інформації при використанні псевдовипадкових послідовностей на основі хаосу та таймерних сигнальних конструкцій.

В Україні в законодавчому порядку вимагається використання державної української мови у всіх сферах діяльності організацій та підприємств. МОН України ставить вимоги до розробки навчальних програм вищих навчальних закладів та матеріалів наукових досліджень виключно на українській мові. Але наявна наукова спеціальна література була видана на російській мові за радянських часів, а україномовних джерел бракує. Тому видання запропонованої україномовної багатопрофільної монографії на українській мові з інфокомунікаційних та комп'ютерних мереж слід вважати своєчасною, важливою та корисною подією в науковому просторі України.

Матеріали монографії підготували: Семенко А.І.- глави 1,2, крім розділів 2.2.1,2.2.2,2.2.4, глави 3,4, крім розділу 4.5, глава 7, крім розділів 7.7.1, 7.7.2, 7.9.8; Бойко Ю.М.- глава 5, розділ 4.5; Шпур О.М.-глава 8; Стрелковська І.В.-глава 9; Корчинський В.В.-глава 6; Яровий Р.О.-глава 10; Бокла Н.І.-розділи 2.2.1,2.2.2,2.2.4; Почерняев В.М.-розділ 7.7.1; Сівкова Н.М.-розділ 7.7.2; Гайдаманчук В.А.-розділ 7.9.8.

Викладені в монографії в єдиному комплексі матеріали призначені для студентів всіх трьох рівнів вищої освіти при вивченні дисциплін за спеціальностями 122 «Комп'ютерні науки та інформаційні технології», 123 «Комп'ютерна інженерія», 125 «Кібербезпека», 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» (або ж F3 «Комп'ютерні науки», F5 «Кібербезпека та захист інформації», F6 «Інформаційні системи і технології», F7 «Комп'ютерна інженерія», G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка» відповідно до змін у переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №1021 від 24 серпня 2024 р.), а також можуть бути корисними науковцям та інженерам при вивченні, дослідженнях, розробці та експлуатації інфокомунікаційних та комп'ютерних мереж з оптимальним прийманням та обробкою сигналу.

Науковий редактор доктор технічних наук, професор

Семенко А.І.

PREFACE

At this stage of the development of scientific research and development in the world, special attention is paid to the topic of telecommunications and computer technologies. At the same time, important tasks are to ensure the necessary system characteristics thanks to the use of the latest scientific results and electronic components.

The basic requirement for the reliability and quality of information transmission to systems should be considered the minimum probability of a bit error of signal reception at the existing level of interference, which necessarily operates in the signal transmission channel. At the same time, it is important to use the minimum power of the transmitter, high immunity, and interference resistance of the system, secrecy of information transmission, electromagnetic compatibility of the system with electronic devices working nearby. To a large extent, the optimal reception of a specially formed signal in the receiver contributes to the fulfillment of the specified requirements, in particular, the use of modern methods of coding and signal processing.

Classical methods of optimal signal reception are considered, in particular, autocorrelation and correlation signal reception, the use of a matched filter. At the same time, the peculiarities of broadband signal formation and advantages are given.

Special attention is paid to special methods of optimal reception of a multibeam signal using a RAKE receiver, equalizer, signal with OFDM modulation, complex optimization of signal reception. Special mathematical methods of analysis and synthesis of information communication and computer networks using splice functions and wavelet functions.

The advantages of systems with a broadband signal, which are created thanks to the use of modulating pseudorandom sequences, are shown.

Special attention is paid to the research and use of wireless systems, which provide more than 60% of the information transmission traffic. These are ultra-shortwave and trunking communication systems, radio relay and combined radio relay-tropospheric-ionospheric communication systems, satellite communication systems, mobile communication systems, including LTE technology systems.

The monograph presents new results of designing information communication systems with increased secrecy of information transmission when using pseudo-random sequences based on chaos and timer signal structures.

In Ukraine, the use of the state Ukrainian language is required by law in all spheres of activity of organizations and enterprises. The Ministry of Education and Culture of Ukraine sets requirements for the development of educational programs of higher educational institutions and scientific research materials exclusively in the Ukrainian language. But the available scientific special literature was published in Russian during the Soviet era, and Ukrainian-language sources are lacking. Therefore, the publication of the proposed Ukrainian-language multi-volume monograph on information communication and computer networks should be considered a timely, important and useful event in the scientific space of Ukraine.

The materials of the monograph were prepared by: Anatoly Semenko - chapters 1,2, except for sections 2.2.1, 2.2.2, 2.2.4, chapters 3,4, except for section 4.4, chapter 7, except for sections 7.7.1, 7.7.2, 7.9.8, chapter 10; Juliy Boiko- chapter 5, section 4.4; Olha Shpur - chapter 8; Irina Strelkovska - chapter 9; Vladimir Korchynsky -chapter 6; , Roman Yaroviy- chapter 10; Natalia Bokla - sections 2.2.1,2.2.2,2.2.4;

Vitaly Pocherniaev - section 7.7.1; Natalia Sivkova - section 7.7.2; Victor Haydamanchuk- section 7.9.8.

The materials presented in the monograph in a single complex are intended for students of all three levels of education when studying disciplines in the specialties 122 "Computer science and information technology", 123 "Computer engineering", 125 "Cyber security", 172 "Electronic communications and radio engineering" (or F3 "Computer Science", F5 "Cyber security and information protection", F6 "Information systems and technologies", F7 "Computer engineering", G5 "Electronics, electronic communications, automation and radio engineering" in accordance with the changes in the list of fields of knowledge and specialties for which higher education applicants are trained, approved by Resolution No. 1021 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 24, 2024.). They can also be useful to scientists and engineers in studying, researching, developing and operating information communication and computer networks with optimal reception and signal processing.

Scientific editor, Dr. habil., Professor

Anatoly Semenko.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ЛІ

- 1.1. Bernard Sclar. Gigital Cjmmunications. Fundamentals and Applications. Prentice Hall PTR. Upper Saddle, New Jersey 07458, 2003. 1104 p.
- 1.2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Теорія електричного зв'язку. К.: Техніка, 2006. 552с.
- 1.3. Панфілов І.П., Дирда В.Ю., Капацін А.В. Теорія електричного зв'язку. К.: Техніка, 1998. 326 с.
- 1.4. Мандзій Б.А., Желяк Р.І. Основи теорії сигналів. Львів: Видавничий дім «Ініціатива», 2008. 240с.
- 1.5. William Stallings. Wireless Communications and Networking. Prentice Hall PTR. Upper Saddle River, New Jersey 07458, 2002. 639 p.
- 1.6. Семенко А. І. Бокла Н.І., Домрачева К. О., Шестопад Є. О. Радіорелейна лінія зв'язку з покращеними характеристиками. *Вісник університету «Україна». Серія: інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика, 2019. №1(22). С.210-219.*
- 1.7. Каток В.Б. Волоконно-оптичні системи зв'язку. К.: Велар, 1999. 483 с.
- 1.8. Каток В.Б., Руденко І.Е., Ранський Є.Г., Однорог П.М. Волоконно – оптичний зв'язок. К.: Логос, 2015. 442 с.
- 1.9. Jan Lamperski. Active Fiber Comb Source with Single and Double Frequency Shifters for UDWDM Applications. Poznan, Poland. Th.B1.6 282 ICTONЮ, 2008. p. 282-286
- 1.10. Манько О.О., Семенко А.І., Харлай Л.В., Кунах Н.І. Напрямки покращення параметрів якості систем передавання на сучасних DWDM мережах зв'язку. *Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», №4 .2023. С.153-159.*
- 1.11. Гідроакустична система зав'язку «Ятрань». URL: <https://tokar.ua/read/34072/shcho-take-hidroakustyka-i-chomu-tse-vazhlyv/>
- 1.12. Лазерна система зав'язку. URL: <https://portaltele.com.ua/equipment/c20-eq>
- 1.13. Семенко А.І., Маціяка Н.В. Система мобільного зв'язку з покращеною енергетикою для метрополітену. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, 2014, №3. С.59-62*
- 1.14. 4G в метро. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2019/08/08/ofitsijno-kompaniya-huawei-stvor>
- 1.15. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. К.: Техніка, 2001. 380с.
- 1.16. Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі. – К.: Самміт-книга, 2010. 640с.
- 1.17. Бессараб В.І., Воропаєва В.Я., Турупалов В.К. Теорія телетрафіку. К.: Техніка, 2021. 208с.
- 1.18. Бирюков Н.Л., Стеклов В.К. Транспортные сети и системы электросвязи. К.: ЗАТ «Віпол», 2003. 352 с.
- 1.19. Захарченко В.Н., Стеклов В.К., Складенко С.Н. и др. Системы электросвязи. Т1, Т2 К.: Техніка, 1998. 302 с.
- 1.20. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Нові інформаційні технології. Транспортні мережі телекомунікацій. К.: Техніка, 2004. 488 с.
- 1.21. Белкин М.К., Белинский В.Т., Мазор Ю.Л., Терещук Р.М. Справочник по учебному проектированию приемно-усилительных устройств./под ред. Белкина М.К. К.: Вища школа, 1982. 447 с.
- 1.22. Нанотехнології URL: <https://dntb.gov.ua/constant/tematychna-vystavka-nanotekhnolohii-nauk>
- 1.23. Samsung ,3 нм. URL: <https://nnews.com.ua/samsung-zapuskaye-vyrobnytstvo-chipiv-za-3-nm-tehprotsesom.html-stvoryly-nanodroty>
- 1.24. Графен. URL: <https://nangs.org/news/technologies/grafenovaya-gonka-kak-grafen-mozhet-izme>
- 1.25. Графеновий транзистор. URL: <https://habr.com/ru/articles/190892/>

- 1.26. Індій закінчуються в Землі. URL: <https://forum.ixbt.com/topic.cgi?id=15:71299>
- 1.27. Високотемпературна надпровідність. URL: <https://universemagazine.com/vcheni-stvoryly-vysokotemperaturnyj-nadprovi>
- 1.28. Дешевий акумулятор. URL: <https://internetua.com/vcseni-predstavili-akumulyator-maibutnogo-sxo-koshtuvatime-na-70-deshevshe-za-analogi>
- 1.29. Нанодріт. URL: <https://news.finance.ua/ua/news/-/392036/doslidnyky>
- 1.30. Телурінове скло. URL: <https://portaltele.com.ua/news/nauka/vcheni-peretvorili-sklo-na-sonyachnu-panel>
- 1.31. Сонячна батарея. URL: <https://bakertilly.ua/ru/id38330/>
- 1.32. Антена у вікні. URL: <https://internetua.com/5g-anteni-teper-navcsilisya-vbudovuvati-prosto-u-vikna>
- 1.33. Алмазна батарея. URL: <https://sat.net.ua/2024/12/05/vcheni-stvoryly-pershu-u-sviti-almaznu-batareyu-shho-praczuvatyme-5700-rokiv/>
- 1.34. Новий вид зв'язку. URL: <https://habr.com/ru/companies/selectel/articles/797793/>

Л2

- 2.1. Забара С.С., Гагарін О.О., Кузьменко І.М., Щербашин Ю.Д. Моделирование систем у середовищі MATLAB. К.: Університет «Україна», 2011. 137 с.
- 2.2. Бокла Н. І. Дослідження кореляційних властивостей ПВП за кодом Голда з використанням системи MATLAB. *Вісник ДУІКТ*, 2011. Том.9. №4. С.386-391.
- 2.3. Krzysztof Weselowski. Systemy radiokomunikacji ruchomej. Wydawnictwa Komunikacji I łączności. Warszawa., 2004. 536 p.
- 2.4. Гепко І.А., Олейник В.Ф., Чайка Ю.Д., Бондаренко А.В. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития. К.: «ЭКМО», 2009. 672с.
- 2.5. Gold, R. Maximal Recursive Sequences with 3-valued Recursive Cross-Correlation Functions. *IEEE Trans. Infor. Theory*, Jan., 1968, pp. 154-156.
- 2.6. Беркман Л.Н., Щербина І. С., Чумак О.І., Рудик Л.І. Багатоканальні модеми. К: Державне видавничо-інформаційне агенство «Зв'язок», 2006. 152 с.
- 2.7. Семенко А.І., Бокла Н.І. Метод двократного зменшення необхідної смуги пропускання каналу зв'язку в телекомунікаційній системі з кодовим розподілом каналів. *Зв'язок*. 2011. №4. С.23-25.
- 2.8. Семенко А.І., Бокла Н.І. Эффективность телекоммуникационных систем с использованием модифицированных псевдослучайных последовательностей Голда *Электросвязь*. 2014, №3. С.14-20.
- 2.9. Бобало Ю. Я. Прикладне застосування теорії хаотичних систем у телекомунікаціях: монографія. Ю. Я. Бобало, С. Д. Галюк, М. М. Климаш, Р. Л. Політанський. Дрогобич – Львів: Коло, 2015. 184 с.
- 2.10. Косован Г. В., Кушнір М.Я., Політанський Л. Ф.. Алгоритм шифрування інформації на основі двох хаотичних динамічних систем для захищених систем зв'язку., *Захист інформації*,. 2013. Том 15. випуск 4, жовтень-грудень. С.299-306.
- 2.11. Anatolii Semenko, Nikolai Kushnir, Nataliya Bokla, Grigoriy Kosovan. Creation of pseudo-random Sequences Based on Chaos for Forming of wideband Signal. *Anatolii Semenko, Information and Telecommunication Sciences*, 2017. Volume 9. Number 2 pp.5-10.
- 2.12. Коды Уолша. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F_%D0%A3%D0%BE%D0%BB%D1%88%04B3/00

Л3

- 3.1. Мазурков М.И. Системы широкополосной радиосвязи . Одесса: Наука и техника, 2009. 344 с.
- 3.2. Simon M. Spread spectrum communications handbook / Simon M., Omura J., Scholtz R. Chicago : McGraw-Hill Professional, 2004. 1214 с.

3.3. Valery Ipatov. Spread Spectrum and CDMA. Principles and Applications. University of Turku, Finland and St. Peterburg Electrotechnical University, Russia. John Wiley & Sons Ltd, 2005. 488p.

3.4. Семенко А.І., Кушнір М.Я., Бокла Н.І., Шестопал Є.О.. Синтез широкопasmової телекомунікаційної системи з підвищеною скритністю передачі інформації шляхом використання псевдовипадкових послідовностей на основі хаосу. *Вісник університету «Україна», серія «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика»*, № 1(28), 2020. С. 63-74..

3.5. Семенко А.І. Унікальний комплекс урядового космічного зв'язку. *Зв'язок*, № 7. 200., С. 65.

3.6. Гайдаманчук В.А., Матвієнко М.В., Пастушенко І.М., Семенко А.І. Регіональна навігаційна супутникова система як джерело PNT під час навмисних тривалих загроз сигналам GNSS. *Інфокомунікаційні та комп'ютерні технології*, 2023, № 1(05). С 60-66.

3.7. Захист смартфонів солдат в Китаї. URL: <https://www.pravda.ru/news/world/1333259-china/>

3.8. Семенко А.І., Кушнір М.Я., Бокла Н.І. Спосіб формування широкопasmового сигналу. Патент України 125337, № u201711149, заяв. 14.11.2017, опубл. 10.05.2018, бюл. № 9.

Л4

4.1. Домрачева К.О. Загальна порівняльна оцінка завадостійкості телекомунікаційних систем *Наукові записки УНДІЗ*, № 3. С 83-89.

4.2. John Proakis. Digital Communications. Mc Graw-Hill, 1999. 798 p.

4.3. RAKE-приймач. URL: <https://www.google.com/search?q=rake+%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%BA&oq=&aqs=chrome.0.35i39i362l8.9987821j0j15&sourceid=chrome&i>

4.4. Hanzo L. L., Münster M., Choi B. J., Keller T. OFDM System Design. OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting. New York: Wiley-IEEE Press, 2003. P. 21-21.

4.5. Zhou S., Wang Z. OFDM Basics. OFDM for Underwater Acoustic Communications. New York: Wiley Telecom, 2014. P. 23-38.

4.6. Бойко Ю., П'ятін І. Схемотехнічні аспекти забезпечення умов синхронізації в системах зв'язку з OFDM. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2023. № 1. С. 28-37.

4.7. Бойко Ю.М., Новіков Д.В. Оцінка ефективності каналного кодування у телекомунікаціях з OFDM. *Вісник Хмельницького національного університету*, 2021. № 5. С. 150-159.

4.8. Özdil Ö., Tokar C. Rate maximizing OFDM parameter optimization on HF channels. *Physical Communication*, 2021. Vol. 45. P. 101280.

4.9. A. Makarenko, N. H. Qasim, O. Turovsky, N. Rudenko, K. Polonskyi, O. Govorun. Reducing the impact of interchannel interference on the efficiency of signal transmission in telecommunication systems of data transmission based on the OFDM signal. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2023. Vol. 1. №. 9. P. 82-93.

4.10. Бойко Ю., П'ятін І., Єрьоменко О., Шаюк Д. Оцінювання впливу зміщення несучих частот на завадостійкість телекомунікацій з OFDM. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2022. № 3. С. 19-26.

4.11. Yingxin Z., Xiuying H., Zhiyang L., Hong W., Shuxue D. Resource block filtered-OFDM as a multi-carrier transmission scheme for 5G. *Computers & Electrical Engineering*, 2018. Vol. 72. P. 543-552.

4.12. Mattera D., Tanda M. Windowed OFDM for small-cell 5G uplink. *Physical Communication*, 2020. Vol. 39, P. 100993.

4.13. Pyatin I., Boiko J., Eromenko O., Karpova L. Mathematical Modeling of an OFDM

Communication System with Efficient Digital Signal Processing. Proceedings 2023 IEEE 13th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Wrocław, 21-23 Sept. 2023, Wrocław, 2023. P. 170-175.

4.14. Бойко Ю. М., Стецюк В. І. Схемотехнічні особливості використання синтезаторів частот в приймальному тракті цифрових приймачів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, 2013. №. 5. С. 219-231.

4.15. Prasad R. OFDM for Wireless Communications Systems. Boston: Artech House, 2004. 294 p.

4.16. Слюсар В.И. Системы MIMO: принципы построения и обработка сигналов.. *Электроника: наука, технология, бизнес*, 2005. № 8. С. 52 - 58.

4.17. MIMO 1. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/MIMO>

4.18. MIMO 2. URL: <https://shop-gsm.ua/blog/tehnologiya-mimo-printsip-raboty-podbor-oborudovaniya-i-antenn/>

4.19. Схема Аламоуті. URL:<https://habr.com/ru/articles/452494/>

4.20. ТКС з MIMO. URL: <https://zn.ua/TECHNOLOGIES/shag-na-puti-k-5g-yaponcy-ususchestvili-peredachu-dannyh-po-sotovoy-seti-so>

4.21. Антена на 2 сигнали. URL: <https://lugasat.org.ua/equipments/dish/2175-antenna-peredayushchaja-2-signala-odnovremenno.html>

4.22. Osama N. Alrabadi, Julien Perruisseau-Carrier, Antonis Kalis. MIMO Transmission Using a Single RF Source: Theory and Antenna Design. *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, vol. 60, № 2, february, 2012. pp..654-664.

15

5.1. Dumas J-G., Roch J-L., Tannier E., Varrette S. *Error Detection and Correction. Foundations of Coding: Compression, Encryption, Error Correction*. New York: Wiley, 2015. P.209-276.

5.2. Бойко Ю. М., Дружинін В. А., Толюпа С. В. Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості й ефективності обробки сигналів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завад : монографія. Київ : Логос, 2018. 227 с.

5.3. Kim H. Wireless Channels. *Wireless Communications Systems Design*. New York: Wiley, 2015. P.31-50.

5.4. Guo W., He D., Cai N. On Capacity of Network Error Correction Coding With Random Errors. *IEEE Communications Letters*, 2018. Vol. 22. №. 4. P. 696-699.

5.5. Hayashi M., Cai N. Secure Non-Linear Network Code Over a One-Hop Relay Network. *IEEE Journal on Selected Areas in Information Theory*, 2021. Vol. 2. № 1. P. 296-305.

5.6. Burich M. E., Garcia-Frias J. A Simple Family of Non-Linear Analog Codes. *IEEE Communications Letters*. 2023. Vol. 27. № 11. P. 2889-2893.

5.7. Carrasco R. A., Johnston M. *Basic Principles of Non-Binary Codes. Non-Binary Error Control Coding for Wireless Communication and Data Storage*. New York: Wiley, 2008. P.51-71.

5.8. Gao J., Wang Y. New Non-Binary Quantum Codes Derived From a Class of Linear Codes. *IEEE Access*, 2019. Vol. 7. P. 26418-26421.

5.9. Boiko J. M., Eromenko A. I. Improvements encoding energy benefit in protected telecommunication data transmission channels. *Communications*, 2014. Т. 2. №. 1. С. 7-14.

5.10. Бойко, Ю., Семенко, А., П'ятін, І. Особливості формування кодової надлишковості у каналах передачі інформації. *Інфокомунікаційні та комп'ютерні технології*, 2023. Т. 2. №04. С.12-25.

5.11. Шинкарук О.М., Бойко Ю.М., Чесановський І.І. Основи функціонування багатоканальних систем передачі інформації: навч. посіб. Хмельницький: ХНУ, 2010. 234 с.

5.12. Zhang K. Q. T. *Channel Coding. Wireless Communications: Principles, Theory and Methodology*. New York: Wiley, 2015. P.121-170.

- 5.13. Homma N., Saito K., Aoki T. Toward Formal Design of Practical Cryptographic Hardware Based on Galois Field Arithmetic. *IEEE Transactions on Computers*, 2014. Vol. 63. № 10. P. 2604-2613.
- 5.14. Fan H. A Chinese Remainder Theorem Approach to Bit-Parallel $GF(2^n)$ Polynomial Basis Multipliers for Irreducible Trinomials. *IEEE Transactions on Computers*, 2016. Vol. 65. № 2. P. 343-352.
- 5.15. Бойко Ю. М., Макаришкін Д. А., Пасічник О. І. Дослідження ефективності алгоритмів каналного кодування в захищених телекомунікаційних системах передавання інформації. *Зв'язок*, 2016. № 5. С. 56-67.
- 5.16. Бойко Ю. М. Можливості турбокодів щодо підвищення енергетичного виграшу в каналах передавання інформації. *Зв'язок*, 2016. № 2. С. 16-25.
- 5.17. Hanzo L., Liew T. H., Yeap B. L. *Turbo Convolutional Coding. Turbo Coding, Turbo Equalisation and Space-Time Coding for Transmission over Fading Channels*. New York: Wiley-IEEE Press, 2002. P.105-171.
- 5.18. Pyatin, I., Boiko, J., Eromenko, O., Parkhomey, I. Implementation and analysis of 5G network identification operations at low signal-to-noise ratio. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 2023. Vol. 21. № 3. P.496-505.
- 5.19. Bae J., Abotabl A., Lin H., Song K., Lee J. An overview of channel coding for 5G NR cellular communications. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*, 2019. Vol. 8. P. E17.
- 5.20. Бойко Ю.М., Полікаровських О.І., Ткачук В.П., Карпова Л.В. Програмно-конфігуровані системи передавання, приймання та обробки інформації: монографія. Хмельницький : ХНУ, 2023. 317 с.
- 5.21. Boiko J., Pyatin I., Eromenko O. Design and evaluation of the efficiency of channel coding LDPC codes for 5G information technology. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEI)*, 2021. Vol. 9. №. 4. P. 867-879.
- 5.22. Schlegel C. B. Perez L. C. *Convolutional LDPC Codes and Spatial Coupling. Trellis and Turbo Coding: Iterative and Graph-Based Error Control Coding*. New York: Wiley-IEEE Press, 2015. P.465-492.
- 5.23. Shokrollahi A., Luby M. *Raptor Codes*. Boston: Now Foundations and Trends, 2011. 136p.
- 5.24. П'ятін І. С., Бойко Ю. М. Дослідження енергетичної ефективності каналного кодування даних користувача кодами LDPC для систем зв'язку 5G. *Вісник Хмельницького національного університету*, 2020. №3. С. 174.
- 5.25. Sasoglu E. *Polarization and Polar Codes*. Boston: Now Foundations and Trends, 2012. 136 p.
- 5.26. П'ятін І., Бойко Ю., Гавронський В., Панасюк, Д. Аналіз завадостійкості захищеної системи зв'язку 5G з полярним кодуванням. *Measuring and computing devices in technological processes*, 2023. № 3. С. 154–163.

Л6

- 6.1. Захарченко М.В. Системи передавання даних. Т. 1. Завадостійке кодування. підручник. Одеса: Фенікс, 2009. 448с.
- 6.2. Захарченко Н. В., Корчинский В. В., Радзимовский Б.К. Оценка информационной скрытности таймерных сигнальных конструкций в системах передачи конфиденциальной информации. *Збірник наукових праць ОНАЗ ім.О.С.Попова*, 2011. № 1. С. 3-8.
- 6.3. Захарченко Н.В., Корчинский В. В., Радзимовский Б.К. Структурная скрытность таймерных сигналов в системах с кодовым разделением каналов. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2011. № 2/9(50). С. 7–9.

6.4. Захарченко Н.В., Корчинский В. В., Радзимовский Б.К. Эффективность использования таймерных сигнальных конструкций в системах передачи с кодовым разделением каналов. *Наукові праці ДонНТУ*, 2011. № 20(182).С. 145-151.

6.5. Захарченко Н.В., Корчинский В.В., Радзимовский Б.К., Кильдишев В.Й. Повышение скрытности передачи конфиденциальной информации на базе хаотических сигналов и таймерных сигнальных конструкций. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2012. № 3/9 (57). С. 45-49.

6.6. Захарченко Н.В., Корчинский В.В., Радзимовский Б.К. Метод формирования сигнальных конструкций на основе хаотических и таймерных сигналов в системах передачи конфиденциальной информации. *Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О.С. Попова*, 2011. № 2. С. 3-7.

6.7. Корчинский В.В. Конфиденциальная система связи на основе псевдослучайной перестройки рабочей частоты и таймерных сигналов. *Вестник НТУ «ХПИ» Харьков*, 2013. № 16(989). С. 82-85.

6.8. Корчинский В.В. Повышение скрытности передачи на основе псевдослучайной перестройки рабочей частоты и таймерных сигналов. *Вестник НТУ «ХПИ» Харьков*, 2012. вип 66(972). С.63-67.

6.9. Корчинский В.В. Метод повышения скрытности передачи таймерными сигналами в системах связи с кодовым разделением каналов. *Вісник СНУ ім. В.Даля – Луганськ*, 2013. № 15 (204) Частина 1. С.93-99.

6.10. Захарченко М.В., Мамедов М. А., Корчинский В.В., Мартынова Е.Н. О целесообразности исправления части ошибок в системах с РОС при использовании избыточных таймерных сигнальных конструкций. *Наукові праці Донецького національного техн. універ.* Донецьк: ДонНТУ, 2007. Вип. 12(118). С. 36-42.

6.11. Захарченко Н.В., Корчинский В.В., Радзимовский Б.К. Структурная скрытность таймерных сигналов в системах с кодовым разделением каналов. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2011. №2/9(50). С. 7-9.

6.12. Горохов С.М., Захарченко Н.В., Корчинский В.В. Критерии эффективности скрытых методов передачи. *Цифрові технології: Збірник / Кол. авт.: Одеса: Одес. нац. академія зв'язку ім. О.С.Попова*, 2012. Вип. 12. С. 147-150.

6.13. Корчинский В.В. Оценка структурной скрытности сигнальных конструкций на основе хаотических сигналов в системах передачи конфиденциальной информации. *Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова*, 2012. № 2. С. 77-81.

6.14. Корчинский В.В. Метод повышения структурной скрытности передачи информации в системе связи многопользовательского доступа. *Технологический аудит и резервы производства*. Харьков: Технологический центр, 2013. № 3/1/11. С.20-23.

6.15. Захарченко Н.В., Корчинский В.В. Семенко А.И., Домрачева Е.А. Использование таймерных сигнальных конструкций для мониторинга сигналов аналогового датчика. *Зв'язок*, 2016. №2 (114). С.40-43.

Л17

7.1. Нарытник Т. Н., Волков В. В., Уткин Ю. В. Радиорелейные и тропосферные системы передачи: навч. посіб: К.: Основа, 2008. 696

7.2. Karl Rothammel, (1991). Antennenbuch (in German). Stuttgart: Franck'sche Verlagshandlung. 1991.1600 p.

7.3. Хміль В.Ф. Задачі і вправи з антенно-фідерних пристроїв. К.: Вища школа, 1967. 180 с.

7.4. Семенко А.И., Севергин Б.Н., Шокотько А.А., Зайка В.Ф. Услители мощности СВЧ на основе нитрид-галлиевых транзисторов. *Зв'язок*, 2015. №2 (114). С.50-52.

7.5. Сайко В.Г. Системи бездротового цифрового радіозв'язку нового покоління. К.: ПП «Золоті ворота», 2011. 300с.

7.6. Bluetooth. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

7.7. DECT. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/DECT>

7.8. УКХ зв'язок. URL: <https://mkt.com.ua/tehnologii/sistemy-radiosvyazi/ukv-analogovaya-radiosvyaz>

7.9. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Нові інформаційні технології. Транспортні мережі телекомунікацій. К.: Техніка, 2004. 488 с.

7.10. LiFi. URL: <https://5watt.ua/blog/stati/li-fi-peredacha-dannykh-pri-pomosshi-svetodiody>

7.11. Слюсар В. И. Современные тренды радиорелейной связи. *Технологии и средства связи*, 2014. № 4. С. 32-36.

7.12. Почерняев В. Н. Повхлеб В. С.. Тенденція розвитку цифрових радіорелейних систем., *Цифрові технології*, 2016. №20. С.14- 18.

7.13. Семенко А.И. Автоматичне регулювання потужності передавачів в лінії радіорелейного зв'язку. *Вісник ДУІК*, том 3, № 3-4. 2005. С.50-51.

7.14. Зайцев Г. Ф., Стеклов В.К., Брицький О. І. Теорія автоматичного управління. За ред. проф. Г. Ф.Зайцева. К.: Техніка, 2002. 688 с.

7.15. Почерняев В.Н., Повхлеб В.С. Состояние и направления развития мобильных цифровых тропосферных систем связи. *Системы озброєння і військова техніка*, 2018. № 2. С.51-60.

7.16. Почерняев В.Н., Повхлеб В.С. Состояние и направления развития мобильных цифровых радиорелейных систем. *Системы озброєння і військова техніка*, 2018. № 1. С.183-188.

7.17. Pochernyaev, V.N., Syvkova N.M., Mahomedova M.S. Error Probability of a Multipath Communication Channel With Inaccurate Estimation of the Impulse Characteristic of Such Channel. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія - Радіотехніка. Радіоапаратобудування*, 2023. №92. С.23-25.

7.18. Сайко В.Г., Наконечний В.С., Баховський П.Ф., Сивкова Н.М. Алгоритм реалізації методу завадостійкого прийому сигналів, які випромінюються просторово рознесеними передавачами. *Abstracts of I International Scientific and Practical Conference Stockholm, Sweden 5-7 April, 2020*. С.247-253.

7.19. Почерняев В.М., Сивкова Н.М., Повхліб В.С. Система автоматичного регулювання потужності передавача НВЧ для комбінованих мобільних цифрових тропосферно-радіорелейних станцій. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія - Радіотехніка. Радіоапаратобудування*, 2021. №84. С.40-47.

7.20. Pochernyaev V, Syvkova N. Кутівий рознесений прийом на лініях тропосферного та іоносферного зв'язку. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*, 2023. №74. С.167-170.

7.21. Почерняев В.М., Повхліб В.С. Мобільна цифрова станція НВЧ діапазону подвійного призначення. *Наукові праці ОНАЗ ім. О.С.Попова*, 2014. №2. С.76-82.

7.22. Почерняев В.М., Сивкова Н.М., Повхліб В.С. Просторово - рознесена передача сигналів в цифрових тропосферних станціях. *Наукові праці ОНАЗ ім.О.С.Попова*, 2020. №2. С.92-99.

7.23. Почерняев В.Н. Устройства на частично заполненных диэлектриком волноводах. К: УКНИПСК, 2000. 224с.

7.24. Почерняев, В. Н., Скрыпник, Л. В. Постоянная распространения частично заполненного волновода. *Изв. вузов. Радиоэлектроника*, 1981. 31(5) С.63-64.

7.25. Почерняев В.Н., Цибилов К.Н. Теория сложных волноводов, *Научный мир*, 2003. 223с.

7.26. Pochernyaev V.N., Skrypnik L.V. Eigenfunctions of a partially filled rectangular waveguide, *Radiophysics and quantum electronics*, 1990. Vol.33. N.12. С.1023-1028.

7.27. Почерняев В.М., Магомедова М.С., Сивкова Н.М. Іоносферний зв'язок з використанням штучних іонізованих неоднорідностей. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2022. №2 (68). С.124-128.

- 7.28. Інмарсат.URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Inmarsat>
- 7.29. Viasat.URL: <https://viasat.com.ua/ru>
- 7.30. GPS. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/GPS>
- 7.31. ГЛОНАСС URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%9B%D0%9E%D0%9D%D0%90%D0%A1%D0%A1>
- 7.32. Галілео.URL: <https://galileognss.eu/>
- 7.33. Бейдоу.URL:<https://space.com.ua/2020/01/02/kitajskij-analog-gps-navigatsijna-sistema-beidou-povinna-but-i-povnistyuu-go>
- 7.34. Starlink.URL:<https://ru.wikipedia.org/wiki/Starlink>
- 7.35. Старлінк на літаку. URL: <https://psm7.com/uk/company/spacex/internet-starlink-vpers>
- 7.36. Кубсат.URL:<https://www.nasa.gov/what-are-smallsats-and-cubesats/>.
- 7.37. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами.Одесса, 2013. 252с.
- 7.38. Климаш М.М., Пелішок В.О., Михайленич П.М. Технології мереж мобільного зв'язку. К.: «Освіта України», 2010. 624с.
- 7.39. Климаш М.М.,Пелішок В.О. Проектування ефективних систем безпроводного зв'язку. Л.: Нац. ун-т "Львів. політехніка", 2010. 232 с.
- 7.40. Климаш М.М., Пелішок В.О., Михайленич П.М. Технології мереж мобільного зв'язку. К.: «Освіта України», 2010.624с.
- 7.41. Климаш М.М., Пелішок В.О., Михайленич П.М., Щур О.В. Радіомережі комерційного зв'язку стандартів CDMA. Львів, 2007. 238с.
- 7.42. Семенко.А.І., Бокла Н.І. Телекомунікаційна широкосмугова радіосистема з кодовим розподілом каналів. Патент України на корисну модель №64776 МПК H04 J 13/00. Заявник і патентовласник Державний університет інформаційно – комунікаційних технологій заявл. 31.12. 2010; опубл. 25.11.2011, бюл. № 22.
- 7.43. Фемтокомірка.URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/esche-raz-o-dostoinstvah-femtosot>
- 7.44. LTE 1.URL:<https://dmr.kiev.ua/ru/catalog/lte/>
- 7.45. LTE 2.URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/LTE>
- 7.46. LTE3.URL:<https://lanmarket.ua/ua/entsiklopediya/besprovodnye-tehnologii/lte.html>
- 7.47. Покоління СМ3.URL: <https://marketnet.com.ua/novosti-i-stati/tehnologii-2g-3g-4g-5g-mimo-chastoty-lte.html#:~:text=%D0%9D%D0%B0%20%D1%81%D1%8C%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%96>
- 7.48. Стандарти мобільного зв'язку. URL:<https://www.itbox.ua/ua/blog/Standarti-mobilnogo-zv'yazku-4G5G6G--podibnist-vidminnosti-perspektivi/>
- 7.49. Супутниковий мобільний зв'язок. URL:<https://satphone.com.ua/blog/blog-13.php>
- 7.50. Миллс Девід Л. Сличение времени в компьютерных сетях. Протокол сетевого времени на Земле и в космосе.Переклад з англ. Дополнение . Гайдаманчука В.А. К.: WIRCOM, 2011. 446 с.
- 7.51. Piester D., et al. Remote atomic clock synchronization via satellites and optical fibers. *Advances in Radio Science*, March 2011, pp.1-10.
- 7.52. Бунин С.Г.,Войтер А.П.,Ильченко М.Е.,Романюк В.А.Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами.К.: Наукова думка,2012.444 с.

Л8

- 8.1. Oppenheimer P. Top-Down Network Design: third edition. Cisco Press, 2010. 447 p.
- 8.2. Hummel Sh. Network Design Process - Effective Network Planning and Design. Createspace Independent Pub, 2006. 718 p.
- 8.3. Process for Network Design — Planning and Designing an Effective Network. URL: <https://networkconsultancync.medium.com/process-for-network-design-planning-and-designing-an-effective-network-c61652677c8d>

8.4. What Is Network Planning, And How Can You Plan For New Networks?
URL: <https://nilesecure.com/network-design/what-is-network-planning-and-how-can-you-plan-for-new-networks>

8.5. EN 50173-1:2007 /A1:2009. Information technology - Generic cabling systems - Part 1: General requirements.

ЛІР

9.1. Стрелковська І.В., Соловська І.М., Стрелковська Ю.О. Застосування дійсних та комплексних сплайнів в задачах інфокомунікацій. *Проблеми телекомунікацій*. Харків, 2021. №01(28). С. 3–19.

9.2. Strelkovskaya I.V., Solovskaya I.N., Severin N.V., Paskalenko S.O. Approximation of self-similar traffic by spline-functions. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science: proceedings of the XIIIth International Conference (TSET'2016)*, Slavske, Ukraine, February 23 – 26. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2016. P. 132–135.

9.3. Strelkovskaya I.V., Solovskaya I.N., Severin N.V. Modeling of self-similar traffic. *Proceedings of the 4rd International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIIT-2016) Koethen, Germany, March, 10, 2016*. Koethen: Anhalt University of Applied Sciences, 2016. Vol.1, Is.5, P. 61–64.

9.4. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Severin N., Paskalenko S. Spline approximation based restoration for self-similar traffic. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv: Technology Center, 2017. №3/4 (87). P. 45–50.

9.5. Strelkovskaya, I., Solovskaya, I., Strelkovska, J. Spline-approximation and spline-extrapolation methods in telecommunication. *Current Trends in Communication and Information Technologies. IPF 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 212. Springer, Chap № 1.

9.6. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovska J. Spline-Approximation and Spline-Extrapolation Methods in Telecommunication Problems. *Current Trends in Communication and Information Technologies. IPF 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol 212, Springer, Cham, 2021, P. 3-22.

9.7. G. Opfer, M. Puri Complex planar splines. *Journal of Approximation Theory*, 1981, vol.31.№4. P. 383–402.

9.8. Strelkovska I. V. Theory and methods of spline-approximation in telecommunications: dissertation for the degree of doctor of technical sciences. Odessa: O.S. Popov Odessa National Academy of Communications. 2010. 268 p.

9.9. Strelkovskaya I.V., Bukhan D.Yu. Restoration of continuous signals based on the Kalman-Bucy filter and cubic splines. *Radiotekhnika*. Kharkiv: National University of Radio Electronics, 2009. Vol.156. P.61–63.

9.10. Strelkovskaya I., Lysiuk O., Zolotukhin R. Comparative analysis of reconstruction of continuous signals by the Kotelnikov series and spline functions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv: Technology Center, 2013. №2/9 (62), P.12–15.

9.11. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A. Predicting characteristics of self-similar traffic. *Proceedings of The Third International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2018)*. Odessa, Ukraine, 10–15 Sept. 2018. P.1–4.

9.12. Strelkovskaya I., Solovskaya I. Using spline-extrapolation in the research of self-similar traffic characteristics. *Journal of Electrical Engineering*, 2019. Vol. 70, Is. 4. P. 310–316.

9.13. Strelkovskaya I.V., Solovskaya I.N., Paskalenko V.M. Spline-extrapolation method for restoring self-similar traffic. *Digital technologies. Collection of scientific works*, 2019. Vol. 25. P. 42–51.

9.14. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A. Different extrapolation methods in Problems of Forecasting. *Advances in Information and Communication Technology and Systems. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, Cham, MCT 2019. Vol 152, P217–228.

- 9.15. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A. Predicting self-similar traffic using cubic B-splines. *3rd IEEE International Conference Advanced Information and Communication Technologies (AICT-2019), Lviv, Ukraine, July 2019*. P. 153-156.
- 9.16. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Tolmak V. Use of spline-extrapolation to increase the quality indicators of telecommunication systems. *Proceedings of the O.S. Popov ONAT, Odessa, 2019. Vol. 2. P. 77–85*.
- 9.17. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A. Forecasting 5G network multimedia traffic characteristics. *15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv Polytechnic National University, Slavske, Ukraine, February 2020*. P. 982 - 987.
- 9.18. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A., Rodionova T. Multimedia Traffic Prediction Based on Wavelet- and Spline-extrapolation. *8th Black Sea Conference on Communications and Networking, Odessa, Ukraine, May, 2020*. P.1–4.
- 9.19. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovska J. Spline-extrapolation of video traffic of IoT-devices based on various cubic splines. *2020 International Scientific-Practical Conference Proceedings of Problems of Infocommunications Science and Technology (PICS&T 2020), Kharkiv, Ukraine, Kharkiv National University of Radio Electronics, October 2020*. P.243–249.
- 9.20. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovska J. The use of linear complex planar splines to improve the accuracy of determining the location of the user in WiFi /Indoor networks *2021 International Scientific-Practical Conference Proceedings (PICS&T 2021)*, P.1-4.
- 9.21. Strelkovskaya I. Fingerprinting/Indoor positioning using complex planar splines / I. Strelkovskaya, I. Solovskaya, J. Strelkovska // *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 72 (2021), N06, pp. 401-406. <https://doi.org/10.2478/jee-2021-0057>.
- 9.22. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovskaya J., Paskalenko V. Complex spline approximation in positioning problems. *Radioelectronics and Communications Systems*, 2022. Vol. 65 (7). P.376–385.
- 9.23. Schoenberg I.J. Contributions to problem of approximation of equidistant data by analytic functions. *Quarterly of Applied Mathematics*, 1996. V.4. P.45–99, 112–141.
- 9.24. Schoenberg I.J., Whitney A. Sur la positivite des determinants de translations de frequence de Polya avec une applications au problem d'interpolation par les fonctions "spline". *Comptes Rendus*, 1999. Vol. 228. P.1996–1998.
- 9.25. Schoenberg I.J., Whitney A. On Polya frequence fonctions. *Transactions of the American Mathematical Society*, 1953. Vol. 74(III). P. 246–259.
- 9.26. Holladay J.C. Smoothest curve approximation. *Mathematical Tables and Other Aids to Computation*, 1957. Vol. II. P.233–243.
- 9.27. De Boor C. Bicubic spline interpolation. *Journal of Mathematical Physics*, 1962. Vol.41. P.212–218.
- 9.28. Ahlberg J.H., Nilson E.N., Walsh J.L. The Theory of Splines and Their Applications. New York: Academic Press, 1967. 296 p.
- 9.29. Alhberg J.H. Spline in the complex plane. Approximations with Special Emphasis on Spline Functions (Schoenberg I.J., Ed.). New York / London Academic Press, 1967. Vol. 129. P.1–27.
- 9.30. Alhberg J.H., Nilson E.N., Walsh J.L. Complex cubic splines. *Transactions of the American Mathematical Society*, 1969. Vol.129. P.391–413.
- 9.31. Atterria M. Fonctions "spline" dans le champ complexe. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 1971. Vol.273. P.678–681.
- 9.32. Schoenberg I.J. On polynomial spline functions on the circle. I. Their interpolatory properties. *Proceedings, Conference on Constructive Theory of Functions, Budapest, 1969 (Alexits G. and Stechkin S.B., Eds.)*. Budapest: Akademiai Kiado, 1972. P.403–418.
- 9.33. Wronicz Z. Interpolation by complex cubic splines. *Конструктивна теорія функцій. Тр. міжн. конф. (Благовєвград, 30 травня – 6 червня 1977 з.)*. Софія: Вид. Болгарської АН, 1980. С.549–558.

- 9.34. Opfer G., Schober G. On convergence and Quasiregularity of Interpolating Complex Planar Splines. *Math. Zeit – xhrift*, 1982. Vol. 80. P.469–481.
- 9.35. Dikshit H.P., Ojha A. On convergence and quasiconformality of complex planar spline interpolants. *Math. Proc. Camb. Phil. Soc*, 1986. P.347–356.
- 9.36. Belyi V.I. On analytic splines in regions with quasiconformal boundary. *International Conference on constructive theory of functions, Golden Sands, Varna, May 27 – June 2, 1984*. P.6.
- 9.37. Білий В.І. Конформні відображення та наближення функцій в областях із квазіконформною межею. Математичний збірник, 1977. 102 (144), №3. С. 331–361.
- 9.38. Білий В.І., Стрелковська І.В. Наближення функцій плоскими аналітичними комплексними сплайнами. *Доп. АН УРСР. Сер. А*. 1987. №11. С. 5–8.
- 9.39. Bellman R.E., Kalaba R.E. Modern analytic and computational methods in science and mathematics. Amsterdam, 1965. 205p.
- 9.40. Goursat E., Bergman S. A course in mathematical analysis. vol. III. Part 2. New York, 1964. 389p.
- 9.41. Popovsky V.V., Strelkovskaya I.V. Accuracy of procedures for filtering, extrapolating and interpolating random processes. *Telecommunication problems*, 2011. 1(3), P.3–10.
- 9.42. Strelkovskaya I.V., Bukhan D.Yu. Comparative analysis of signal recovery using the sampling theorem and spline interpolation. *Proceedings of the O.S. Popov ONAT*, 2007. Vol. 1, P. 149–152.
- 9.43. Strelkovskaya I.V., Bukhan D.Yu. (2007) Restoration of continuous signals on the basis of a number of Nyquist and cubic splines. *Radio engineering: All-Ukr. Inter. scient. tech. col.*, Vol. 151, pp. 181–185.
- 9.44. Strelkovskaya I., Lysiuk O., Paskalenko S. Application of different kinds of approximation in signals restoration. *Problems of Infocommunications Science and Technology*, Kharkiv, Ukraine, October 2015. P.177–180.
- 9.45. Strelkovskaya I.V., Lysyuk E.V., Zolotukhin R.V. Research of methods for restoration of continuous signals. *Collection of international scientific and technical conference “Problems of Telecommunications”*: Conference Proceedings, April 16–19. 2013. P. 82–84.
- 9.46. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A., Severin N. Predicting the characteristics of self-similar traffic using spline-extrapolation. *Bulletin of the University “Ukraine”*, 2019. 1(22). P. 87–94.
- 9.47. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A. Spline-Extrapolation Method in Traffic Forecasting in 5G Networks. *Journal of Telecommunications and Information Technology*, 2019. Vol. 3, P.8–16.
- 9.48. LTE; Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access (3GPP TS 23.401 version 12.6.0 Release 12). 244 p.
- 9.49. Larry L. Schumaker Spline Functions: Basic Theory. Cambridge University Press, New York, 2007. 600p.
- 9.50. Геранів В.О., Писаренко Л.Д., Рушицький Я.Я. Теорія вейвлетів з елементами фрактального аналізу. Національний політехнічний університет «КПІ». Київ, 2002. 360с.
- 9.51. Strelkovskaya I., Lysiuk O., Zolotukhin R. Software development of the different signal restoration methods. *Восьма міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій»: Матеріали конференції.*, 22–25 квітня 2014р. С. 128–130.
- 9.52. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A. Method of Spline-extrapolation in the Problem of Forecasting. *Journal of Telecommunications and Information Technology*, 2019. Is.3. P.8–16.
- 9.53. Dremine I.M., Ivanov O.V., Nechitaylo V.A. Wavelets and their use. *Successes of physical sciences*, 2001. V.171. № 5. P.465–501.
- 9.54. Strelkovskaya I., Lysiuk O., Zolotukhin R. Comparative analysis of signals restoration by different kinds of approximation. *Proceedings of the 3rd International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIT)*, 2015. Vol. 3, Is. 1. P. 29–35.

9.55. Zang Y., Ni F., Feng Z., Cui S., Ding Z. Wavelet Transform Processing for Cellular Traffic Prediction in Machine Learning Networks. *2015 IEEE China Summit and International Conference on Signal and Information Processing (China, 12-15 July)*, 2015. P.123–134.

9.56. Dobeshi I. Ten lectures on wavelets. Izhevsk: SIC “Regular and chaotic dynamics”, 2001. 464 p.

Л10

10.1. Andrew Tanenbaum, David Wetherall. Computer Networks, Global Edition. Dorling Kindersley Pvt Ltd, 2021. 962 p.

10.2. Микитишин А.Г., Митник М. М., Стухляк П. Д.,Пасічник В.В. Комп'ютерні мережі. Львів: «Магнолія», 2013. 256 с.

10.3. Лунтовський А.О., Мельник І.В.Проектування та дослідження комп'ютерних : мереж.К.: Університет «Україна», 2010 .361с.

10.4. Жураковський Б.Ю., Зенів І.О. Комп'ютерні мережі. К.: КПІ ім.І.Сікорського, 2020.329 с.

10.5. Матвієнко О.В. Internet-технології. Проектування WEB-сторінки. М.: ЦУЛ, 2004. 154 с.

10.6. Гніденко М.П., Вишнівський В.В., Ільїн О.О..Побудова SDN мереж. Державний університет телекомунікацій .К. Державний університет телекомунікацій, 2019. 190

10.7. MPLS.URL:https://www.google.com/search?q=mpls+%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B0&dq=MPLS+%D1%83%D0%BA%D1%80&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUqBwgBECEY0AEyBggAEEUYOTIHCAEQIRigATIHCAIQIRigATIHCAMQIRigATIHCAQQIR

10.8. Лунтовський А.О. М.В.Захарченко, А.І.Семенко. Мультисервісні мобільні платформи, К.: Задруга, 2014. 214 с.

10.9. Лунтовський А.О., Климаш М.М., Семенко А.І. Розподілені сервіси телекомунікаційних мереж та повсюдний компютинг і cloud технології. Львів, 2013. 368 с.

10.10. Хмарні технології . URL: <https://edin.ua/ru/chto-takoe-oblachnye-tehnologii-i-zachem-oni-nuzhny/>

10.11. Семенко А.И., Юрчук А.П. Использование сети электропитания для построения информационных систем. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2006.. №2(62).С.3-6.

10.12. Nikiforov A. Technology Powerline Communication (P.L.C) . *Networks and communication systems*, 2002.-№5.С.34-38.

10.13. Технологія PLC. URL: https://www.google.com/search?q=plc+%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%!!!B3%D0%B8%D1%8F+%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B8+%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85&sca_esv=ba8d56c099ffe98e&sca_upv=1&biw=1

10.14. Якісні характеристики КМ. URL:https://klafter.ua/ua/stati-i-obzory/harakteristiki-ta-klasifkacya-kompyuternih-merezh/?srsltid=AfmBOopH7oRPj8QKzhS8kpmZHVRqkRc5CphIkvIcjGFMj_SZAeO90xxC

10.15. Уэнделл Одом.Официальное руководство Cisco по подготовке к сертификационным экзаменам CCNT/CCNA. М.: «Вильямс», 2012. 1088 с.

10.16. Продукти cisco https://www.cisco.com/c/uk_ua/products/index.html

10.17. Cisco Systems, Inc. Програма мережевої академії Cisco CCNA 3 та 4. Допоміжне керівництво . М. : «Вильямс», 2006. . 944с.

10.18. Мережне обладнання. URL:https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%B2%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F

10.19. Маршрутизатор-роутер. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B5%D1%80>

10.20. Маршрутизація. URL:https://litr.at.ua/publ/komp_juterni_tekhnologiji_v_juridichnij_dijalnosti/tema_4/4_9_vidi_marshrutizaciji/11-1-0-37

10.21. Сервери. URL: <https://shop.lifecell.ua/uk/catalog/wi-fi-marshrutizatory-i-tochki-dostupa/75/>

10.22. Радіоретранслятор. URL: <https://www.google.com/search?q=%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80&oq=%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81>

10.23. Повторювач. URL: https://www.google.com/search?q=%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87%D1%96&oq=%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87%D1%96+%&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIHCAEQABiABDIGCAIQABgeMgoIAXAAGIAEGK IEMgoIBBAAGIAEGKIEM

10.24. Концентратор. URL:<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80>

10.25. Комутатор. URL:https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D1%88%D0%BB%D1%8E%D0%B7https://donsat.com.ua/setevoe-oborudovanie/kommutator/

10.26. Шлюз. URL:https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D1%88%D0%BB%D1%8E%D0%B7

10.27. Кабелі зв'язку URL: https://master-a.com.ua/ua/kabeli-i-provoda-svjazi?srsId=AfmBOopYOAuzWt7z0yu7LM1JOFG2Kail_DweACwzqW59rVZqXtXwVWn

10.28. SI2000. URL: https://kis-kiev.narod.ru/ATC/si2000/SI-2000_op.htm

10.29. EWSD. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/EWSD>

10.30. Alcatel-1000-E10. URL: <https://ru.scribd.com/doc/277277751/Alcatel-1000-E10>

10.31. Суперкомп'ютер URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Aurora_\(%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%27%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Aurora_(%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%27%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80))

10.32. Комп'ютери компанії Cray. URL: <https://habr.com/ru/companies/ua-hosting/articles/369513/>

10.33. Суперкомп'ютер«Frontier». URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Frontier_\(%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%27%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Frontier_(%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%27%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80))

10.34. Суперкомп'ютерEl Capitan. URL:<https://noworries.news/najpotuzhnishyj-superkompyuter-u-sviti-pobuyv-absolyutnyj-rekord-z-obchyslyvalnyh-operacij-za-sekundu/#>

10.35. Квантовий комп'ютер 1. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%27%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80#:~:text=%D0%9A%D0%B2%C3%A1%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8ECC%81%D1%82%D0%B5%D1%80%20%E2%80%94

10.36. Квантовий комп'ютер 2. URL:<https://glavcom.ua/techno/devices/u-sviti-stvorili-kompyuter-jakij-obrobljae-informatsiju-u-180-mln-raziv>

10.37. Квантовий комп'ютер 3. URL:<https://espreso.tv/tekhnologiyi-u-kitai-zapustili-avtonomniy-nadprovidniy-kvantoviy-kompyuter-tretogo-p>

10.38. Корпоративна мережа. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B0_%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0

10.39. Viasat. URL:<https://satphone.com.ua/VIASAT.php>

10.40. Система відеоконференцзв'язку. URL: <https://itel.ua/sistemyi-videokonferentssvyazi>

10.41. Відеоспостереження. URL: <http://www.install.in.ua/goods/video->

10.42. Відеокамери. URL:http://www.bezpekacity.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=67&Itemid=77-

10.43. Андрусак А.И., Демьянчук В.С., Юрьев Ю.Н. Мережа авиационной электросвязи. К.: НАУ, 2001. 448 с.

10.44. Паук С.М.Авиационные телекоммуникационные сети.М.:Транспорт,1986. 272 с

10.45. Шишкин А.В., Купровский В.И., Кошевой В.М. Глобальная морская система связи при бедствии и для обеспечения безопасности мореплавания (ГМССБ): Учебное пособие. М.:ТрансЛит, 2007.544 с.

10.46. Harke V. Smart home. Networking of household appliances and communication systems in housing construction. М.: Troposphere, 2006.288 p.

10.47. Розумний будинок. URL: www.hi-tech-house.com

10.48. Сенсорна мережа.URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B0#%D0%9E%D0%B3%D0%BB%D1%8F%D0%B4_%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%D1%96%D0%B2

Наукове видання

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА
КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ**

Монографія

Автори

СЕМЕНКО Анатолій Іларіонович
БОЙКО Юлій Миколайович
ШПУР Ольга Миколаївна
СТРЕЛКОВСЬКА Ірина Вікторівна
КОРЧИНСЬКИЙ Володимир Вікторович
ЯРОВИЙ Роман Олександрович

Редактор

Семенко А.І.

Коректор

Шпур О.М.

Верстка

Шпур О.М.

Дизайн

Букатов Д.В.

Підписано до друку 23.12.2024 р. Формат 70×100 1/16
Папір офсетний. Друк цифровий.
Наклад 50 прим. Ум. друк. арк. 36,07.

" / " " 0 0

Типографія Аграр Медіа Прінт.

Адреса потужностей: м. Київ, вул. В. Некрасова, 3
е-mail: info@agrarmedia.com

Тел.: (067) 407 87 203

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців ДК №8116 від 21.06.2024
www.agrarmedia.com