

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ЗВ'ЯЗКУ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КПІ»  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ  
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ ІМ. Г.Є. ПУХОВА  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОШИЦЕ  
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

*Пам'яті професора  
Ю.П. Кунченка*

# П Р А Ц І

VIII Міжнародної  
науково-практичної конференції

## "ОБРОБКА СИГНАЛІВ І НЕГАУСІВСЬКИХ ПРОЦЕСІВ"

25 – 26 травня 2021 р.,  
м. Черкаси, Україна

Черкаси



2021

УДК 621.3;681.3;519.2;519.6

СПІВГОЛОВИ ПРОГРАМНОГО КОМІТЕТУ КОНФЕРЕНЦІЇ:

**Маломуж М.Г.** екс-голова служби зовнішньої розвідки України  
**Кунченко-Харченко В.І.** д.т.н., професор, ЧДТУ, президент Благодійного фонду «Наукова школа ім. професора Ю.П. Кунченка»  
**Палагін В.В.** д.т.н., професор, Черкаський державний технологічний університет  
**Сікора Л.С.** д.т.н., професор, Національний університет «Львівська політехніка»

ЧЛЕНИ ПРОГРАМНОГО КОМІТЕТУ:

**Безрук В.М.** д.т.н., професор, ХНУРЕ  
**Білецький А.Я.** д.т.н., професор, НАУ  
**Ващенко В.А.** д.т.н., професор, ЧДТУ  
**Велев Дімітер Георгієв** д.т.н., професор, Університет національного та світового господарства, Софія, Болгарія  
**Верлань А.Ф.** д.т.н., професор, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова  
**Власенко В.О.** д.т.н., професор, університет Ополя, Польща  
**Возняк Мірослав** д.т.н., професор, Технічний університет Острави, Чеська Республіка  
**Волочій Б.Ю.** д.т.н., професор, Львівський національний університет «Львівська політехніка»  
**Воробієнко П.П.** д.т.н., професор, ректор ОНАЗ  
**Гордієнко В.І.** д.т.н., професор; ЧДТУ  
**Дурняк Б.В.** д.т.н., професор, ректор Української академії друкарства  
**Жук С.Я.** д.т.н., професор, НТУУ «КПІ»  
**Красильніков О.І.** к.ф.-м.н., доцент, Інститут технічної теплофізики НАНУ  
**Лауш А.Г.** директор ТОВ «КБ ЦЕНТР»  
**Лега Ю.Г.** д.т.н., професор, ЧДТУ  
**Лужецький В.А.** д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет  
**Луценко В.І.** д.ф.-м.н., с.н.с., Інститут радіофізики та електроніки ім. А.Я. Усікова НАНУ  
**Мархевський С.** д.т.н., професор, Технічний університет Кошице, Республіка Словаччина  
**Мачуський Є.А.** д.т.н., професор, декан НТУУ «КПІ»;  
**Медиковський М.О.** д.т.н., професор, Львівський національний університет «Львівська політехніка»  
**Петренко І.М.** заступник директора ТОВ «НВС Телематичні Системи»  
**Політанський Л.Ф.** д.т.н., професор, Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича  
**Положаєнко С.А.** д.т.н., професор, ОНПУ  
**Продеус А.М.** д.т.н., професор, НТУУ «КПІ»  
**Тихонов В.А.** д.т.н., професор, ХНУРЕ  
**Сагатов М.В.** д.т.н., професор, Ташкентський державний технічний університет, Узбекистан  
**Саліга Я.** д.т.н., професор, Технічний університет Кошице, Республіка Словаччина  
**Столяренко Ю.О.** к.т.н., доцент, Придністровський державний університет ім. Т.Г. Шевченка, Тирасполь, Молдова  
**Федорчук В.А.** д.т.н., професор, Кам'янець-Подільський національний університет ім. Івана Огієнка  
**Шлезінгер М.І.** д.ф.-м.н., професор, Міжнародний науково-навчальний центр ЮНЕСКО інформаційних технологій і систем на базі Інституту кібернетики НАН України  
**Ю. Стертен** доцент, керівник проектів OPL, SID, PhD, Норвезький університет науки і технології (NTNU), Норвегія  
**Юхар Й.** д.т.н., професор, Технічний університет Кошице, Республіка Словаччина

**Відповідальний редактор Філіпов В.В.,** к.т.н., доцент, ЧДТУ.

**П70** **Праці** VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвяченої пам'яті професора Ю.П. Кунченка: Тези доповідей. [Електронний ресурс] – Черкаси: ЧДТУ, 2021. –221 с. – Назва з титульного екрана.

У виданні відображено результати актуальних наукових і прикладних досліджень, пов'язаних із опрацюванням інформації, зокрема, наукової школи професора Ю.П. Кунченка з обробки сигналів і негаусівських процесів, що охоплюють широке коло сучасних аспектів розвитку науково-технічного прогресу: створення математичних моделей сигналів та систем; синтез і аналіз методів та алгоритмів обробки сигналів та статистичних даних; розробка апаратних та програмних засобів опрацювання сигналів та даних; комп'ютерне моделювання.

УДК 621.3;681.3;519.2;519.6

© Автори, 2021

© Макет кафедри радіотехніки, телекомунікаційних і робототехнічних систем ЧДТУ, 2021



*Присвячується пам'яті  
професора  
Юрія Петровича Кунченка*

# Математичні моделі сигналів та систем

## ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-СПЕКТРАЛЬНІ СИГНАТУРИ СИГНАЛІВ, РОЗСІЯНИХ НАДВОДНИМИ І НАЗЕМНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Н.С. Ань<sup>1</sup>, В.І. Луценко<sup>2</sup>, І.В. Луценко<sup>2</sup>,  
І.В. Попов<sup>2</sup>, О.В. Соболяк<sup>2,3</sup>, С.І. Хоменко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут геофізики В'єтнамської Академії наук і технологій,

<sup>2</sup> Інститут Радіофізики і Електроніки ім. А.Я. Усикова НАНУ

<sup>3</sup> ДП Харківське конструкторське бюро з машинобудування  
імені О.О. Морозова (ДП «ХКБМ»)

### Вступ

Розпізнаванню різних класів об'єктів по радіолокаційної інформації присвячено досить велику кількість робіт. У них розглядаються особливості просторово часового розподілу відбиваючих точок, частотні залежності індикатрис зворотного розсіювання об'єктів і їх спектральні портрети. Істотно менше робіт по використанню поляризаційних матриць розсіювання [1]. У повідомленні розглядаються сигнатури поляризаційно-спектральних ознак необхідні для вирішення завдань виявлення і розпізнавання.

### Апаратура і отримані результати

Експерименти проведені з використанням вимірювальних систем сантиметрового і міліметрового діапазонів з імпульсним (довжини хвиль 4,2см, 2см, 8мм, 4мм) і безперервним (10см, 3 см, 8мм, 4мм) режимами випромінювання. Вивчення поляризаційних характеристик, в імпульсних РЛС здійснювалося шляхом перемикання поляризації прийому від імпульсу до імпульсу з використанням р-і-п атенюаторів на хвилі 8мм і феритового перемикача на хвилі 4мм при випромінюванні похилої під кутом 45<sup>0</sup> або вертикальної поляризації. Розв'язка між каналами ортогонально поляризованих компонент становила не менше 25дБ при прямих втратах на перемикачах не більше 3,5дБ на хвилі 8мм і 5дБ на хвилі 4мм. Для вимірювань при безперервному випромінюванні використовувалися: трьохчастотний гомодинний поляриметр з довжинами хвиль 10см, 8мм і 4 мм; двохчастотний поляриметр з довжинами хвиль 3см і 8мм Розв'язка каналів ортогонально поляризованих компонент в усіх системах було не гірше 25дБ

**Катери і моторні човни, кораблі.** Для розсіяного сигналу характерна некоррелірованні флуктуації амплітуди і доплерівського зсуву частоти відбитого сигналу. В спектрі віддзеркалень переважає лінія корпусу - рис.1б. Робота рухової установки і обурення водної поверхні, які проявляються у вигляді буруна і кільватерного сліду призводять до появи в відбитому сигналі додаткових спектральних компонент, розташованих вище і нижче спектральної лінії корпусу - рис.1а. Присутні спектральні лінії, обумовлені роботою рушійної установки, що приводить до вібрації обшивки. Скорочення робочої довжини хвилі призводить до зростання індексу фазової модуляції сигналу і, як наслідок, до збільшення їх рівня.

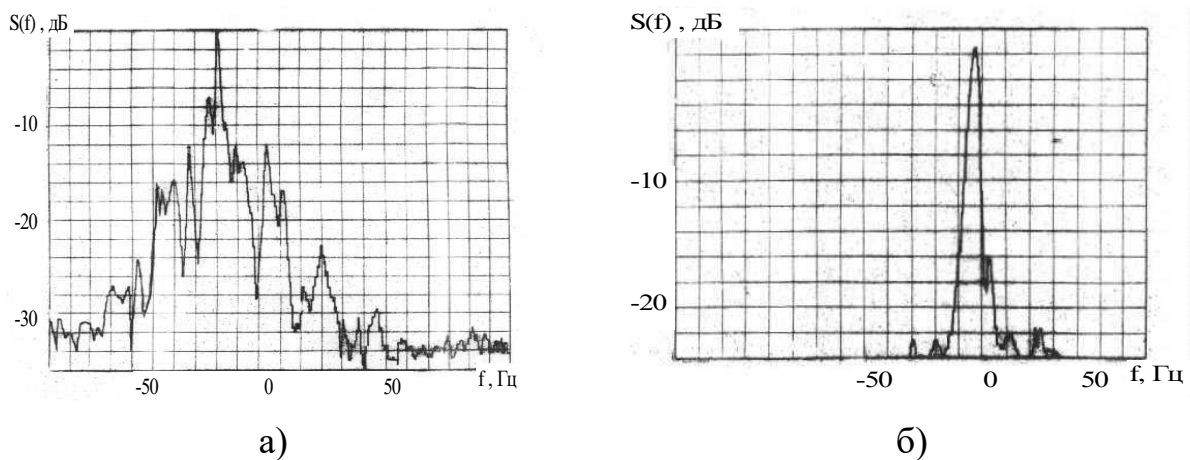


Рис.1. Приклади спектрів відбиття від катера при русі з включеним (а) і вимкненим (б) двигуном.

Збурення корпусом об'єкта водної поверхні призводять до виникнення корабельних хвиль, розсіювання від яких лежить по частоті нижче спектральної лінії корпусу. Характерний високий рівень кореляції (більше 0,7) спектральних компонент сигналу, обумовлених вібрацією обшивки надводного об'єкта корабля як на різних частотах випромінювання, так і поляризаціях прийому.

**Яхти, віндсерфінг.** Зміни середньої інтенсивності відбитого сигналу і доплерівського зсуву частоти при зміні курсу і перекладання вітрила. У поточних спектрах домінує на 20 ... 30дБ спектральна лінія корпусу.

**Гребні суда.** Періодичність і корельованість зміни доплерівського зсуву частоти і амплітуди розсіяного сигналу, яка визначається темпом гребків. У поточних спектрах вище лінії корпусу спостерігаються

високочастотні «спалаху», пов'язані з рухом весел в фазі переміщення їх в повітрі при підготовці до гребка.

**Птахи.** Для спектральної лінії відбиття від тіла птаха характерна зміна доплерівського зсуву частоти в процесі вільного паріння, яке збагачується високочастотними і низькочастотними компонентами при помахх крил.

**Люди.** Відбувається періодична з темпом ходьби зміна амплітуди і коефіцієнта деполаризації розсіяного сигналу. Лінія корпусу знаходиться практично на фіксованій частоті, яка визначається швидкістю переміщення людини, а навколо лінії корпусу спостерігаються спалахи спектральної щільності з темпом кроків. Відбиття від корпусу людини мінімально деполаризовані, в той час як відбиття від рук і ніг при ходьбі деполаризовані більш сильно. Зміна курсового кута при переміщенні людини щодо РЛС призводить до зміни, як центрального зсуву доплерівської частоти, так і ширини спектра. Коефіцієнт деполаризації слабо залежить від курсового кута і має величину - (7 ... 10) дБ.

**Транспортні засоби.** Спостерігається некоррелірованні флуктуації амплітуди і доплерівського зсуву частоти. У поточних спектрах характерна наявність ліній поступального руху корпусу і компонент, обумовлених вібрацією від працюючого двигуна, причому при опроміненні спереду - модуляцією лопатками вентилятора. Збільшення оборотів двигуна призводить до зростання частотного розносу між спектральними лініями, зумовленими його роботою.

Для всіх типів наземних і надводних цілей характерна висока кореляція сигналів, відбитих на різних поляризаціях і мала ширина основної спектральної лінії корпусу ( $\approx 1-3$  Гц).

### **Перелік літератури**

1. Кравченко В.Ф., Луценко В.І., Луценко І.В. Розсіювання радіохвиль морем і виявлення об'єктів на його фоні // М. Фізматліт, 2015. -448с.

## КОСВЕННОЕ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

**Бараннік Н.В.**

Харьковский национальный университет Воздушных Сил

им. Ивана Кожедуба

e-mail: barannik\_v\_v@mail.ru

Для устранения существующих ограничений при использовании криптографических методов необходимо использовать скрытую передачу данных. На сегодняшний день существует большое количество стеганографических методов, которые позволяют скрытно передавать информацию в контейнере, который не привлекает внимание [1]. Наибольший интерес представляют цифровые стеганографические методы встраивания информации в цифровые изображения. Это обусловлено рядом причин, а именно: широким распространением цифровых изображений, большим объемом мультимедийного файла, наличием в изображениях областей с визуальной избыточностью [2].

Существующие стеганографические подходы условно можно разделить на методы косвенного и непосредственного встраивания. Непосредственное встраивание реализуется путем замены элемента изображения-контейнера на элемент скрываемого сообщения. Наоборот, в косвенных методах встраивание осуществляется на основе создания зависимости между элементами путем их модификации [3].

В сравнении с методами непосредственного встраивания, косвенные подходы имеют некоторые преимущества при обеспечении безопасности государственного информационного ресурса, а именно [4 – 6]:

- повышенной стойкостью встроенных данных к атакам и стеганографическому анализу;
- отсутствием привязки к конкретному формату представления контейнера;
- наличием возможности использования известного на приемной стороне изображения-контейнера.

1. Разработан подход для осуществления косвенного стеганографического встраивания служебной информации на основе использования прямого и обратного функционального преобразования для



адаптивных позиционных чисел. Обосновано свойство однозначного обратного декодирования элементов числа при формировании кодограммы на основе исходных и модифицированных служебных данных.

### Література

- [1] Barannik, V. and Barannik, N. and Ryabukha, Yu. and Barannik, D.: Indirect Steganographic Embedding Method Based On Modifications of The Basis of the Polyadic System. In.: 15th IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020), pp. 699-702 (2020) DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235522.
- [2] Barannik, V. and Barannik, V.: Binomial-Polyadic Binary Data Encoding by Quantity of Series of Ones. In.: 15th IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020), pp. 775-780 (2020) DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235540.
- [3] Barannik V.V., Ryabukha Yu. N., Tverdokhle V.V., Barannik D.V.: Methodological basis for constructing a method for compressing of transformants bit representation, based on non-equilibrium positional encoding. In: Advanced Information and Communication Technologies (AICT), 2017 2nd International Conference, pp.188-192. (2017). doi: 10.1109 / AIACT.2017.8020096.
- [4] Vladimir Barannik, Tatyana Belikova, Pavlo Gurzhii.: The model of threats to information and psychological security, taking into account the hidden information destructive impact on the subconscious of adolescents. In 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), pp. 656 – 661 (2019), DOI: 10.1109/ATIT49449.2019.9030432.
- [5] Vladimir Barannik, Denys Tarasenko.: Method coding efficiency segments for information technology processing video. In.: 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), pp. 551-555 (2017), DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246460.
- [6] Barannik, V.V. and Ryabukha, Yu.N. and Kulitsa, O.S.: The method for improving security of the remote video information resource on the basis of intellectual processing of video frames in the telecommunication systems. Telecommunications and Radio Engineering, Vol. 76, No 9, pp. 785-797 (2017) DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i9.40.

## ІНТЕГРАЛЬНИЙ МЕТОД В ЗАДАЧАХ ЛІНІЙНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

Верлань А.Ф.

Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України

03164, Київ-164, вул. Генерала Наумова, 15, тел. (044) 4443541

e-mail:afverl@gmail.com

Для ряду задач оптимальної лінійної фільтрації при наявності білого шуму  $n(t)$  не обмовлюються його властивості, зокрема спектральна щільність  $N$ , а замість цього вводиться в розгляд поряд з коваріацією  $K_{zy}(t, \tau) = K_{zz}(t, \tau)$  функція  $K_{yy}(t, \tau)$  – коваріація, або автокореляційна функція сигналу (процесу)  $y(t) = z(t) + n(t)$ , що надходить на вхід лінійної системи, де  $z(t)$  – корисний вхідний сигнал. В результаті задача оптимальної лінійної фільтрації, тобто задача визначення такої імпульсної функції  $h(t, \tau)$ , при якій вихідний сигнал найкращим чином відтворює сигнал  $\tilde{z}(t)$ , зведеться до розв'язання рівняння Фредгольма I роду (при кожному фіксованому  $t$ )

$$\int_{T_1}^{T_2} K_{yy}(\tau, s) h_{\text{опт}}(t, s) ds = K_{zy}(t, \tau), T_1 \leq \tau, t \leq T_2, \quad (1)$$

де  $K_{yy}(\tau, s) = K_{yy}(s, \tau) = E[y(\tau)y(s)]$ ,  $T_1 \leq \tau, s \leq T_2$ . Коли система стаціонарна, то

$$\int_{T_1}^{T_2} K_{yy}(\tau, s) h_{\text{опт}}(\tau) d\tau = K_{zy}(t), T_1 \leq t \leq T_2, \quad (2)$$

де  $K_{yy}(t) = E[y(\tau)y(\tau-t)]$ . Рівняння (1) і (2) при  $T_1 = -\infty$ ,  $T_2 = \infty$  представляють собою рівняння Вінера-Хопфа.

Якщо змінна  $t$  (а також  $\tau$  і  $s$ ) є час, то замість рівнянь (1) і (2) отримаємо відповідно рівняння

$$\int_{T_1}^t K_{yy}(\tau, s) h_{\text{опт}}(t, s) ds = K_{zy}(t, \tau), T_1 \leq \tau \leq t \leq T_2, \quad (3)$$

$$\int_0^{T_2} K_{yy}(t - \tau) h_{\text{опт}}(\tau) d\tau = K_{zy}(t), 0 \leq t \leq T_2, \quad (4)$$

які при кожному фіксованому  $t$  є рівняннями Фредгольма I роду щодо оптимальної імпульсної функції  $h_{\text{опт}}(t, s)$  і  $h_{\text{опт}}(\tau)$  відповідно.

Таким чином, задачі оптимальної лінійної фільтрації зводяться до розв'язування інтегрального рівняння I роду регуляційними методами.

## **РОЗВИТОК ТЕОРІЇ, РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ НЕЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ**

**Верлань А.Ф.<sup>1</sup>, Павленко В. Д.<sup>2</sup>, Фомін О. О.<sup>2</sup>, Положаєнко С. А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Інститут проблем моделювання в енергетиці

03164, Київ, вул. Генерала Наумова, 15, тел. +38(067) 995-66-73

e-mail: afverl@gmail.com

<sup>2</sup> Державний університет «Одеська політехніка»

65044, Одеса, пр.. Шевченка, 1

e-mail: pavlenko\_vitalij@ukr.net, aleksandr.fomin@gmail.com,

sanp277@gmail.com

### **Науково-технічна проблема**

Зростання складності об'єктів контролю у різноманітних галузях промисловості, економіки, медицини; збільшення кількості джерел інформації; врахування динамічних та нелінійних властивостей об'єктів і систем; підвищення вимог до точності та об'єктивності рішень, які приймаються, призводить до проблеми розробки нових ефективних методів математичного забезпечення систем отримання та обробки діагностичної інформації в результаті спостережень, які дозволили б забезпечити вказані вимоги та автоматизувати процес діагностування об'єктів контролю. Задачі непрямого контролю та діагностики об'єктів контролю різноманітної фізичної природи відносяться до класу задач індуктивного моделювання, суть яких полягає у переході від емпіричної інформації до математичної моделі з метою отримання нових знань та прийняття рішень в умовах суттєвої неповноти і апіорної невизначеності інформації. При цьому ефективність автоматизованих систем діагностування (АСД) визначається достовірністю розпізнавання, роздільною спроможністю, швидкодією, завадостійкістю та вартістю.

Значне зростання продуктивності обчислень та зниження вартості сучасних багатоядерних процесорів дозволяє суттєвим чином підвищити

ефективність АСД і розширити область застосування інформаційних технологій непрямого контролю та діагностики, які засновано на загальному підході до рішення проблеми. Однак на практиці цього не відбувається. Використання існуючих АСД обмежується їх недостатньою ефективністю та універсальністю, що зумовлено дією комплексу протиріч:

- з одного боку, значним зростанням можливостей і зниженням вартості апаратних обчислювальних засобів та значною кількістю теоретичних розробок в області обробки діагностичної інформації, а з другого боку — відсутністю методологічних основ побудови АСД та окремих її складових;

- інформаційним характером процесів в АСД та відсутністю застосування ефективних математичних (інформаційних) моделей, як вторинного джерела даних для побудови класифікаторів;

- наявністю значної кількості різноманітних інформаційних технологій обробки діагностичної інформації і відсутністю методів оцінювання ефективності багатоальтернативних класифікаторів, що не дозволяє проводити їх цілеспрямований синтез та порівняльну оцінку отриманих варіантів;

- схожістю задач, які вирішуються в АСД різного прикладного застосування і відсутність уніфікованих методів та процедур обробки даних;

- зростаючими потребами в автоматизованій обробці діагностичної інформації, зростанням актуальності її практичного застосування і обмеженими можливостями традиційних підходів створення АСД щодо ефективності.

Для універсального опису ОК невідомої структури запропоновано підхід, що полягає у використанні нелінійних непараметричних динамічних моделей у вигляді інтегро-степеневих рядів Вольтерри:

$$y(t) = \sum_{n=1}^{\infty} y_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^t \dots \int_0^t w_n(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) \prod_{r=1}^n x(t - \tau_r) d\tau_r, \quad (1)$$

де  $w_n(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)$  — ядра Вольтерри  $n$ -го порядку — симетрична функція відносно дійсних змінних  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ ;  $y_n(t)$  —  $n$ -а парціальна складова відгуку об'єкту контролю ( $n$ -мірний інтеграл згортки);  $x(t)$  — вхідний сигнал;  $t$  — поточний час.

Головною особливістю моделей (1) є єдине у часі та компактне врахування нелінійних і динамічних властивостей ОК у вигляді багатовимірних вагових функцій — ядер Вольтерри, які містять в собі всю інформацію про якість і стан об'єкту контролю.

На сьогодні не існує інформаційної технології створення АСД, яка інтегрує в собі отримання первинного опису об'єкту контролю на основі рядів Вольтерри (ідентифікацію об'єктів контролю), ефективне стискання діагностичної інформації (редукцію діагностичних моделей) та побудову розв'язуючих правил оптимальної класифікації (навчання системи розпізнавання). Не існує також відповідного набору інструментальних засобів, які дозволяють автоматизувати реалізацію даних етапів створення АСД.

Таким чином, актуальною проблемою є розробка теоретичних та методологічних основ, а також інструментальних засобів створення і використання ефективних інформаційних технологій для побудови автоматизованих систем діагностування об'єктів різної природи з використанням моделей Вольтерри, які забезпечують врахування нелінійних та динамічних властивостей об'єктів контролю, універсальність діагностичної процедури та підвищення надійності діагнозу.

### **Деякі наукові результати розв'язання проблеми**

Розроблено та програмно реалізовано ефективні обчислювальні алгоритми статистичної класифікації при однозначному і нечіткому описі класів в просторі ознак, які формуються на основі результатів ідентифікації ОК у вигляді моделей Вольтерри; алгоритми побудови редуційованого простору ознак, дослідження їх діагностичної вартості; реалізовано

запропоновані критерії вибору найбільш інформативних поєднань ознак при багатоальтернативному розпізнаванні станів ОК; розроблено інструментальні засоби інформаційного забезпечення автоматизованих систем непрямого контролю та діагностики станів об'єктів, інтегровані в автоматизованій системі діагностичного контролю «ІСІДА» (Інструментальне Середовище Інтелектуальних Даних Аналізу).

При розв'язуванні прикладних задач оцінювання станів технічних і біологічних об'єктів з використанням створеної інформаційної технології отримано наступні результати:

— встановлено, що при ідентифікації вентильно-реактивного електроприводу у вигляді моделі Вольтерри і ядра першого порядку діагональний переріз ядра Вольтерри практично не залежить від зміни величини параметра, який контролюється — повітряного зазору між ротором та статором двигуна, однак діагональний переріз ядра Вольтерри другого порядку суттєво змінюється за величиною  $i$ , таким чином, може використовуватися в якості джерела первинних даних при побудові діагностичних моделей;

— розроблено діагностичні моделі, які дозволяють оцінити технічний стан електродвигунів та прогнозувати їх залишковий ресурс на основі даних вимірювань перехідних теплових характеристик в режимах «пуск-зупинка», дозволяють попереджувати аварійні режими, здійснювати ресурсозберігаючу експлуатацію технологічного обладнання; при впровадженні розроблених засобів діагностування збільшується коефіцієнт використання обладнання на (10...12)%;

— розроблено методику експериментальних досліджень каналу зв'язку телекомунікаційної системи для ідентифікації його характеристик на основі моделей Вольтерри в частотній області; розроблені програмно-алгоритмічні засоби, які реалізують методику ідентифікації, застосовуються для побудови інформаційної моделі радіоканалу ультра короткохвильового діапазону у вигляді амплітудно-частотної характеристики першого та

другого порядків по даних експерименту «вхід-вихід» з використанням відповідно текстових гармонійних та бігармонійних сигналів;

— побудовано класифікатори станів ріжучої частини металорізальних інструментів та прогнозування їх залишкового робочого ресурсу в просторі ознак — параметрів контурів зон зношення, розв'язуючі правила яких отримано за допомогою процедури навчання на основі запропонованого модифікованого методу максимальної правдоподібності та нейронних мереж різної структури; шляхом експериментальних досліджень встановлено, що для досягнення практично такої ж достовірності розпізнавання ( $p = 0,987$ ) запропонованим класифікатором, побудованим на основі методу максимальної правдоподібності, не потрібно більших обчислювальних ресурсів при навчанні, і при цьому побудований класифікатор має структуру значно більш просту, ніж при використанні нейронних мереж — це дозволяє рекомендувати використання останнього в системах автоматизованого діагностування станів ріжучих інструментів у сучасних верстатних модулях;

— вперше побудовано інформаційну модель реакційного центру фотосинтетичних бактерій у вигляді ядер Вольтерри; встановлено, що ядра першого порядку для різних зразків реакційного центру практично співпадають з точністю до похибок експерименту, тобто в лінійному наближенні електрон-транспортні реакції реакційного центру не залежать від тривалості фотозбудження, в той самий час ядра другого порядку кардинально відрізняються і зберігають ці властивості на протязі тривалого часу, таким чином вперше отримано кількісні оцінки конфірмативної «пам'яті» реакційного центру про попередній вплив (фотозбудження);

— створено медичну інформаційно-діагностичну комп'ютеризовану систему, призначену для розпізнавання захворювань тканин пародонту та прогнозування розвитку основних клініко-біохімічних форм генералізованого парадонтиту; із заданої множини 29 ознак, що являють собою клінічні тести, що характеризують парадонтальний статус і біохімічні

показники, обрано 9 ознак, у просторі яких на основі даних навчаючої вибірки побудовано класифікатор на 5 станів пародонту: «інтактний-передхвороба-гінгівіт-парадонтит-парадонтоз», що дозволяє проводити диференційовану діагностику з високим ступенем достовірності ( $p = 0,995$ ).

### Література

1. Павленко В. Д. Информационная технология косвенного контроля и диагностики динамических объектов на основе моделей Вольтерра [Текст] / В. Д. Павленко // Труды Одесск. политехн. ун-та. – Одесса, 2008. – Вып. 2(30). – С. 194 – 199.
2. Павленко В. Д. Идентификация нелинейных динамических систем в виде ядер Вольтерры на основе данных измерений импульсных откликов [Текст] / В. Д. Павленко // Электронное моделирование. – 2010. – Т. 32. – №3. – С. 3 – 18.
3. Павленко В. Д. Метод диагностики непрерывных систем на основе моделей в виде ядер Вольтерра [Текст] / В. Д. Павленко, А. А. Фомин, С. В. Павленко, В. М. Ильин // Моделювання та керування станом еколого-економічних систем регіону: Збірник праць. – Київ : МННЦІТІС, 2008. – Вип. 4. – С. 180 – 191.
4. Павленко В. Д. Информационная технология диагностики нелинейных динамических объектов с использованием рядов Вольтерра [Текст] / В. Д. Павленко, А. А. Фомин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2007. – №5. – С. 67 – 74.
5. Верлань А. Ф. Локализация неисправных фрагментов при диагностировании безынерционных объектов [Текст] / А. Ф. Верлань, С. А. Положаенко // Електротехнічні та комп'ютерні системи: Теорія і практика. Спеціальний випуск. Астропринт. — 2017. — С. 439 — 445.
6. Верлань А. Ф. Модельно-ориентированные методы технической диагностики [Текст] / А. Ф. Верлань, С. А. Положаенко. — К.: Наукова думка, 2019. — 263 с.



## МОДЕЛЬ МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ

Євтушенко І.О., Палагін В.В.

Черкаський державний технологічний університет

18006, Черкаси, бул. Шевченка 460

e-mail: terald.armstrong@gmail.com

Розвиток мобільних мереж дає можливість забезпечувати високу якість зв'язку. Щорічно збільшується кількість користувачів мобільними пристроями і, відповідно, кількість абонентів в мобільній мережі. Необхідно забезпечити високу якість голосового зв'язку та збільшити пропускну здатність мережі у зв'язку з постійно зростаючим попитом абонентів на користування соціальними мережами, службами обміну повідомленнями та відеоконференцій, відео зв'язком високої якості, використання віртуальної та доповненої реальності та ін. Забезпечити такий попит користувачів та забезпечити обслуговування великої кількості абонентів пропонує мобільна мережа п'ятого покоління (5G). Консорціум 3GPP у рекомендації TR 38.913 [1] визначила наступні показники для мереж нового покоління:

- граничний показник для завантаження (Download) становить 20 Гбіт/с та 10 Гбіт/с для відвантаження (Upload);
- мінімальна затримка в підсистемі радіодоступу для сервісів URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communication) становить 0,5 мс, для сервісу високосмугового мобільного зв'язку eMBB (enhanced Mobile Broadband) – 4 мс;
- максимальна кількість підключених пристроїв інтернету речей (IoT) в умовах міста – 1000000 пристроїв/км<sup>2</sup>;
- підтримка мобільності при максимальній швидкості переміщення об'єктів 500 км/год.

Для досягнення вищенаведених цілей необхідно враховувати технічні та фінансові спроможності операторів зв'язку. Пізніше консорціумом у звіті [2]

було запропоновано перехід до мережі 5G шляхом інтеграції у мережу LTE. Надалі ця інтеграція передбачає перехід у 3 фази: абонент за спроможності обладнання має подвійне з'єднання як в LTE мережі, так і в 5G, тобто одночасно під'єднаний до двох базових станцій різних стандартів; далі функціонування переводиться з ядра LTE EPC (Evolved Packet Core) на ядро мережі 5G.

Архітектура мережі 5G базується на хмарних технологіях, тобто частина фізичних мережевих функцій PNF можуть бути розгорнуті, як віртуальні мережеві функції - VNF [3]. За рахунок такої організації збільшується, в цілому, ефективність роботи мережі. Віртуалізованими можуть бути мережеві функції NF, функції додатків AF, функція управління сесіями SMF та функція управління доступом та мобільністю AMF. Однак модифікацію мережі можна проводити за рахунок створення власних VNF та їх інтеграцію у існуючу мережу.

Пропонується модифікація віртуалізованої мережевої функції на рівні ядра мережі 5G, яка забезпечить оптимізацію каналу зв'язку у мобільній мережі за рахунок перерозподілу навантаження всередині мережі. Для дослідження пропонується модель мобільної мережі, яка реалізовує технологію «розрізу» мережі (Network Slicing), що розділяє абонентів зв'язку від пристроїв IoT. Для зменшення капітальних витрат мережеві функції пропонується розгорнути віртуалізованими. Схема мережі представлена на рис. 1. Функції SMF та AMF представлено як один сегмент, оскільки вони мають прямий зв'язок між собою та зв'язок між мережами радіодоступу (RAN). Для кожної RAN функції SMF/AMF реалізуються окремо. Оцінка якісних характеристик мережі залежить від частоти, при якій дана мережа розгорнута. Пропонується спланувати мережу 5 покоління в діапазоні 4 ГГц за сценарієм високонадійного зв'язку з низькими затримками URLLC, який доречно використовувати в сервісах, які чутливі до затримок: віддалене та автоматизоване керування, телемедицина, віддалена хірургія, безпілотний транспорт та ін.

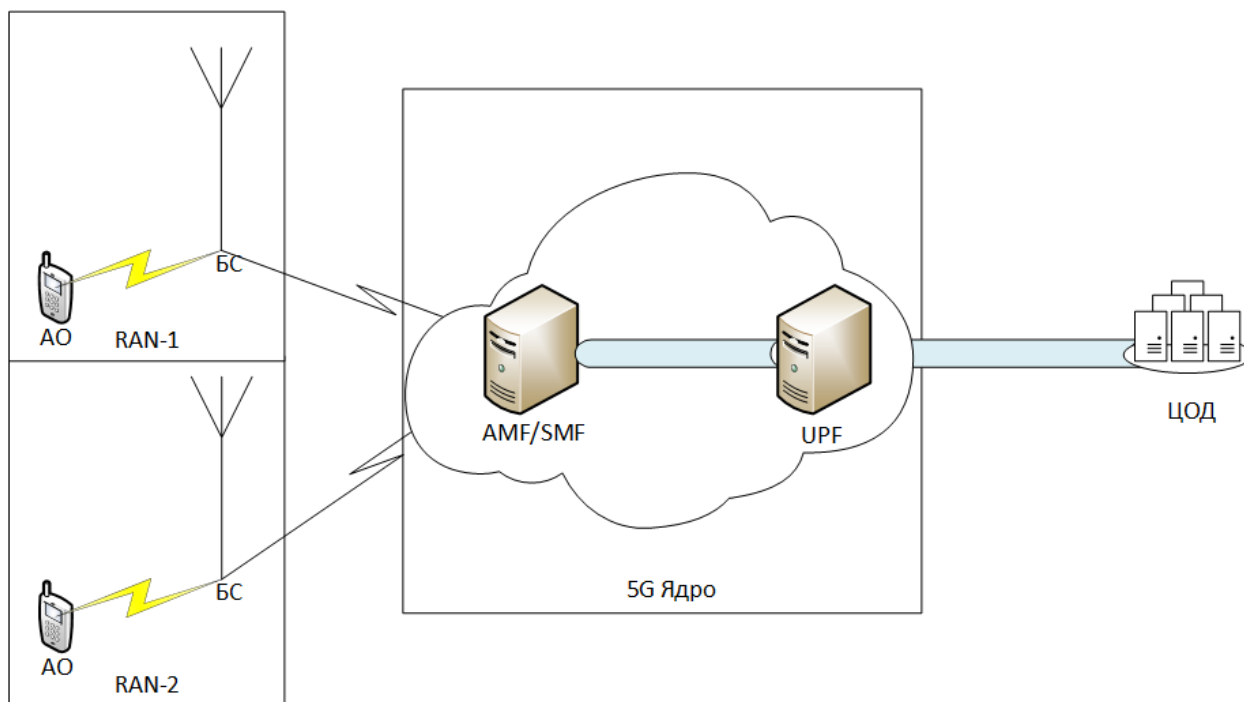


Рисунок 1 – Системна архітектура мережі 5G

### Література

1. ETSI Technical Report (2017-05). “5G; Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies (3GPP TR 38.913 version 14.2.0 Release 14)”. [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/138900\\_138999/138913/14.02.00\\_60/tr\\_138913v140200p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/138900_138999/138913/14.02.00_60/tr_138913v140200p.pdf)
2. 3GPP Technical Report 21.915 (2019-09) “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Release 15 Description; Summary of Rel-15 Work Items (Release 15)”. [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3389>
3. “5G Vision, Requirements, and Enabling Technologies”, 5G Forum, 2016.

# МОДЕЛІ СИСТЕМ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ, ЩО МАЮТЬ ВИРАЖЕНУ ІНЕРЦІЙНІСТЬ, ТА СИНТЕЗ ЗАКОНІВ УПРАВЛІННЯ НИМИ

**Карпунець О. О.**

Державний університет «Одеська політехніка»

65044, Одеса, пр. Шевченка,1, тел.. (048)-705-84-36

E-mail: [kaf.ksu@opu.ua](mailto:kaf.ksu@opu.ua)

Стрімкий розвиток спеціальних розділів теорії автоматичного управління зумовило останнім часом підвищений інтерес до вивчення *диференціальних рівнянь у частинних похідних (ДРЧП) із запізнюючим аргументом*, які розглядаються в якості математичного опису (математичних моделей) систем з розподіленими параметрами (РП-систем), що характеризуються властивостями *післядії*.

У найбільш загальному випадку ДРЧП у «нормальній» формі з частинними похідними  $k$ -го порядку та із запізнюванням по одному виділеному аргументу  $t$  має вигляд

$$\frac{\partial^k \Phi(t, x)}{\partial t^k} = F \left[ t, x, \Phi(t, x), \Phi(t - \tau, x), \frac{\partial \Phi(t, x)}{\partial t}, \dots, \frac{\partial^{k-1} \Phi(t, x)}{\partial t^{k-1}}, \dots, \frac{\partial \Phi(t - \tau, x)}{\partial t}, \dots, \right. \\ \left. \frac{\partial^{k-1} \Phi(t - \tau, x)}{\partial t^{k-1}}, \frac{\partial \Phi(t, x)}{\partial x}, \dots, \frac{\partial^{k-1} \Phi(t, x)}{\partial x^{k-1}}, \frac{\partial \Phi(t - \tau, x)}{\partial x}, \dots, \frac{\partial^{k-1} \Phi(t - \tau, x)}{\partial x^{k-1}} \right], \\ (t - \tau > 0). \quad (1)$$

При цьому вважається, що рівняння визначено в обмеженій зв'язаній області  $\Omega$   $n$ -мірного евклідова простору змінних  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  при  $t_0 \leq t \leq t_f$ ;  $\Phi = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m\}$  — шукана вектор-функція;  $F$  — задані функції своїх аргументів, які можуть характеризувати собою просторово визначений диференціальний оператор;  $\tau = \text{const} > 0$  — запізнювання по аргументу  $t$ .

Рівняння (1) розглядається як математична модель (ММ) РП-систем, що характеризуються вираженою інерційністю у вигляді запізнення  $\tau$ .

Типовою лінійною формою рівняння (1) є система

$$\frac{\partial \Phi(t, x)}{\partial t} = L_0 \Phi(t, x) + L_1 \Phi(t - \tau, x) + \Phi(t, x), \quad (2)$$

де  $L_0$  та  $L_1$  — лінійні просторово визначені диференційні оператори. При  $\tau = 0$  рівняння (1) переходить у звичайне ДРЧП.

Основна початкова задача, для ММ виду (1) полягає у визначенні функції  $\Phi(t, z)$ , що має неперервні диференціали, задовольняє рівнянню (1) при  $t > t_0$ , та умові  $\Phi(t, z) = \varphi(t, z)$  при  $t - \tau \leq t \leq t_0$  та додатково умові  $\frac{\partial \Phi(t, x)}{\partial t} = \psi(t, x)$  при  $t - \tau \leq t \leq t_0$ . Відрізок часової осі  $[t_0 - \tau, t_0]$ , на якому задано функції  $\Phi(t_0, z)$ , має назву *початкової множини* та позначається  $E_t$ . При цьому  $\Phi(t, z)$  повинна переходити в  $\varphi(t, z)$  неперервно.

Для випадку, коли запізнювання впливають на вектори вхідних  $\mathbf{x}(t - \tau_x)$ , вихідних  $\mathbf{y}(t - \tau_y)$  координат та управління  $\mathbf{u}(t - \tau_u)$  в РП-системі, закон синтезу останнього можна записати наступним чином

$$\frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = \mathbf{f}[\mathbf{x}(t), \mathbf{x}(t - \tau_x), \dots, \mathbf{x}(t - \tau_x), \mathbf{u}(t), \mathbf{u}(t - \tau_u), \dots, \mathbf{u}(t - \tau_u)], \quad (3)$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{h}[\mathbf{x}(t), \mathbf{x}(t - \tau_x), \mathbf{x}(t - \tau_x), \dots, \mathbf{x}(t - \tau_x)], \quad (4)$$

$$\dot{\tau}_x < 1, \quad \dot{\tau}_y < 1, \quad \dot{\tau}_u < 1, \quad (5)$$

$$\mathbf{x}(t) = \varphi(t), \quad -\tau_{x\max} \leq t \leq 0, \quad (6)$$

$$\mathbf{u}(t) = \Phi(t), \quad -\tau_{u\max} \leq t \leq 0. \quad (7)$$

Прикладне застосування синтезованого управління виду (3) — (7) для РП-систем, що описуються ММ у вигляді (1), розглянуто в роботі [1].

## Література

1. Верлань А. Ф. Математическое моделирование аномальных диффузионных процессов / А. Ф. Верлань, С. А. Положаенко, Н. Г. Сербов. — К.: Наукова думка, 2011. — 416 с.

## ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЬЕЗОПРОВОДНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

Каюмов Ш., Сагатов М.В.

Ташкентский государственный технический университет  
100097, город Ташкент, улица Университетская №2, тел. 99871 246 46 00  
e-mail: informtgu@mail.ru

Рассмотрим процесс фильтрации флюидов обладающей нелинейными характеристиками и структурными свойствами. Пусть в области  $\omega$ , содержащий флюид с указанными характеристиками производится отбор через центральную скважину. Предполагается среда неоднородная, как по длине, так и по окружности полярной дуги.

С течением времени в процессе разработки месторождений флюидов под воздействием скелета пористой среды происходят деформационные процессы, что приводит к переменности коэффициентов среды и флюида, которые в свою очередь требуют уточнения этих изменений. Для предупреждения такого явления решается задача определения коэффициентов дифференциальных уравнений, которые позволяют найти истинные значения параметров флюидов и пористой среды, соответствующие на данный момент разработки.

В процессе разведки и обустройства, а также эксплуатации месторождений, геологи и промышленники регулярно проводят измерения, и эти данные образуют множество начальных данных по проницаемости и пористости, а также значение реальных опытных данных давлений  $\bar{U}(r, \varphi, t)$ . Расчетные значения этих давлений определяется из решений следующей дифференциальной краевой задачи:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \kappa_1(r, \varphi) \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \kappa_1(r, \varphi) \frac{\partial U}{\partial \varphi} \right) = M(r, \varphi) \frac{\partial U}{\partial t}, \quad t > 0, (r, \varphi) \in \omega \quad (1)$$

с начальными  $U(r, \varphi, 0) = U_0(r, \varphi)$  и краевыми условиями

$$\alpha_1 k(r, \varphi) \frac{\partial U}{\partial n} \Big|_{\varphi = \varphi_0}^{r = r_0} = \psi_1(t), \quad \alpha_2 k(r, \varphi) \frac{\partial U}{\partial n} \Big|_{\varphi = \varphi_k}^{r = R_k} = \psi_2(t),$$

$$\text{где } \kappa_1(r, \varphi) = \frac{K(r, \varphi)}{H \cdot \mu}, \quad \alpha_1 = \frac{2h\pi}{r_0 \mu}, \quad \alpha_2 = \frac{2h\pi}{R_k \mu}, \quad M(r, \varphi) = m(r, \varphi) \delta_0 \cdot U^\alpha$$

физические характеристики пористой среды и флюида [1,2]. Для решения задачи (1) можно использовать метод физического и математического

расщепления [3], при этом физические характеристики считаются известными как начальные данные. Расщепленные уравнения решаются приближенными методами (сеточный вариант потоковой прогонки [4]). Нелинейные члены линеаризуются методом квазилинеаризации [5]. Далее в определенном временном интервале (например до  $t = T_0$ ) проводится процесс уточнения  $K(r, \varphi)$  и  $m(r, \varphi)$ . Для этого составляются функционалы

$$\begin{aligned} J_1(K(r, \varphi)) &= \sum_{r=r_0}^{N_1} \sum_{\varphi=\varphi_0}^{N_2} [\bar{U}_{r,\varphi,t} - \bar{U}(K(r, \varphi, t))]^2, \\ J_2(m(r, \varphi)) &= \sum_{r=r_0}^{N_1} \sum_{\varphi=\varphi_0}^{N_2} [\bar{U}_{r,\varphi,t} - \bar{U}(m(r, \varphi, t))]^2 \end{aligned} \quad (2)$$

и находятся их минимальные значения.

В точках минимума частные производные обращаются нулю:

$$\frac{\partial J_1(K(r, \varphi))}{\partial K} = 0, \quad \frac{\partial J_2(m(r, \varphi))}{\partial m} = 0 \quad (3)$$

Относительно  $K(r, \varphi)$  и  $m(r, \varphi)$  построим итерационный процесс:

$$\begin{aligned} K_{s+1}(r, \varphi) &= K_s(r, \varphi) + \Delta K(r, \varphi), \\ m_{s+1}(r, \varphi) &= m_s(r, \varphi) + \Delta m(r, \varphi). \quad S = 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (4)$$

Учитывая (4) из (2) имеем:

$$J_1(K_s(r, \varphi) + \Delta K(r, \varphi)) = \sum_{r=r_0}^{N_1} \sum_{\varphi=\varphi_0}^{N_2} [\bar{U}_{r,\varphi,t} - \bar{U}_{r,\varphi,t}(K_s(r, \varphi, t) + \Delta K(r, \varphi))]^2, \quad (5)$$

$$J_2(m_s(r, \varphi) + \Delta m(r, \varphi)) = \sum_{r=r_0}^{N_1} \sum_{\varphi=\varphi_0}^{N_2} [\bar{U}_{r,\varphi,t} - \bar{U}_{r,\varphi,t}(m_s(r, \varphi, t) + \Delta m(r, \varphi))]^2, \quad (6)$$

В равенстве (5) и (6) функции  $\bar{U}_{r,\varphi,t}(K_s(r, \varphi, t) + \Delta K(r, \varphi))$ ,  $\bar{U}_{r,\varphi,t}(m_s(r, \varphi, t) + \Delta m(r, \varphi))$  разложим в ряд Тейлора и ограничимся двумя членами ряда

$$\bar{U}_{r,\varphi,t}(m_s(r, \varphi, t) + \Delta m(r, \varphi)) = U_{r,\varphi,t}(m_s(r, \varphi, t)) + \frac{\partial U_{r,\varphi,t}(m_s(r, \varphi, t))}{\partial m} \cdot \Delta m + o(\Delta m^2),$$

$$\bar{U}_{r,\varphi,t}(K_s(r, \varphi, t) + \Delta K(r, \varphi)) = U_{r,\varphi,t}(K_s(r, \varphi, t)) + \frac{\partial U_{r,\varphi,t}(K_s(r, \varphi, t))}{\partial K} \cdot \Delta K + o(\Delta K^2)$$

С учетом этих разложений равенства (5) и (6) примут вид (при этом пренебрегаем величинами  $o(\varepsilon^2)$ )

$$\begin{aligned} J_1(\Delta K(r, \varphi)) &= \sum_r^{N_1} \sum_\varphi^{N_2} \left[ \bar{U}_{r,\varphi,t} - U_{r,\varphi,t}(K_s) - \frac{\partial U_{r,\varphi,t}(K_s)}{\partial K} \Delta K \right]^2 \\ J_2(\Delta m(r, \varphi)) &= \sum_r^{N_1} \sum_\varphi^{N_2} \left[ \bar{U}_{r,\varphi,t} - U_{r,\varphi,t}(m_s) - \frac{\partial U_{r,\varphi,t}(m_s)}{\partial m} \Delta m \right]^2 \end{aligned}$$

Согласно (3) отсюда имеем

$$\begin{aligned} 2 \sum_r^{N_1} \sum_\varphi^{N_2} \left[ \bar{U}_{r,\varphi,t} - U_{r,\varphi,t}(K_s) - \frac{\partial U_{r,\varphi,t}(K_s)}{\partial K} \Delta K \right] \frac{\partial U_{r,\varphi,t}}{\partial K} &= 0, \\ 2 \sum_r^{N_1} \sum_\varphi^{N_2} \left[ \bar{U}_{r,\varphi,t} - U_{r,\varphi,t}(m_s) - \frac{\partial U_{r,\varphi,t}(m_s)}{\partial m} \Delta m \right] \frac{\partial U_{r,\varphi,t}}{\partial m} &= 0. \end{aligned}$$

Преобразуя эти уравнения получили

$$\Delta K = \sum_r^{N_1} \sum_\varphi^{N_2} [\bar{U}_{r,\varphi,t} - U_{r,\varphi,t}(K_s)] \frac{\partial U_{r,\varphi,t}}{\partial K} / [\sum_r^{N_1} \sum_\varphi^{N_2} (\frac{\partial U_{r,\varphi,t}(K_s)}{\partial K})^2],$$

$$\Delta m = \sum_r^{N_1} \sum_\varphi^{N_2} [\bar{U}_{r,\varphi,t} - U_{r,\varphi,t}(m_s)] \frac{\partial U_{r,\varphi,t}}{\partial m} / [\sum_r^{N_1} \sum_\varphi^{N_2} (\frac{\partial U_{r,\varphi,t}(m_s)}{\partial m})^2]$$

для определения поправочных коэффициентов  $\Delta K$  и  $\Delta m$  для итерационной формулы (4).

После определения их по (4) мы получим следующие приближения этих коэффициентов. Итерационный процесс, позволяющий уточнить фильтрационные и ёмкостные характеристики модели продолжится до выполнения условий  $|\Delta K| < \varepsilon_1$ ,  $|\Delta m| < \varepsilon_2$ , где  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  положительные малые величины определяющие точность вычислений. Необходимо учесть, что в каждом известном значении величины  $K_n(r, \varphi, t)$ ,  $m_n(r, \varphi, t)$  функции  $U_{r,\varphi,t}(K_n)$ ,  $U_{r,\varphi,t}(m_n)$  определяются как решение задачи (1). Предложенный способ определения пьезопроводных коэффициентов, является более простым, чем решение обратных сложных задач [6,7] теории фильтрации флюидов в особенности полярной системе координат, и его можно рассматривать, как один из способов уточнения коэффициентов проницаемости и пористости.

### Литература

1. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. М.: Недра. 1972. – 288 с.
2. Каюмов Ш. Приближенно – аналитические методы решения задач теории фильтрации вязко – пластических флюидов. Т.: Издательство ФАН. 1991 г. – 156 с.
3. Марчук Г.И. Методы расщепления. –М: Наука. Гл. ред. физ. – мат. лит. 1988. – 264 с.
4. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. – М.: Наука, 1978. – 592 с.
5. Беллман Р., Калаба Р. Квазилинеаризации и нелинейные краевые задачи. М.: Изд. «МИР». 1968. – 210 с
6. Samarskii A.A. The theory of difference schemes. New York – Basel: Mrcel Dekker. Inc. 2001. – 761 p.
7. Каюмов Ш. Математическое моделирование задачи теории фильтрации со свободными границами ТГТУ. Ташкент. 2017 – 274 с.



## КУМУЛЯНТНЫЙ АНАЛИЗ СЛУЧАЙНОГО ФОТОТЕЛЕГРАФНОГО СИГНАЛА

**Красильников А.И.**

Институт технической теплофизики НАН Украины

03057, Киев, ул. М. Капнист, 2а, тел. (044)4532857

e-mail: tangorov@ukr.net

Моделью многих реальных процессов в радиофизике и радиотехнике является стационарный случайный фототелеграфный сигнал  $\xi(t)$ , который в случайные моменты времени  $t_k$ , образующие однородный пуассоновский поток событий, поочередно меняет значения с  $-a$  на  $+a$  с вероятностями  $\mathbf{P}\{\xi(t) = -a\} = q$ ,  $\mathbf{P}\{\xi(t) = a\} = p$ ,  $a > 0$ ,  $q, p \in [0;1]$ ,  $p + q = 1$ .

В настоящее время задачи анализа фототелеграфного сигнала решаются в рамках корреляционно-спектральной теории и отсутствуют работы, в которых рассматриваются его моменты и кумулянты. В данной работе приведены результаты исследования кумулянтов случайного фототелеграфного сигнала.

Моменты и кумулянты рассматриваем как функции от переменной  $p$ . Исходя из определения случайного фототелеграфного сигнала, находим его начальные моменты порядка  $s$ :

$$\alpha_s(p) = \begin{cases} a^s (p - q), & s - \text{нечетное,} \\ a^s, & s - \text{четное.} \end{cases}$$

Центральные моменты  $\mu_s(p)$  находим, используя формулы, связывающие центральные моменты с начальными:

$$\mu_2(p) = (2a)^2 pq, \quad \mu_3(p) = (2a)^3 pq(q - p), \quad \mu_4(p) = (2a)^4 pq(1 - 3pq),$$

$$\mu_5(p) = (2a)^5 pq(q - p)(1 - 2pq), \quad \mu_6(p) = (2a)^6 pq(1 - 5pq + 5p^2q^2),$$

$$\mu_7(p) = (2a)^7 pq(q - p)(1 - 4pq + 3p^2q^2),$$

$$\mu_8(p) = (2a)^8 pq(1 - 7pq + 14p^2q^2 - 7p^3q^3).$$

Кумулянти  $\kappa_s(p)$  случайного фототелеграфного сигнала находим, используя формулы, связывающие кумулянты с центральными моментами:

$$\kappa_1(p) = a(p - q), \kappa_2(p) = (2a)^2 pq, \kappa_3(p) = (2a)^3 pq(q - p),$$

$$\kappa_4(p) = (2a)^4 pq(1 - 6pq), \kappa_5(p) = (2a)^5 pq(q - p)(1 - 12pq),$$

$$\kappa_6(p) = (2a)^6 pq(1 - 30pq + 120p^2q^2),$$

$$\kappa_7(p) = (2a)^7 pq(q - p)(1 - 60pq + 360p^2q^2),$$

$$\kappa_8(p) = (2a)^8 pq(1 - 126pq + 1680p^2q^2 - 5040p^3q^3).$$

Получены корни  $p_{s,k}$  уравнения  $\kappa_s(p) = 0$ ,  $k$  – номер корня, и определены области значений  $p$ , при которых  $\kappa_s(p) < 0$  и  $\kappa_s(p) > 0$  (табл.1).

Таблица 1

Кумулянт $\kappa_s(p)$	Корни уравнения $\kappa_s(p) = 0$	Области $\kappa_s(p) < 0$	Области $\kappa_s(p) > 0$
$\kappa_3(p)$	$p_{3,1} = 0, p_{3,2} = 0,5, p_{3,3} = 1$	$p \in (p_{3,2}; p_{3,3})$	$p \in (p_{3,1}; p_{3,2})$
$\kappa_4(p)$	$p_{4,1} = 0; p_{4,2} = 0,21132, p_{4,3} = 0,78868, p_{4,4} = 1.$	$p \in (p_{4,2}; p_{4,3})$	$p \in (p_{4,1}; p_{4,2})$ $p \in (p_{4,3}; p_{4,4})$
$\kappa_5(p)$	$p_{5,1} = 0, p_{5,2} = 0,09175, p_{5,3} = 0,5, p_{5,4} = 0,90825, p_{5,5} = 1$	$p \in (p_{5,2}; p_{5,3})$ $p \in (p_{5,4}; p_{5,5})$	$p \in (p_{5,1}; p_{5,2})$ $p \in (p_{5,3}; p_{5,4})$
$\kappa_6(p)$	$p_{6,1} = 0, p_{6,2} = 0,04132, p_{6,3} = 0,30098, p_{6,4} = 0,69902, p_{6,5} = 0,95868, p_{6,6} = 1$	$p \in (p_{6,2}; p_{6,3})$ $p \in (p_{6,4}; p_{6,5})$	$p \in (p_{6,1}; p_{6,2})$ $p \in (p_{6,3}; p_{6,4})$ $p \in (p_{6,5}; p_{6,6})$
$\kappa_7(p)$	$p_{7,1} = 0, p_{7,2} = 0,01915, p_{7,3} = 0,18044, p_{7,4} = 0,5, p_{7,5} = 0,81956, p_{7,6} = 0,98085, p_{7,7} = 1$	$p \in (p_{7,2}; p_{7,3})$ $p \in (p_{7,4}; p_{7,5})$ $p \in (p_{7,6}; p_{7,7})$	$p \in (p_{7,1}; p_{7,2})$ $p \in (p_{7,3}; p_{7,4})$ $p \in (p_{7,5}; p_{7,6})$
$\kappa_8(p)$	$p_{8,1} = 0, p_{8,2} = 0,00906, p_{8,3} = 0,10918, p_{8,4} = 0,34864, p_{8,5} = 0,65136, p_{8,6} = 0,89082, p_{8,7} = 0,99094, p_{8,8} = 1$	$p \in (p_{8,2}; p_{8,3})$ $p \in (p_{8,4}; p_{8,5})$ $p \in (p_{8,6}; p_{8,7})$	$p \in (p_{8,1}; p_{8,2})$ $p \in (p_{8,3}; p_{8,4})$ $p \in (p_{8,5}; p_{8,6})$ $p \in (p_{8,7}; p_{8,8})$

Кумулянты  $\kappa_s(p)$  имеют  $s-1$  экстремум. В табл.2 приведены значения точек экстремумов  $p_{s,\min k}$ ,  $p_{s,\max k}$  функции  $\kappa_s(p)$ , ее локальные минимумы  $\min_k \kappa_s(p) = \kappa_s(p_{s,\min k})$  и максимумы  $\max_k \kappa_s(p) = \kappa_s(p_{s,\max k})$  при  $a=1$ .

Таблица 2

Кумулянт $\kappa_s(p)$	Минимумы $\kappa_s(p)$		Максимумы $\kappa_s(p)$	
	$p_{s,\min k}$	$\min_k \kappa_s(p)$	$p_{s,\max k}$	$\max_k \kappa_s(p)$
$\kappa_3(p)$	0,78868	-0,7698	0,2113	0,7698
$\kappa_4(p)$	0,5	-2	0,09175 0,90825	0,66667 0,66667
$\kappa_5(p)$	0,30098 0,95868	-4,08589 -0,61009	0,04132 0,69902	0,61009 4,08589
$\kappa_6(p)$	0,18044 0,81956	-7,68674 -7,68674	0,01915 0,5 0,98085	0,57563 16 0,57563
$\kappa_7(p)$	0,10917 0,65135 0,99093	-13,91684 -52,26595 -0,55328	0,00907 0,34865 0,89083	0,55328 52,26595 13,91684
$\kappa_8(p)$	0,06686 0,5 0,93314	-24,68772 -272 -24,68772	0,00436 0,24168 0,75832 0,99564	0,53818 155,34954 155,34954 0,53818

Рассмотрена модель  $\eta(t) = \xi(t) + \xi_N(t)$ , где  $\xi(t)$  – случайный фототелеграфный сигнал,  $\xi_N(t)$  – гауссовый стационарный процесс, у которого  $\mathbf{M}\xi_N(t) = 0$ ,  $\mathbf{D}\xi_N(t) = 1$ ; процессы  $\xi(t)$ ,  $\xi_N(t)$  независимые. Процесс  $\eta(t)$  имеет непрерывные мгновенные значения и его плотность вероятностей  $p_\eta(x)$ , которая может быть одновершинной или двухвершинной, равна

$$p_\eta(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[ qe^{-0,5(x+a)^2} + pe^{-0,5(x-a)^2} \right].$$

Кумулянты  $\hat{\kappa}_s(p)$  процесса  $\eta(t)$  равны:  $\hat{\kappa}_s(p) = \kappa_s(p)$ ,  $s \neq 2$ ,  $\hat{\kappa}_2(p) = \kappa_2(p) + 1$ . В частном случае, когда  $p = p_{4,2} = 0,21132$  или  $p = p_{4,3} = 0,78868$ ,  $\eta(t)$  является моделью негауссового процесса с нулевым коэффициентом эксцесса при любых значениях параметра  $a$ .

## КЛАССИФИКАЦИЯ СЕМЕЙСТВА РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СУББОТИНА

**Красильников А.И.**

Институт технической теплофизики НАН Украины

03057, Киев, ул. М. Капнист, 2а, тел. (044)4532857

e-mail: tangorov@ukr.net

Плотность вероятностей одной из негауссовых моделей аппроксимации закона распределения ошибок обосновал советский математик М.Т. Субботин (1923 г.)

$$p(x; c) = \frac{\beta c}{2\Gamma(1/c)} e^{-\beta|x|^c}, \quad x \in (-\infty, \infty), \quad (1)$$

где  $\beta > 0$  – параметр масштаба,  $c > 0$  – параметр формы,  $\Gamma(x)$  – гамма-функция.

Плотность вероятностей (1) широко применяется в качестве модели распределения погрешностей результатов измерений, мгновенных значений хаотических импульсных помех, биомедицинских, видео, аудио сигналов и др.

В литературе, посвященной исследованию вероятностных характеристик плотности вероятностей (1), приводятся различные ее формы под разными названиями – обобщенное нормальное распределение (generalized normal distribution), обобщенное гауссово распределение (generalized Gaussian distribution), распределение ошибок (error distribution), обобщенное распределение ошибок (general error distribution), экспоненциальное степенное распределение (exponential power distribution) и др.

Распределения с плотностью вероятностей (1), которые логично называть семейством распределений Субботина, в зависимости от значений параметра формы определяет различные типы распределений, в частности, распределение Лапласа ( $c = 1$ ) и гауссово распределение ( $c = 2$ ).

В данной работе предложена классификация семейства распределений Субботина, основанная на полученных результатах исследования свойств его плотности вероятностей и кумулянтных коэффициентов.

Получена формула для нахождения центральных моментов  $\mu_s(c)$  семейства распределений Субботина

$$\mu_s(c) = 0, s = 1, 3, \dots; \quad \mu_s(c) = \Gamma[(s+1)/c] / [\beta^s \Gamma(1/c)], s = 2, 4, \dots,$$

и исследована их зависимость от параметра формы  $c$ .

Получена стандартизированная плотность вероятностей  $\tilde{p}(x; c)$  семейства распределений Субботина:

$$\tilde{p}(x; c) = A_0(c) e^{-|\beta_0(c)x|^c}, \quad (2)$$

где  $A_0(c)$  – нормирующий множитель,  $\beta_0(c)$  – параметр масштаба:

$$\beta_0(c) = [\Gamma(3/c) / \Gamma(1/c)]^{1/2}, \quad A_0(c) = c \beta_0(c) / [2\Gamma(1/c)].$$

Исследованы свойства функций  $A_0(c)$  и  $\beta_0(c)$ . Показано, что производная плотности вероятностей (2) в точке  $x=0$  разрывная при значениях параметра формы  $0 < c \leq 1$  и непрерывная при  $c > 1$ . Поэтому все плотности вероятностей семейства (2) разделяются на два типа: распределения, у которых вершина плотности вероятностей – угловая точка ( $0 < c \leq 1$ ), и распределения, у которых вершина плотности вероятностей – гладкая ( $c > 1$ ).

Исследованы кумулянтные коэффициенты

$$\gamma_4(c) = M_4(c) - 3, \quad \gamma_6(c) = M_6(c) - 15M_4(c) + 30,$$

$$\gamma_8(c) = M_8(c) - 28M_6(c) - 35M_4^2(c) + 420M_4(c) - 630,$$

где  $M_s(c) = \mu_s(c) / \mu_2^{s/2}(c)$  – нормированные центральные моменты.

Показано, что при значениях  $0 < c \leq 1$  коэффициенты  $\gamma_4(c)$ ,  $\gamma_6(c)$ ,  $\gamma_8(c)$  положительны, при  $c \rightarrow 0$  стремятся к бесконечности и монотонно убывают с ростом  $c$ , при  $c = 1$  – равны коэффициентам соответствующих порядков распределения Лапласа.

При значениях  $1 < c \leq 2$  коэффициент  $\gamma_4(c) > 0$  и монотонно убывает, а коэффициенты  $\gamma_6(c)$ ,  $\gamma_8(c)$  принимают положительные и отрицательные значения, при  $c = 2$  – коэффициенты  $\gamma_4(c)$ ,  $\gamma_6(c)$ ,  $\gamma_8(c)$  равны нулю.

При значениях  $c > 2$  коэффициент  $\gamma_4(c) < 0$  и монотонно убывает,  $\gamma_6(c) > 0$  и монотонно возрастает,  $\gamma_8(c) < 0$  и монотонно убывает; при  $c \rightarrow \infty$  коэффициенты  $\gamma_4(c)$ ,  $\gamma_6(c)$ ,  $\gamma_8(c)$  стремятся к кумулянтным коэффициентам соответствующих порядков равномерного распределения.

Используя в качестве классификационных критериев свойства производной плотности вероятностей и кумулянтных коэффициентов при различных значениях параметра формы  $c$  семейство распределений Субботина можно разделить на классы и типы.

**Класс 1.** Распределения с угловой вершиной,  $0 < c \leq 1$ . Критерий – производная плотности вероятностей в точке  $x=0$  разрывная, у плотности вероятностей вершина является угловой точкой. Свойства – кумулянтные коэффициенты положительные.

**Класс 2.** Распределения с гладкой вершиной,  $c > 1$ . Критерий – производная плотности вероятностей в точке  $x=0$  непрерывная, у плотности вероятностей гладкая вершина.

Распределения класса 1 можно разделить на следующие типы.

**Тип 1.1.** Распределение Лапласа,  $c=1$ . Критерий – производная плотности вероятностей в точке  $x=0$  имеет разрыв 1 рода. Распределение Лапласа является граничным для классов 1 и 2.

**Тип 1.2.** Обобщенные распределения Лапласа,  $0 < c < 1$ . Критерий – производная плотности вероятностей в точке  $x=0$  имеет разрыв 2 рода. Свойства –  $A_0(c) > A_0(1)$ .

**Тип 1.2.L.** Вырожденное распределение,  $c \rightarrow 0$ . Предельное распределение для типа 1.2. Свойства – кумулянтные коэффициенты  $\gamma_s(0) = \infty$ .

Распределения класса 2 можно разделить на следующие типы.

**Тип 2.1.** Гауссово распределение,  $c=2$ . Критерий – все кумулянтные коэффициенты равны нулю. Гауссово распределение является граничным для типов 2.2 и 2.3.

**Тип 2.2.** Обобщенные гауссовы островершинные распределения,  $1 < c < 2$ . Критерий – кумулянтные коэффициенты  $\gamma_6(c)$ ,  $\gamma_8(c)$  знакопеременные функции. Свойства –  $\gamma_4(c) > 0$ ;  $A_0(2) < A_0(c) < A_0(1)$ .

**Тип 2.2.L.** Предельное распределение для типа 2.2,  $c \rightarrow 1+$ . Свойства – плотность вероятностей  $\tilde{p}(x;c) \rightarrow \tilde{p}(x;1)$ , т.е. стремится к распределению Лапласа, однако имеет гладкую вершину; кумулянтные коэффициенты положительные.

**Тип 2.3.** Обобщенные гауссовы плосковершинные распределения,  $c > 2$ . Критерий – коэффициенты  $\gamma_4(c) < 0$ ,  $\gamma_6(c) > 0$ ,  $\gamma_8(c) < 0$ . Свойства –  $A_0(c) < A_0(2)$ .

**Тип 2.3.L.** Прямоугольное распределение,  $c \rightarrow \infty$ . Предельное распределение для типа 2.3. Свойства – плотность вероятностей  $\tilde{p}(x;c)$  стремится к прямоугольному распределению на интервале  $(-\sqrt{3}; \sqrt{3}]$ , но является непрерывной функцией; коэффициенты  $\gamma_s(\infty)$  равны кумулянтным коэффициентам соответствующих порядков равномерного распределения.

На рис. 1 представлены графики плотности вероятностей (2) распределений Субботина класса 1, на рис. 2 – распределений класса 2.

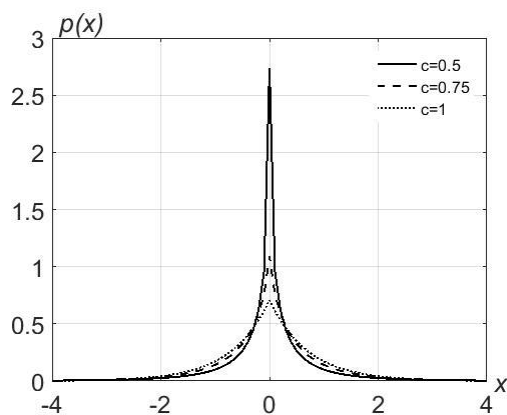


Рис.1

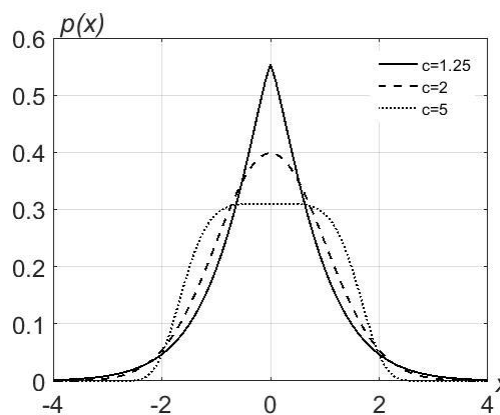


Рис.2

## НОВІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПОШИРЕННЯ ВІРУСНИХ ІНФЕКЦІЙ

Кривенко О.В.<sup>1</sup>, Кривенко Є.О.<sup>1</sup>, Луценко В.І.<sup>1</sup>, Бабаков М.Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут Радіофізики і Електроніки ім. А. Я. Усикова НАНУ,

<sup>2</sup> Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е Жуковський.

Спроба використовувати класичні підходи для опису механізмів передачі та поширення нової інфекції COVID-19 і пов'язаних з цим методик проведення санітарно-профілактичних заходів виявилися неефективні. На часі створення моделей нової вірусної інфекції та математичного опису механізмів її поширення.

### 1. Лега моделі вірусних інфекцій

Останні дослідження показали, що новий вірусний генوم може бути розділений між різними клітинами і все ще провокувати інфекцію [1]. Це перевертає сучасне уявлення про вірусні захворювання. Виявляється, різні ділянки вірусного геному можуть жити в різних клітинах, але при цьому працювати спільно, викликаючи інфекцію. У багато роздільних (multipartite) вірусів геном розділений на кілька сегментів, кожен з яких укладено в окрему вірусну частку. Раніше вважалося, що для того щоб викликати інфекцію, всі сегменти вірусного геному повинні переміщатися разом від клітини до клітини. Але нові дослідження показують, що це не так. В процесі передачі геному існує велика ймовірність того, що вірус втратить суттєвий сегмент, однак при цьому той сегмент, що залишився може викликати інфекцію. Таким чином, новий тип коронавірусної інфекції Covid 2019 може являти собою абсолютно новий як в плані математичного опису поширення епідемії, так і по патогенного впливу і утворенню імунітету тип вірусної інфекції, що вимагає створення нових моделей і методів математичного опису.

Нова інфекція може розглядатись, як така, що складається з декількох фрагментів, які можуть існувати і реплікуватися в організмі одночасно, посилюючи досяжний патогенний ефект. Спрощено ситуація виглядає



наступним чином. Коронавірусна інфекція є лего, що складається з багатьох (кількох) шматочків (фрагментів). Носій шматочка лего – інфекції, спілкуючись з іншими носіями, може доповнювати наявну інфекцію іншими фрагментами. Коли патогенність, як за рахунок накопичення досить великого фрагмента інфекції, так і її кількості (доза) зможе пробити імунний бар'єр носія, то станеться його захворювання. Тяжкість захворювання тим вище, чим більшу частину лего - інфекції вдалося людині зібрати в своєму організмі. Тому вища ймовірність серйозно захворіти у тих, хто веде активний спосіб життя і має можливість спілкуватися з великою кількістю носіїв різних фрагментів інфекції. Крім того, перебування у колективі інфікованих (наприклад в лікарні у палаті з такими ж хворими, але у яких можуть бути інші фрагменти інфекції) дозволяє за рахунок взаємного інфікування посилити ефект захворювання. Тому якщо в лікарні інфіковані містяться спільно, то вражаючий ефект хвороби буде вище.

## 2 Математична модель поширення інфекції

Для опису поширення коронавірусної інфекції можна використовувати модернізацію існуючих моделей SEIRD і SEIHR, створених для опису поширення лихоманки Ебола [2]. Модифіковану модель можна назвати SEIHRD. Розглянемо докладніше кластери, що входять до її складу:

$S(t)$  позначає число сприйнятливих індивідуумів, що знаходяться в групі ризику, в момент часу  $t$ ;  $E(t)$  - число індивідуумів, захворювання яких знаходиться в інкубаційному періоді;  $I(t)$  - число інфікованих, здатних поширити захворювання;  $H(t)$  - число госпіталізованих;  $R(t)$  позначає тих, хто видужав;  $D(t)$  - померлих. SEIHRD - модель може бути виражена наступними диференціальними рівняннями:

$$\begin{aligned} dS(t)/dt &= -1/N (\beta_I S(t)I(t) + \beta_H S(t)H(t)); \\ dE(t)/dt &= 1/N (\beta_I S(t)I(t) + \beta_H S(t)H(t)) - \alpha E(t); \\ dI(t)/dt &= \alpha E(t) - (\gamma_H \theta_1 + \gamma_I (1 - \theta_1)(1 - \delta_1) + \gamma_D (1 - \theta_1) \delta_1) I(t); \\ dH(t)/dt &= \gamma_H \theta_1 I(t) - (\gamma_{DH} \delta_2 + \gamma_{IH} (1 - \delta_2)) H(t); \\ dD(t)/dt &= \gamma_D (1 - \theta_1) \delta_1 I(t) + \gamma_{DH} \delta_2 H(t); \end{aligned} \quad (1)$$

$$dR(t)/dt = \gamma_I(1 - \theta_1)(1 - \delta_1)I(t) + \gamma_{IH}(1 - \delta_2)H(t);$$

де:  $\beta_I$  - коефіцієнт контакту в співтоваристві;  $\beta_H$  - коефіцієнт контакту в госпіталі;  $1/\alpha$  - середня тривалість інкубаційного періоду;  $1/\gamma_H$  - середня тривалість періоду від появи перших симптомів до госпіталізації;  $1/\gamma_{DH}$  - середня тривалість періоду від госпіталізації до смерті;  $1/\gamma_I$  - середня тривалість заразного періоду для тих, хто одужав;  $1/\gamma_D$  - середня тривалість заразного періоду для померлого;  $1/\gamma_{IH}$  - середня тривалість періоду від госпіталізації до одужання;  $\theta$  - частка випадків госпіталізації;  $\delta$  - коефіцієнт летальності;  $\delta_1$  і  $\delta_2$  - допоміжні коефіцієнти.

### Висновки

1. Для запропонованого механізму поширення нового типу інфекції Covid 2019 слід очікувати, що при наявності 3 фрагментів можливі до 7 варіантів (штамів) різної патогенності і до 3 хвиль епідемії. Збільшення фрагментів до 4 призведе до побільшення патогенності захворювання, кількості хвиль епідемії (до 4) та варіантів захворювання до 15. Лікарі повинні дотримуватися специфічних санітарно-епідеміологічних заходів і ставитися до пацієнтів, як до хворих різними інфекціями для виключення перенесення інфекції від одного пацієнта до іншого. Розміщення хворих в медустановах має мінімізувати можливість їх взаємного інфікування, бажано в одиночних боксах.

2. Для опису процесу поширення епідемії лево-вірусних інфекцій типу COVID-2019 доцільно використовувати запропоновану модель SEIHRD. Що дозволить врахувати наявність інкубаційного періоду та можливість додаткового інфікування у лікарні.

### Перелік літератури

1. Bar-On SARS-CoV-2 (COVID-19) by the numbers. / Bar-On, Yinon & Flamholz, Avi & Phillips, Rob & Milo, Ron. // eLife. -2020. - 9. 10.7554
2. Legrand J. Understanding the dynamics of Ebola epidemics / J. Legrand, R.F. Grais, P.Y. Boelle, A.J. Valleron, A. Flahault // Epidemiology and Infection. – 2007 - V. 135. - P. 610-621.

УДК 004.81:159.953.52:159.923:164.053:614.8

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА ОЦІНКА РИЗИКУ В ТЕХНОГЕННИХ СИСТЕМАХ ЗА УМОВ КОГНІТИВНИХ ЗБОЇВ

**В.І. Кунченко – Харченко, Л.С. Сікора, Н.К. Лиса, Р.Л. Ткачук,**

Черкаський державний технологічний університет

18000, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. (0472) 730261

Національний університет «Львівська політехніка»,

79013, Львів, вул. С. Бандери 12

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,

79000, Львів, вул. Клепарівська, 35

В статті розглянуто методи побудови інформаційної технології формування та прийняття рішень, в умовах ризику, для управління техногенними системами з використанням когнітивної моделі операторської діяльності як основи інтелектуалізації процесів прийняття рішень. Обґрунтовано, на підставі системного аналізу, декомпозицію проблеми управління, на задачі розв'язання якої необхідне прийняття рішень.

Побудована структурна схема взаємодії інтелектуальної АСУ з особою управління (командою) та розроблена інформаційна технологія діалогу в структурі управління техногенною системою. Обґрунтовано схему взаємодії конфліктних активних систем в умовах перерозподілу ресурсів.

Проведена класифікація управлінських задач з використанням системного аналізу та інформаційної технології для оцінки ситуації в системі. Розроблено структуру когнітивно-логічного формування задач управління в умовах ризику на підставі моделі інтелектуального агента та генератора процедур їх розв'язання, ситуаційних задач.

**Ключові слова.** Система, інформація, ситуація, знання, ризики, рішення, когнітивні процедури, конфлікти, логічні, правила, управління.

**Постановка проблеми.** Інтегровані людино-машинні системи, диспетчерські структури автоматизованих систем навчання персоналу – це ієрархічні системами, які характеризуються невизначеністю структури і динаміки об'єктів управління. Тому прийняття рішень в таких системах при неповних даних про проблему та структуру функціонування технологічних процесів та при дії на них збурюючих впливів з апріорно невідомими статистичними характеристиками є складною інтелектуальною процедурою, яка включає вибір адекватних моделей об'єктів, алгоритмів відбору і

опрацювання даних, та відповідно, формування підходів до синтезу процедур прийняття рішень з використанням теорії можливості та теорії нечітких множин в оцінці ситуацій на основі розпізнавання образів стану об'єктів [1, 2, 4-7].

**Мета.** Обґрунтування методів інформаційних технологій, системного аналізу, логіко-когнітивних моделей для створення систем управління техногенними структурами в умовах загроз.

#### **Аналіз літературних джерел.**

У фундаментальній праці [1] розглянуто засади створення автоматизованих людино-машинних систем комплексного управління, структурами та дано прогноз розвитку великих систем. В працях [2, 3] проаналізовано методи побудови ієрархічних систем з використанням когнітивних моделей оператора управлінця. Проблеми операторської діяльності з управління в АСУ та оперативного мислення при прийнятті рішень розглянуті в монографіях [4, 5], а проблеми управління в умовах зміни ситуації при дії збурень на процес прийняття рішень в роботах [6, 8,]. В монографії [7] висвітлено логічні проблеми штучного інтелекту для використання в системах управління.

**Постановка проблеми.** Прийняття рішень при дії активних загроз в ієрархічних організаційно-виробничих системах є складною проблемою і характеризується як ігровою компонентою, так і чіткими процедурами прийняття рішень в управлінні режимом функціонування технологічних процесів (ТП) та організаційно-адміністративними структурами (ОАС), як в нормальних так і в екстремальних умовах за рахунок атак інформаційного типу та когнітивних збоїв управлінців.

Декомпозицію проблеми прийняття управлінських рішень в умовах ризиків дії загроз можна розділити на комплекс задач:

- створення нових інтелектуальних систем управління процесами функціонування автономних систем управління (АСУ) ТП і ОАС;
- діагностики режимів функціонування існуючих АСУ, оптимізацію та адаптацію при дії збурень і загроз та зміні їх цілеорієнтації;

#### **Класифікація інтелектуальних інформаційних систем управління.**

Наведемо класифікацію інтелектуальних інформаційних систем (ІС) [2, 3], які є складовими автоматизованих систем управління (людино-машинні комплекси):

- проблемно-орієнтовані експертні системи з використанням штучного інтелекту для обробки та класифікації даних;

- інтелектуальні інформаційні системи ситуаційного управління техногенними і організаційними структурами, які функціонують в умовах загроз та атак на зміну стратегій і цілей;
- розрахунково-логічні моделюючі системи динаміки потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) – об'єктів проектування;
- інтелектуальні навчальні системи в структурі університетів;
- інтелектуальні тренажери для спеціальної підготовки персоналу який працює в умовах загроз та когнітивних зривів;
- інтелектуальні агенти, як цілеорієнтовані структури в ієрархічних системах управління техногенними системами;

**Розглянемо класи задач, розв'язання яких забезпечує надійне функціонування техногенних систем в умовах дії активних загроз.**

Проблемна область і типи розв'язуваних задач, які може виконати інформаційно-інтелектуальна система (ІС) [4, 5] при розробленні стратегій управління та забезпечення стійкості до активних загроз, інформаційних атак на систему АСУ і техногенні структури:

- діагностика несправностей складних систем і програмних продуктів;
- планування цілеспрямованої послідовності дій для реалізації стратегій;
- спостереження ситуацій, розпізнавання та класифікація образів;
- управління об'єктом згідно із заданими стратегіями та цілями.

Наведемо структурну схему взаємодії інтелектуальних систем (ІС) (рис. 1).

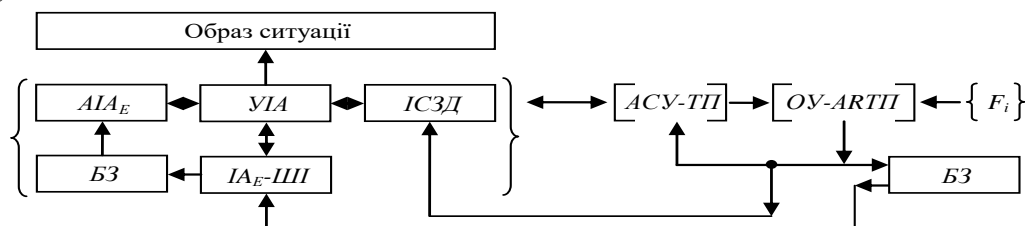


Рис. 1. Структурна схема взаємодії інтелектуальних систем (АСУ-ЛПР)

Така комплексна інтелектуальна структура виконує функцію управління об'єктом з певним типом технологічного процесу  $\{ТП_j \leftarrow F_i\}$ , на який діють збурюючі фактори із зовнішнього середовища та динаміка зміни параметрів ринкового середовища. Задачею системи є утримання об'єкта в цільовій області функціонування при збоях і завадах ресурсного типу. Для ефективного розв'язання задач управління необхідно, щоб структура процедур прийняття рішень і структура даних мали спряжене, узгоджене, формалізоване, логіко-математичне та інформаційне представлення (рис. 2)

та відповідний сенс при сприйнятті змісту ситуації когнітивною системою оператора –управлінця.

Задача, в загальному випадку – це ситуація з невизначеністю, що спонукає цілеспрямовані дії інтелектуальної системи для досягнення визначеної мети в даний момент інтервалу часу та її ефективне рішення на основі апробованих стратегій, методів, алгоритмів і процедур та когнітивних методів.

Ціль в такій системі закодована в розв’язуючій системі (IRZ – інтелектуального розв’язувача задач). Тоді вона виступає як опис вимог до стану системи, в якій сформована цільова задача. Інтелектуальна система (IRZ) характеризується алгоритмом функціонування і процедурою пошуку стратегії розв’язання проблеми, задачі та ситуації на підставі заданої цілеорієнтації.

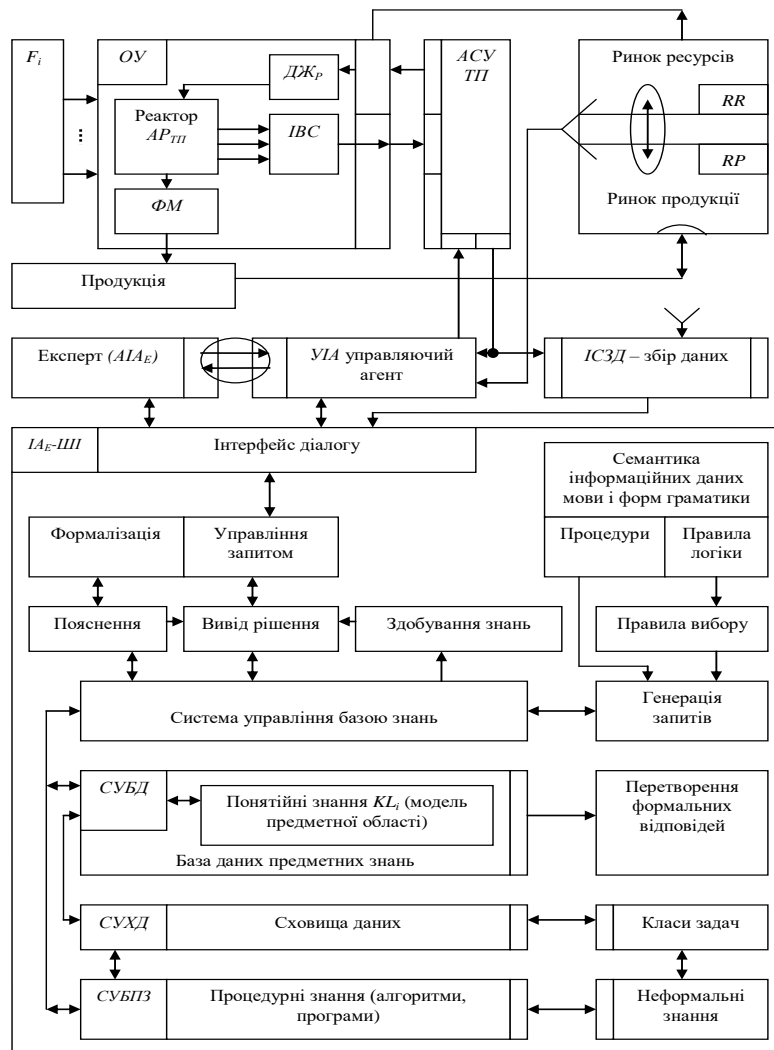


Рис. 2. Інформаційна технологія та схема взаємодії агента зі штучним інтелектом з експертом і координуючим управляючим агентом (ІАСУ-ТП) системи управління

На важливу роль інформаційних технологій для створення методів і процедур розв'язання задач, які виникають при проектуванні систем (техногенних, видавничих і організаційних), в своїх наукових дослідженнях вказав В. М. Глушков [8].

Обґрунтовуючи їх автоматизацію на основі використання інформаційних моделей діалогового режиму, логічного виведення, методів генерації гіпотез та прийняття рішення, він вперше визначив роль інтелектуалізації управління в схемах побудови процедур синтезу алгоритмів розв'язання конструктивних задач. При цьому не враховували когнітивні, а тільки енергетичні аспекти поведінки оператора при оцінці ним ситуації, яка складається у системі при дії завад і загроз активного типу (див. рис. 2).

Відповідно побудуємо таблицю 1 і таблицю 2, які характеризують здатність оператора до прийняття управлінських рішень.

Експертні оцінки когнітивних компонент ( $CF_i, PR_i$ ) для прийняття рішень управлінцем.

Таблиця 1.

**Когнітивні операції для управління**

Фактор	Логнітивні акти	Kd	Kr
		інтервали	значення
$CF_1$	реалізація цілі	0,8-1,0	0,6-0,9
$CF_2$	цілеорієнтація	0,8-1,0	0,5-,8
$CF_3$	генерація стратегій	0,7-1,0	0,5-0,8
$CF_4$	логіка управління	0,6-1,0	0,4-0,7
$CF_5$	оцінка виконаних дій	0,5-1,0	0,5-0,7
$PR_1$	планування дій	0,6-1,0	0,5-0,8
$PR_2$	вибір альтернатив	0,6-1,0	0,5-0,8
$PR_3$	помилковий вибір $\Omega_i$	0,5-1,0	0,3-0,7
$PR_4$	креативність	0,7-1,0	0,6-0,9
$PR_5$	генерація цілей	0,8-1,0	0,6-0,8
$PR_6$	оцінка ситуацій	0,5-1,0	0,5-0,9
$PR_7$	процедура логіки RZ	0,7-1,0	0,7-0,9
$PR_8$	процедури координації	0,8-1,0	0,7-0,9

Експертна оцінка (II) логіки мислення

Таблиця 2.

## Когнітивні компоненти ІТ – технології (КСі)

Компоненти	Інформаційні операції	Інтервали Kd, Kr	
KCm	когнітивні моделі ціле орієнтованого мислення	0,6-0,95	0,50-0,95
KCd	аналітичний аналіз даних	0,5-0,95	0,50-0,95
KCe	логіка мислення, КІА	0,15-0,95	0,4-0,95
KCa	алгоритмізація когнітивних процесів	0,10-0,95	0,25-0,90
KCz	когнітивний аналіз сутності ситуаційних задач і проблем	0,15-0,85	0,40-0,55
KCp	когнітивні процедури формування схем розв'язання задач	0,14-0,90	0,4-0,85
KCi	виявлення інформаційної сутності проблемних задач	0,25-0,90	0,60-0,95
KCr	використання інформаційних технологій для розв'язання проблем	0,30-0,90	0,60-0,95
KCdv	когнітивна обробка потоків даних КІА одержаних від об'єкта	0,30-0,85	0,40-0,90
KCl	когнітивні моделі логіки прийняття рішень інтелектуальним агентом	0,4-0,90	0,40-0,90

Когнітивні коефіцієнти експертної оцінки інтелектуальних здібностей визначені на підставі обробки даних тестів  $\{PR_{i=1}^n\}$ ,  $\{\forall PR_i \in [0,5-1,0]\}$ ,  $\{KC_{i=1}^n\}$ ,  $\{\forall KC_i \in [0,7-1,0]\}$ , і визначають якість прийняття рішень оператором в умовах дії загроз.

Відповідно маємо оцінки якості прийняття рішень на управління інтелектуальним агентом



$$IA_n \left[ \begin{array}{l} \rightarrow [0,5-0,7] \rightarrow [Rick \rightarrow n] \\ \wedge \{PR_i | i=1,n\} \rightarrow [0,7-0,8] \rightarrow [Alarm] \\ \rightarrow [0,8-1,0] \rightarrow [Norma] \end{array} \right]$$

Оцінка рівня ризику ґрунтується на наступних моделях, які характеризують процеси прийняття управлінських рішень оператором ІА:

1. Ймовірнісна модель ризику на момент ( $t \in T_{nk}$ )

$$Risk(t_i \in T_{nk}) = L_{pi} \{P_i / C_i\}_{ii} \rightarrow \{P_{i+1} / C_{in}\}_{ii+1} \rightarrow |Alarm|$$

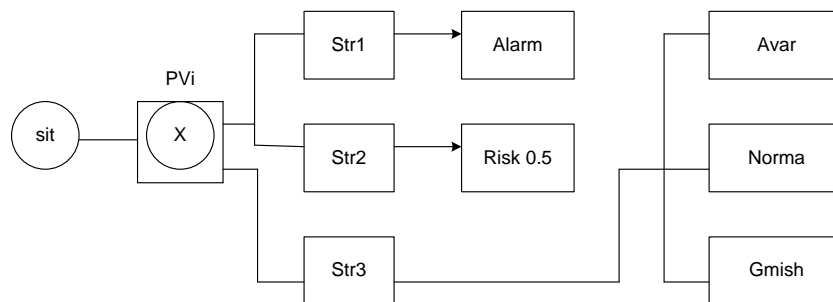
де  $P_i$  – ймовірність неправильних рішень, які ведуть до наслідків  $\{C_i\}$  – збою цільового завдання в аварійну область.

2. Збиткова модель оцінки ризику [22] при оцінці аварійної ситуації:

$$Risk(P / Cui) \rightarrow \emptyset \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} H_{ij} : C_i \in C_v \rightarrow (\alpha_r \rightarrow 0) \\ H_{i2} : C_i \notin C_v \rightarrow (\alpha_r \rightarrow 1) \end{array} \right\}$$

Визначає максимум втрат при виході з цільової області управління ( $C_v$ ).

3. Оцінка ризику на підставі дерева рішень при управлінні в умовах загроз граничного навантаження енергоактивних блоків техногенної системи.



Де  $PVi$  – процедура вибору,  $\{Str_i\}$  - стратегії вибору управляючих дій.

4. Методи платіжних функцій для втрат структури, ресурсів, продукції .

5. Для оцінки рівня ризиків при дії загроз і збоїв управління використано процедури перевірки гіпотез у вигляді:

$$H_1 : \forall x [P(x) \Rightarrow Q(x)], P(x) = Z_j \in B_i;$$

$$H_2 : \forall x [Q(x) \Rightarrow R(x)], Q(x) = Z_{j+1} \in B_{j+1}.$$

Тоді умова досягнення цільового стану задана

$$C_i : \forall x [P(x) \Rightarrow R(x)], traR(x) \equiv (Z_j \rightarrow Z_{j+1} \rightarrow Z_{j+2}), R(x) \equiv Z_{j+2} \in B_c.$$

Ці ланцюги можуть блокуватися в умовах стресу, що приводить до збою управлінських дій та аварійних ситуацій.

**Висновок.** Розглянуто проблему логічного обґрунтування правил прийняття рішень в інтелектуальних системах, обґрунтовано схему діалогу та схему прийняття ситуаційних рішень, як основ синтезу стратегій допустимої поведінки людини (активного агента). Показано, що в стані ступору ланцюги розгортання в процесі логічного цілеорієнтованого виводу і оцінки сценарію подій можуть блокуватись, що приводить до втрати керованості ІАСУ на певний термінальний час.

Розглянуто проблему формування стратегій прийняття цільових рішень для управління складними об'єктами на основі активного інтелектуального агента як цілевиконуючої системи в структурі інтегрованих автоматизованих систем управління. Обґрунтовано методи побудови експертних оцінок для перевірки когнітивних здібностей операторів – інтелектуальних агентів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Глушков В. М. Введение в АСУ. – К.: Техніка, 1974. – 317 с.
2. Дурняк Б. В. Автоматизовані людино-машинні системи управління інтегрованими ієрархічними організаційними та виробничими структурами в умовах ризику і конфліктів: Монографія / Б. В. Дурняк, Л. С. Сікора, М. С. Антоник, Р. Л. Ткачук. – Львів: Українська академія друкарства, 2013. – 514 с.
3. Дурняк Б. В. Когнітивні моделі формування стратегій оперативного управління інтегрованими ієрархічними структурами в умовах ризиків і конфліктів: Монографія / Б. В. Дурняк, Л. С. Сікора, М. С. Антоник, Р. Л. Ткачук. – Львів: Українська академія друкарства, 2013. – 449 с.
4. Зайцев В. С. Системный анализ операторской деятельности / В. С. Зайцев – М.: Сов. Радио, 1990. – 120 с.
5. Кунченко Ю.П. Нелинейная оценка параметров негаусовских радио – физических сигналов. – К. Виша. Школа, 1987 – 191с.
6. Поспелов Г. С. Ситуационное управление. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
7. Сікора Л. С. Когнітивні моделі та логіка оперативного управління в ієрархічних інтегрованих системах в умовах ризику / Л. С. Сікора. – Львів: ЦСД «ЕБТЕС», 2009. – 432 с.: схеми, табл.
8. Человек и вычислительная техника / ред. В. М. Глушков – К.: Наук. думка, 1971. – 290 с.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОГО СТАНУ ПАРОРІДИННОЇ СУМІШІ У ПЛАСТОВИХ СТРУКТУРАХ

Лись Д.А.

Державний університет «Одеська політехніка»

65044, Одеса, пр. Шевченка, 1, тел.. (048)-705-84-36

e-mail: loreal338@gmail.com

Типовим прикладом динамічного стану паро- (газо)рідинної суміші можна розглядати фільтраційний рух газованої нафти у пластових структурах при розробці корисних копалин. Для отримання максимального коефіцієнту нафтовіддачі необхідно забезпечувати «гладку» границю фронту просування (за фізичною суттю — дифузії двофазної газорідинної суміші у пористому ґрунті) обох компонент газованої нафти (рідини — нафти і газу — летючих нафтових фракцій) у пластовій структурі. У іншому випадку, «негладкість» границі фронту просування двофазної нафтогазової суміші спричиняє утворення так званих «застійних» зон, які містять невідфільтровану нафту, що значно знижує її кінцевий видобуток.

Вперше показано, що дослідження «гладкості» границі розділу дифундуючи компонент може бути використано при розв'язуванні задачі на утворення «застійних» зон, в тому числі і для компонент, які мають аномальний характер, тобто таких, що характеризуються в процесі фільтрації законом з граничним градієнтом тиску [1]. Розроблено клас математичних моделей (ММ) процесів динаміки двокомпонентних сумішей на прикладі процесу «поршневого» витискання в пластовій структурі (або витискання з проміжним «агентом» [2]).

Умовою, яка визначає границю розділу компонент. Які дифундують, у випадку спільної фільтрації двокомпонентної газорідинної суміші може слугувати «стрибок» насиченості у функції Баклея-Лeverета [1]

$$J(S) = \frac{k_1^0(S_1)}{\mu_1 k_1^0(S_1) + \mu_2 k_2^0(S_2)}, \quad (1)$$

де  $k_1^0(S_1)$  та  $k_2^0(S_2)$  — відносні фазові проникності для компонент, які дифундують;  $\mu_1$  та  $\mu_2$  — їх густини;  $S_1$  и  $S_2$  — насиченості пластової структури компонентами, які дифундують, відповідно.

Використовуючи рівняння «стрибка» насиченості виду (1) та відомі рівняння динаміки процесу двофазної фільтрації з граничним градієнтом  $G$ , що описують процес дифузії (як згадувалося вище — тотожно динаміці двофазної системи) при відхиленні від лінійного закону Дарсі [1, 2], отримано ММ процесу «поршневого» витискання у вигляді варіаційної нерівності. При цьому «поршнем» виступає проміжний агент, наприклад, піна або полімер, що є хорошим витискачем:

$$\begin{aligned}
 & -\frac{m\partial S_1}{\partial t}(v-S_1) - \int_{\Omega} \frac{k_1 \rho_1}{\mu_1} J(S_1) \left\{ [1-S_1 G_1] \sum_{i=1}^n \left[ \frac{dP_c}{dS_1} \cdot \frac{\partial S_1}{\partial z_i} \cdot \frac{\partial(v-S_1)}{\partial z_i} \right] dz \right\} + \\
 & \quad + \int_{\Omega} \frac{k_1 \rho_1}{\mu_1} J(S_1) \left\{ [1-S_1 G_1] \cdot \left[ \frac{\partial^2 P}{\partial z_i^2} |v| \right] \right\} dz - \\
 & - \int_{\Omega} \frac{k_1 \rho_1}{\mu_1} J(S_1) \left\{ [1-S_1 G_1] \cdot \left[ \frac{\partial^2 P}{\partial z_i^2} |S_1| \right] \right\} dz \geq \frac{1}{h} \sum_{j=1}^{K_1} \zeta_j Q_{1j} \quad \forall v, S_1 \in K, \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$-\frac{m\partial S_3}{\partial t} - \frac{k_2 \rho_2}{\mu_2} J(S_2) \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial z_i} \left[ \frac{\partial P}{\partial z_i} - \frac{dP_c}{dS_2} \right] \right\} = \frac{1}{h} \sum_{j=1}^{K_2} \zeta_j Q_{2j}, \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{m\partial S_3}{\partial t}(v-S_3) - \int_{\Omega} \frac{k_3 \rho_3}{\mu_3} J(S_3) \left\{ [1-S_3 G_3] \sum_{i=1}^n \left[ \frac{dP_c}{dS_3} \cdot \frac{\partial S_3}{\partial z_i} \cdot \frac{\partial(v-S_3)}{\partial z_i} \right] dz \right\} + \\
 & \quad + \int_{\Omega} \frac{k_3 \rho_3}{\mu_3} J(S_3) \left\{ [1-S_3 G_3] \cdot \left[ \frac{\partial^2 P}{\partial z_i^2} |v| \right] \right\} dz - \\
 & - \int_{\Omega} \frac{k_3 \rho_3}{\mu_3} J(S_3) \left\{ [1-S_3 G_3] \cdot \left[ \frac{\partial^2 P}{\partial z_i^2} |S_3| \right] \right\} dz \geq 0, \quad \forall v, S_3 \in K. \quad (4)
 \end{aligned}$$

Початкові та граничні умови відповідно набувають вигляду

$$S_l(0, z) = S_{l_0}(z), \quad l = \overline{1, 3}, \quad (5) \qquad \frac{\partial P}{\partial \eta} > 0, \quad \frac{\partial P_c(S_3)}{\partial \eta} > 0. \quad (6)$$

В числовій реалізації ММ виду (2) — (6) являє складну обчислювальну задачу, оскільки необхідно розв'язувати спільну систему диференціальних

нерівностей, що описують динаміку процесу. Для спрощення числового розв'язування запропоновано наступний прийом. На кожній з границь «компонента, яка витискає — проміжний «агент» та «проміжний «агент» — компонента, яка витискається» виконуються очевидні умови  $S_2 = (1 - S_3)$  та  $S_1 = (1 - S_3)$ . З урахуванням даних співвідношень, вирази (2) — (4) приводяться до вигляду

$$\begin{aligned}
 & -\frac{m\partial S_3}{\partial t}(v - S_3) - \int_{\Omega} \frac{k_1 \rho_1}{\mu_1} J(S_3) \left\{ S_3 G_1 \sum_{i=1}^n \left[ \frac{dP_c}{dS_3} \cdot \frac{\partial S_3}{\partial z_i} \cdot \frac{\partial(v - S_3)}{\partial z_i} \right] dz \right\} + \\
 & + \int_{\Omega} \frac{k_1 \rho_1}{\mu_1} J(S_3) \left\{ S_3 G_1 \cdot \left[ \frac{\partial^2 P}{\partial z_i^2} |v| \right] \right\} dz - \int_{\Omega} \frac{k_1 \rho_1}{\mu_1} J(S_3) \left\{ S_3 G_1 \cdot \left[ \frac{\partial^2 P}{\partial z_i^2} |S_3| \right] \right\} dz \geq \\
 & \geq \frac{1}{h} \sum_{j=1}^{K_1} \zeta_j Q_j \quad \forall v, S_1 \in K, \quad (7)
 \end{aligned}$$

$$-\frac{m\partial S_3}{\partial t} - \frac{k_2 \rho_2}{\mu_2} J(S_3) \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial z_i} \left[ \frac{\partial P}{\partial z_i} - \frac{dP_c}{dS_3} \right] \right\} = \frac{1}{h} \sum_{j=1}^{K_2} \zeta_j Q_j, \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{m\partial S_3}{\partial t}(v - S_3) - \int_{\Omega} \frac{k_3 \rho_3}{\mu_3} J(S_3) \left\{ [1 - S_3 G_3] \sum_{i=1}^n \left[ \frac{dP_c}{dS_3} \cdot \frac{\partial S_3}{\partial z_i} \cdot \frac{\partial(v - S_3)}{\partial z_i} \right] dz \right\} + \\
 & + \int_{\Omega} \frac{k_3 \rho_3}{\mu_3} J(S_3) \left\{ [1 - S_3 G_3] \cdot \left[ \frac{\partial^2 P}{\partial z_i^2} |v| \right] \right\} dz - \\
 & - \int_{\Omega} \frac{k_3 \rho_3}{\mu_3} J(S_3) \left\{ [1 - S_3 G_3] \cdot \left[ \frac{\partial^2 P}{\partial z_i^2} |S_3| \right] \right\} dz \geq 0, \quad \forall v, S_1 \in K. \quad (9)
 \end{aligned}$$

Очевидно, що первинна задача (2) — (6) поділяється на дві більш прості задачі (7), (9), (5), (6) та (8), (9), (5), (6), які можна розв'язувати послідовно, що скорочує час на числове розв'язування на (25...40)%.

## Література

1. Бернадинер М. Г. Гидродинамическая теория фильтрации аномальных жидкостей / М. Г. Бернадинер, В. М. Ентов. — М.: Наука, 1975. — 199с.
2. Верлань А. Ф. Математическое моделирование аномальных диффузионных процессов / А. Ф. Верлань, С. А. Положаенко, Н. Г. Сербов. — К.: Наукова думка, 2011. — 416 с.

## МОДЕЛЮВАННЯ СИГНАЛІВ ВІДБИТИХ ВІД ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ З ВИКОРИСТАННЯМ ФРАКТАЛЬНИХ НЕДИФЕРЕНЦІЙОВНИХ ФУНКЦІЙ

**Марюшко М.В., Пащенко Р.Е.**

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків, вул. Чкалова 17, тел. (066) 0947319

e-mail: max.maryushko@gmail.com

Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України

61085, Харків, вул. Академіка Проскури 12, тел. (050) 9840631

e-mail: r.paschenko@i.ua

На сучасному етапі розвитку засобів дистанційного зондування Землі великий практичний інтерес представляють завдання оцінки стану підстилаючої поверхні [1]. При моделюванні сигналів, відбитих від земної поверхні, враховується узгодженість одержаних експериментально розподілів випадкових параметрів прийнятих сигналів з модельованими розподілами. При цьому модель сигналу, як правило, характеризує однорідну частину підстилаючої поверхні, в межах чарунки розрізнення, яка визначається тривалістю випромінюваного РЛС сигналу і шириною діаграми спрямованості.

Останнім часом все частіше для моделювання нерівних структур використовують фрактальні недиференційовні функції (ФНФ), які дозволяють враховувати різні просторові масштаби аналізованої поверхні [2, 3]. При цьому відбитий від такої поверхні сигнал має фрактальні властивості, такий сигнал одержав назву діфракталу [4]. Складність форми відбитого сигналу може бути описана за допомогою характеристичного коефіцієнта – фрактальної розмірності.

В основі методики моделювання сигналів, відбитих від земної поверхні, лежить принцип емпіричного моделювання, який з розвитком комп'ютерної техніки стає все більш розповсюдженим. Відповідно до типової схеми

емпіричного моделювання [5] на першому етапі здійснюється отримання і аналіз експериментальних сигналів. Другий етап містить вибір структури моделі (виду функцій, типу рівняння), а третій етап – підгонку (підбір) параметрів моделі (розрахунок параметрів). На останньому етапі здійснюється діагностична перевірка моделі.

Завдання отримання цифрових сигналів з виходу РЛС при зондуванні різних поверхонь розв'язувалося апаратно-програмним чином і включала реєстрацію сигналів та їх підготовку до обробки. Основними елементами експериментальної установки були когерентно-імпульсна РЛС сантиметрового діапазону (простий сигнал,  $\lambda = 1,8$  см,  $\tau_i = 0,4$  мкс), цифровий осцилограф (аналогово-цифровий перетворювач – АЦП) і персональний комп'ютер.

Проведений аналіз частотно-часових характеристик сигналів, відбитих від земної поверхні, і найбільш відомих класичних ФНФ (функцій Больцано, Рімана, Ханкеля, Вейерштраса, Дарбу та ін.) показав, що найбільш придатною для опису особливостей відбитих сигналів є модифікована ФНФ Вейерштраса-Мандельброта, яка дозволяє одночасно змінювати кількість складових, амплітуду, частоту і фазу у залежності від складності відбитого сигналу.

Моделююча функції багатомасштабної моделі сигналу, відбитого від різних земних поверхонь, має вигляд

$$f(x) = C \sum_{n=0}^{N-1} b^{(D-2)n} \sin(\omega_0 \cdot b^n x + \varphi_n),$$

де  $C$  – коефіцієнт контролю амплітуди, який залежить від величини відбиваючої здатності земної поверхні;  $N$  – кількість складових;  $D$  – фрактальна розмірність ( $1 < D < 2$ );  $\omega_0$  – початкова частота;  $b$  – параметр частотного масштабування ( $b > 1$ );  $\varphi_n$  – довільна фаза.

Коефіцієнт контролю амплітуди  $C$  дозволяє змінювати величину амплітуди ФНФ, початкова частота  $\omega_0$  – забезпечує зміну частоти ФНФ, а вибір ступеню її порізаності здійснюється підбором кількості складових

функції  $N$ , фрактальної розмірності  $D$  і параметра частотного масштабування  $b$ . Довільна фаза  $\varphi_n$  ФНФ вибирається в залежності від заданих початкових умов. Можливість зміни цих параметрів дозволяє моделювати різні флуктуації сигналу.

У залежності від типу земної поверхні був здійснений вибір параметрів моделі на прикладі відбитих сигналів під час зондування поля засіяного озимими ( $N = 9$ ;  $\omega_0 = 10\pi$ ;  $b = 1,132$ ;  $D = 1,19$ ), а також зораного поля, після збирання врожаю ( $N = 5$ ;  $\omega_0 = 18\pi$ ;  $b = 1,14$ ;  $D = 1,3$ ).

Ступінь узгодженості форм реальних відбитих сигналів з модельованими даними оцінювалася якісно (візуально) і кількісно (розрахунок величини фрактальних розмірностей експериментальних і модельованих даних). Для сигналів, відбитих від поля засіяного озимими, фрактальні розмірності склали ( $D_{\text{експ}} = 1,2001$ ,  $D_{\text{мод}} = 1,1935$ ), а зораного поля ( $D_{\text{експ}} = 1,3107$ ,  $D_{\text{мод}} = 1,3204$ ).

Таким чином, складні форми сигналів можуть представлятися тригонометричними сумами, окремим випадком яких є модифікована ФНФ Вейерштраса-Мандельброта, яка дозволяє одержати багатомасштабну модель сигналу, відбитого від земної поверхні різної структури.

## Література

1. Мониторинг природной среды аэрокосмическими средствами / Малинников В.А., Стеценко А.Ф., Алтынов А.Е., Попов С.М. – М.: Изд. МИИГАиК, 2008. – 145 с.
2. Федер Е. Фракталы / Федер Е. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
3. Jaggard D.L. Fractal surface scattering: A generalized Rayleigh solution / Jaggard D.L., Sun X. // J. Appl. Phys. – 1990. – V.68, № 11. – P. 5456 – 5462.
4. Berry M.V. Diffractals / Berry M.V. // J. Phys. A. – 1979. – V.12, № 6. – P. 781 – 797.
5. Безручко Б.П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды / Безручко Б.П., Смирнов Д.А. – Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005. – 320 с.



# INFORMATIONAL ENTROPY OF QUANTUM BIT COMMUNICATIONS

**Eugene Machusky**

Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

e-mail: [sivera@ukr.net](mailto:sivera@ukr.net)

## ABSTRACT

The physical nature and computational origin of quantum entanglement have been clearly established using basic principles of common sense and higher mathematical logic of functional analysis in relative coordinates of infinitesimal spatial gradients and time intervals.

The presented dynamic vector-tensor-matrix description, identification and interpretation of energy and entropy fields in classical and quantum physics, as well as informational and entropy fields in continuous symbolic, discrete numeric and parametric functional analysis completely eliminates their contradictions without any qualitative violations and gives quantitative estimates of the eigen parameters of motion of extremely large cosmic and extremely small subatomic bodies and waves with maximal accuracy up to the absolute limits for quantum binary and quantum decimal alphabets of encoding information signals.

The developed complex of algorithms for the analysis and synthesis of quantum-bit communication signals can be generally defined as a universal method of information processing in statics and dynamics or as a quantum search for hidden parameters of the relative motion of subatomic particles and waves.

## INTRODUCTION

The concepts of energetical entropy in physics, chemistry, materials science and cosmology (Avogadro, Maxwell, Kelvin, Boltzmann, Wien, Planck, de Broglie) and informational entropy in functional analysis, number theory, non-standard analysis and computer science (Skolem, Gilbert, Gödel, Turing, Shannon, Robinson, Wiener) were implicitly introduced into both scientific and engineering practice using various mathematical formalisms, but in fact they have a common phenomenological and ontological meaning: the logarithm of quantity of microstates inside a bounded dynamical medium consisting of very large amount of infinitely small bodies.

These two concepts of entropy in mathematics [1] and in physics [2] reflect diametrically opposite types of world perception: virtual infinite continuous (symbolic functional analysis, classical physics) and real finite discrete (numeric functional analysis, quantum physics). This dichotomy is clearly expressed in the Bell's theorem, which is the collective name for a family of results, all of which involve probabilistic views on local causality together with probabilistic

predictions of observational results separated in time and space and contradicting quantum mechanics. Such predictions take the form of inequalities that must be satisfied by any mathematical theory that satisfies the conditions of the proof, but which are violated by relations computed from quantum mechanics [3].

Bell's theorem too categorically states that no theory can reproduce the probabilistic predictions of quantum mechanics under all circumstances, since, as it turned out, the standard symbolic functional analysis, in principle, cannot determine the hidden parameters of the relative motion of subatomic particles and waves with a relative accuracy better than  $1/10^{16}$ . This boundary is the main reason for the observed inconsistency of continuous and discrete description of motion for different aggregate states of matter, especially at extreme small spatial gradients and time intervals very close to zero.

The phenomenal predictive efficiency of quantum physics and quantum calculus in modern information and communication systems has a very simple reason: classical physics, analytical chemistry, materials science, and scientific cosmology, by their nature and origin, are self-consistent eigenvalue metric and computational systems based on arithmetic, geometric, and trigonometric, algebraic and antilogarithmic functionals connecting the physical parameters of motion with a finite set of parametric characteristics of entangled amplitude-frequency, phase-frequency, amplitude-phase and energy spectra of extremely short traveling and standing waves in space of a large number of very small material bodies.

The main reason for the some logical fallacies of experimental metrology and of interpretations of the standard physical model is that insufficiently long digital notations of decimal fractions are considered exact mathematical constants. In fact, only integer numbers are true constants, because all fractions in any calculation system are digital waves of three logically possible types: irrational – infinite and periodic ones, transcendental – infinite but non-periodic, rational – non-periodic but finite.

The above statements can be confirmed only by performing a complete series of recursive arithmetical operations (addition-subtraction, multiplication-division, exponentiation and root extraction) using decimal fractions with a mantissa length not less than 60 bits. This boundary is not accidental but strictly predetermined by the parametric mathematical functionals that exactly determine the extreme values of temperature, rotational speed, translational velocity, acceleration, amplitude, length and frequency of waves as eigen parameters of continuous motion of sub-molecular and subatomic particles for seven logically possible aggregate states of substances: crystalline solid, liquid crystal, liquid, liquified gas, ideal gas, partial vacuum and absolute vacuum.

Below, for the first time in engineering and metrological practice, it will be clearly shown and confirmed that all currently observed contradictions in classic

and quantum physics, analytical chemistry, materials science and scientific cosmology are caused by the artificial division of general functional analysis on the continual-symbolic, discrete-digital and concrete-parametric, and by division of general physics into classical, quantum, statistical, experimental and computational ones. All inconsistencies between quantum mechanics and special and general relativity have exclusively the informational reasons caused by the natural computational entropy of elementary recursive arithmetic operations, with relative parameters of particles and waves motion on infinitesimal scales of spatial gradients and time intervals.

### **INFORMATIONAL IMPERATIVES OF SYMBOLIC FUNCTIONAL ANALYSIS**

Standard continuous functional analysis is based on the mathematical symbols “pi”, “e”, “j” and the famous Euler functional  $[e^{(j*\pi)} + 1 = 0]$ , which can be rewritten as  $[e^{(j*\pi)} + (j^4)^N = 0]$ . These logically and mathematically equivalent formulas establish the exponential and polynomial relationships between numbers [pi] and [e], between virtual  $[j] = \text{Sqrt}[-1]$  and real unit  $[+1] = \text{Sqrt}[+1]$ , between absolute zero  $[0] = [1-1]$  and any natural number [N].

Common sense and mathematical logic allow us to consider both of these formulas absolutely accurate, but "if and only if" the representation of irrational and transcendental numbers has an infinitely long mantissa. But in this case manual calculations will require infinite time, and any calculating device will be forced to use truncated fractions because there is no real computer with an infinite amount of memory.

Thus, computational entropy always is inevitable, but the question arises, what should be the length of the mantissa of decimal fractions in order for the error to be minimal or the accuracy to be maximal. The exact answer exists: 64 decimal places, but this statement can only be confirmed by precise calculations with sufficient memory capacitance of the computing device.

### **INFORMATIONAL IMPERATIVES OF DISCRETE FUNCTIONAL ANALYSIS**

The inversion of an infinite natural set  $[1...2...3...4...5...6...7...8...9...10...11...12...N...]$  by hyperbolas  $1/N$  generates a new infinite set

$$[1...1/2...1/3...1/4...1/5...1/6...1/7...1/8...1/9...1/10...1/11...1/12...1/N...+0].$$

Rotation of such a sequence around absolute zero [0] will always draw on the plane an infinite number of coaxial circles with gradually decreasing diameters that never reach absolute zero, only as  $[+0...0-]$ . And there will always be continuous spirals between two adjacent circles, if the rotation is continuous, and discrete

spirals, if the rotation is stepped, like of "second" hand in simplest mechanical watch.

Transferring the inverted natural set from the space [+0...1] to the space [e...pi] creates a new set. The space [e...pi] can be further compressed using of root mean square value  $MR = \text{Sqrt}((\pi^2 + e^2)/2)$ , arithmetic mean  $MA = (\pi+e)/2$ , geometric mean  $MG = \text{Sqrt}(\pi*e)$ , of harmonic mean  $MH = 2/(1/\pi+1/e)$  and median  $MS = (MR + MA + MG + MH)/4$ , which is average arithmetic value linking the standard four means with "power mean", first presented by Kolmogorov [4] as the main functional of averaging.

Now, using any calculator with sufficient display ability, we can additionally compress the infinite natural set into the bounding space from the "almost zero" [+0] to the "almost inverse infinity" [+1/10^64]:

$[MR] = \text{Sqrt}((\pi^2 + e^2)/2)$	$1/[MR]^{137} = 1/10^{64}$
$1/[MR]^{138} = [+0]$	$[MA] = (\pi + e)/2$
$1/[MA]^{137} = 1/10^{64}$	$1/[MA]^{138} = [+0]$
$[MS] = [MR + MA + MG + MH]/4$	$1/[MS]^{137} = 1/10^{64}$
$1/[MS]^{138} = [+0]$	$[MG] = \text{Sqrt}(\pi*e)$
$1/[MG]^{138} = 1/10^{64}$	$1/[MG]^{139} = [+0]$
$[MH] = 2/(1/\pi + 1/e)$	$1/[MH]^{138} = 1/10^{64}$
$1/[MH]^{139} = [+0]$	

Using integers 137...138...139 for averaging by powers inevitably results in discretization of two adjacent continuous spirals between two pairs of adjacent circles corresponding to primes 137 and 139, but at the same time generates new "black holes" of information inside of new sets of the adjacent fractions which describe discretized spirals.

Quantum arithmetic keys (quarks) to the phenomenology of compressed symbolic (from "e" to "pi") and compressed numerical analysis (from  $e = 2.71828...$  to  $\pi = 3.14159...$ ) are shown below as two "almost equalities", which clearly demonstrate the strongest exponential, logarithmic, hyperbolic and parabolic connections of six elementary arithmetical categories (addition, subtraction, multiplication, division, exponentiation, root extraction) for recursive functionals of continuous and discrete mathematics:

$$[\text{Ln}(\text{Sqrt}(10))+59*\text{Ln}(10)] = [e^{137.00381...}] \Rightarrow [e^{137}] \Rightarrow [e^{136.99725...}] = [\text{Ln}(\pi)+59*\text{Ln}(10)];$$

and

$$1/137 = \text{Lim}\{\text{Sum}[729927/10^{(8*N)}]\} \Rightarrow (\pi*e/100)^2 \Rightarrow 729/10^5 = 1/100/(10/(10-1))^3$$

The second of these “almost equalities” is illustrated below by the "trident quaternion" [P1...P0...PS] with the “handle” [PF] for basic matrix of decimally normalized Planck units calculated with accuracy of 64 bits of mantissa:

$$P1 = 2*\pi*\{1+2/100*[e+(1/137)*(1+\text{Sqrt}(2*\pi*e)/10)]\}*10^{64}/10^{64}$$

$$6.6260710055755005275575867653413521870523860441853916809993238763$$

$$P0 = 2*\pi*\{1+2/100*[e+(\pi*e/100)^2*(1+\text{Sqrt}(2*\pi*e)/10)]\}*10^{64}/10^{64}$$

$$6.6260698398254578760290266157882491892148003788713222409533203133$$

This was the first in scientific and engineering practice direct theoretical definition of the boundaries of the basic "cloud" of Planck and the weighted average Planck constant as a quasi-sinusoidal recursively traveling wave between P1 and P0 and, therefore, a fuzzy average value. Compare it with the value of the SI-metric 6.62607015.

The differences  $DP = [P1 - P0]$  give rise to another interesting computational phenomenon if the numbers "pi" and "e" are installed in a computer with shorter length of mantissa (let 16 bit):

$$PI = 3.1415926535897932 \text{ and } E = 2.7182818284590452;$$

$$P1 = 6.6260710055755005; P0 = 6.6260698398254579;$$

$$[P1 - P0] = 0.0000011657500426.$$

In this case the difference DP can be written in trigonometric DPT and algebraic DPA form as:

$$DPT = 8*PI*E/(PI+E)/10^{7-4*PI*\text{Cos}(PI/6)/10^{11-1250647/10^{19}} =$$

$$0.0000011657500425999525$$

and

$$DPA = 8*PI*E/(PI+E)/10^{7-2*PI*\text{Sqrt}(3)/10^{11-1250647/10^{19}} =$$

$$0.0000011657500425999524.$$

The computational entropy between DPT and DPA is only  $1/10^{22}$ , but the computational entropy between  $\text{Cos}(PI/6) = 0.866025403784$  and  $\text{Sqrt}(3)/2 = 0.8660254037844386$  reaches four decimal orders as  $4386/10^{16}$ . This computational fact is not accidental, but is mainly predetermined by the mathematical logic of trigonometry and algebra and plays a key role in the inevitable informational entropy in quantum calculus and quantum metrology.

But the accuracy of experimentally determined units of speed, temperature, frequency and wavelength: the Kelvin limiting unit of temperature of 2.7316 inverse meters, the Maxwell limiting unit of speed of 299792458 meters per second and two Rydberg constants of  $(10^7)*(1.0973731568160)$  inverse meters and of  $(10^{15})*(3.289841960250890)$  inverse seconds can be regarded as

practically sufficient only for analytical chemistry, which arithmetically operates with relatively small integer values of nuclear charge (amount of protons and electrons) and nuclear mass (amount of protons and neutrons) and obviously is not enough for nuclear physics, which works with decimal fractions describing energy at the Planck level of  $1/10^{34}$  and less.

### **EARTH AND COSMIC ORIGIN OF QUANTUM METROLOGY**

Scientific metrology from the very beginning was based on the metric unit of the spatial gradient "one meter" as  $1/4000000$  of the perimeter or two opposite meridians of the globe, based on geodetic and geometric considerations of geostatic. In geodynamics, the temporal period "day" is set on mechanical chronometers as  $86400 = 24 \cdot 60 \cdot 60$  seconds, required for one revolution of the globe around any of an infinite number of its axes.

All calendar years can be expressed as integer numbers in earth seconds. The Moon year contains 364 days or 31449600 earth seconds. Julian year contains 365.25 days or 31557600 seconds. Leap year contains 366 days or 31622400 seconds. Gregorian year contains 365.2425 days or 31556952 seconds. In the Gregorian calendar, the relative error in calculating the ratio of the spatial gradient to the time interval is one earth day in 20 thousand earth years, or exactly half of the harmonical mean value of two adjacent odd numbers 9999 and 10001:

$$a = 9999 = (1111 \cdot 9) = (10^4 - 1) \text{ and } b = 10001 = (137 \cdot 73) = (10^4 + 1):$$

$$2/(1/a + 1/b) = 2 \cdot a \cdot b / (a + b) = (10^4 - 1) \cdot (10^4 + 1) / (2 \cdot 10^4) = 9999.9999 / 20000$$

The sequence of eight identical decimal digits:  $1111.1111 = 9999.9999/9$  is a denormalized eight-digit Schrödinger quantum bit (qubit) number [5], and the hundred-year "mystery" of the prime number 137 lies in a unique arithmetical fact: the product of two primes 137 and 73 is equal to the result of dividing two symbolically written numbers (abcdabcd) and (abcd), which consist of any decimal digits a, b, c, d in any combination (but not 0000), starting from 0001 to 9999, as calendar data of any person's birthday on any day of any month of any year:

$$\text{Catholic Christmas } (25.12).(25.12)/(25.12) = [137 \cdot 73] = (12.25).(12.25)/(12.25)$$

$$\text{Last day of old year } (31.12).(31.12)/(31.12) = [137 \cdot 73] = (12.31).(12.31)/(12.31)$$

$$\text{First day of new year } (01.01).(01.01)/(01.01) = [137 \cdot 73] = 1010101/101$$

$$\text{Orthodox Christmas } (07.01).(07.01)/(07.01) = [137 \cdot 73] = (01.07).(01.07)/(01.07)$$

$$\text{Easter days of 2021 year } (04.04).(04.04)/(04.04) = [137 \cdot 73] =$$

$$(02.05).(02.05)/(02.05)$$

$$\text{Anyone of ten thousand years } (9999).(9999)/(9999) = [137 \cdot 73] = 10001000/1000$$

It was shown above that the alpha-prime number 137 plays a significant role in the analytical definition of the weighted average Planck constant. The main feature of alpha-prime is that it is the only natural number whose inverse has multiple and infinite mirror symmetry. This statement can be verified only by calculating fractions from  $10^0/137/10^0$  to  $(10^{61})*(137)/(10^{61})$ . There is no analytical proof of this fact in the standard symbolic functional analysis, and it cannot be, but the obtained computational accuracy of 61 bits is quite sufficient to determine the quantum metric units on infinitesimal scales of spatial gradients and time intervals:

$$A1 =$$

0.00729927007299270072992700729927007299270072992700729927007299270072992700729927.

These elementary calculations and reasoning lead to an important conclusion: in physics, chemistry, cosmology, metrology, the energy parameters of motion are determined by the ratios of qualitatively inhomogeneous and logically nonequivalent categories – spatial (distance, length, path, trajectory) and temporal (duration, period, frequency, phase ), and their misuse often leads to logical and methodical fallacies in metrics based on related units of space and time, like "dig a trench from fence to lunch".

Thus, the interrelated terms of geometry and topology – point, line, contour, meridian, equator, circle, parabola, hyperbola, ellipse, cone, cylinder, sphere, radius, diameter, perimeter, eccentricity, ring, torus, surface, volume, rotation, extension, twisting, loop, knot, pole, and interrelated terms of classic physics – temperature, speed, acceleration, frequency, wavelength, pulse, momentum, force, pressure, density, charge, mass, gravity, power, work, energy, entropy, enthalpy, all these categories are notes of different arithmetical operations with a quite short set of interconnected units describing parameters of motion and rest in related coordinates of space and time.

From the very beginning of atomic and nuclear physics the Rydberg constant [7] was defined as the functional of the inverse difference of the inverse squares of two adjacent integers  $1/(1/a^2 - 1/b^2)$  to describe frequency and wavelength of light waves for different series of spectral lines. This arithmetical functional gives the number of waves per unit of length (wave numbers), and multiplication by the speed of light gives the frequencies of the spectral lines.

But the accuracy of experimentally determined units of speed, temperature, frequency and wavelength: the Kelvin limiting unit of temperature of 2.7316 inverse meters, the Maxwell limiting unit of speed of 299792458 meters per second and two Rydberg constants of  $(10^7)*(1.0973731568160)$  inverse meters and of  $(10^{15})*(3.289841960250890)$  inverse seconds can be regarded as practically sufficient only for analytical chemistry, which arithmetically operates with relatively small integer values of nuclear charge (amount of protons and electrons) and nuclear mass (amount of protons and neutrons) and obviously is not





but we always will get different results when raise  $C_0$  and  $C_1$  to any integer power, starting with  $N = 2$ .

The informational entropy in this case reaches 11 orders, from 59 bits for  $C_0^2$  to 48 bits for  $C_1^2$ .

$$C_0^2 = 89875517794291527.79462003986277391711291324644068198371426456755658767208102;$$

$$C_1^2 = 89875517794291527.794620039862773917112913246440681983714264567556.$$

Floating point arithmetic inevitably causes a rapid increase in informational entropy when raising long fractional numbers to a power. Such a computational phenomenon always leads to energy entropy in dynamic physical systems with increasing temperature, speed, frequency and diminishing wavelength.

If the above reasons were taken into account for determining quanta energy on different frequency, then the expressions presented below become qualitatively and quantitatively consistent both with quantum and classical physics, as well as with general and special relativity. It is enough to redefine the traditional equations, realizing together with the standard Lorentz functional  $[1 - (v/C)^2]$  the complex conjugate functional  $[1 + (v/C)^2]$ , as was done in practical radio-electronics and radio-engineering for the phase and group velocities of forward and backward waves in various waveguide structures, where the normal and anomalous dispersion and the conditions of particle-wave synchronism were always taken into account:

$$\text{Gravity-dynamic quanta } QG = m \cdot v^2 / 2 \cdot [1 + (v/C)^2] - \text{from Newton's } [v^2/2] \text{ to Einstein's } [C^2];$$

$$\text{Chromo-dynamic quanta } QC = h \cdot F \cdot [1 + (v/C)^2] - \text{from Planck's } [h \cdot F] \text{ to Nyquist's } [h \cdot (2 \cdot F)];$$

$$\text{Electro-dynamic quanta } QE = q \cdot U / [1 + (v/C)^2] - \text{from Coulomb's } [q \cdot U] \text{ to Dirac's } [q \cdot (U/2)];$$

$$\text{Thermo-dynamic quanta } QT = k \cdot T / [1 + (v/C)^2] - \text{from Boltzmann's } [k \cdot T] \text{ to Kelvin's } [k \cdot T/2].$$

Symbolic notation was used here for instantaneous velocity "v" and mass "m" (Newton), rotational speed C (Maxwell), action "h" (Planck), frequency F (Nyquist), charge "q" (Coulomb), voltage U (Dirac), for phase "k" (Boltzmann) and temperature T (Kelvin).

Energies of quanta QE becomes an instantaneous functions not only of temperature and speed, but also of frequency and wavelength, as in the rearranged equation  $L \cdot T = h \cdot C / (k \cdot X)$  of Wien-Planck for the light wave spectrum during irradiation of a black body  $1 = h \cdot (C/L) / (k \cdot T \cdot X)$ , where  $h = 2 \cdot \pi \cdot (\hbar)$ , ratio  $C/L$

is instantaneous frequency  $F$ , factor  $X = \text{Root}\{X \cdot e^X / (e^X - 1) = 5\}$ , and where the numbers "pi" and "e" inevitably appear as initially hidden but really basic eigen parameters of wave motion (as frequencies of pilot-waves of de Broglie). Qualitatively similar phenomena are often observed both in vacuum and solid-state electronics as dynatron effect, tunneling effect, Gunn effect, and many others.

The laws of conservation of energy, charge, and mass are not violated, the standard physical model looks quite consistent but the standard metrology needs principal methodological changes during identification, processing and interpretation of experimental data, taking into account dispersion of waves in different environments.

Einstein could not have known this when he developed his theories, but Hawking and Penrose missed genetic wave-frequency affinity of numbers "pi" and "e" in their mathematical studies of black holes. More than two hundred years before, Euler established one of such relations in his famous formula  $e^{(j \cdot \pi)} + 1 = 0$ , but, in fact, this symbolic functional can be self-consistent "if and only if" the numerical length of designation irrational and transcendental numbers is infinitely long, but in physical reality this is absolutely impossible because any computing device has finite memory, and calculations "with pencil" will take infinite time.

In all real waveguide structures, including the Earth's atmosphere, ionosphere, and outer space, the instantaneous mass of moving ions and electrons and the frequency of waves can almost double, and the voltage (difference of electrical potentials) and temperature (tempo rating) can drop by almost half when progressive velocity "v" approaches the limiting speed of rotation  $C$ . Thus the number  $C$  is actually an "event horizon" both in physics and in mathematics.

### **INFORMATIONAL ENTROPY OF QUANTUM METROLOGY**

The SI international measurement system and all branches of modern quantum physics are based on the very careful, long-term and multiple measurements of the energies, trajectories and paths of molecules, atoms and subatomic particles in the inner vacuum-like space of accelerating systems with consequent adjustment of parameters of heat transfer, charge transfer and mass transfer using the statistical data processing methods and energy diagrams developed by Feynman for quantum electrodynamics on base of classical electrodynamics and thermodynamics.

In May 2019, a radical redefinition [9] of SI metrology was made in order to exclude the last metrical artefact – the prototype of "kilogram", replacing it with the "exact" Planck constant, which was carefully measured by various methods and then statistically fitted by averaging of energetical parameters.

At the same time, the definition of ampere was changed, in which the elementary charge is now defined as the "exact" number of coulombs, with the



The elementary logic tells that standard SI metric is not self-consistent both in infinitesimal subatomic and infinitely large outer cosmic space and has a catastrophic informational entropy when used for interpretation of the standard physical model.

Changing the above notation of metric units to the decimally normalized leads to the elimination of "black holes of information" in the integer part of fractions, but limits the matching of metrical units to only 14 bits in the mantissa part:

Avogadro entropy unit	6[+]02214076000000*10 <sup>23</sup>
Rydberg frequency unit	3[+]28984196025089*10 <sup>15</sup>
Maxwell speed unit	2[+]99792458000000*10 <sup>8</sup>
Rydberg wavelength unit	1[+]09737315681600*10 <sup>7</sup>
Kelvin temperature unit	2[+]73160000000000*10 <sup>0</sup>
Boltzmann phase unit	1[+]38064900000000/10 <sup>23</sup>
Planck amplitude unit	6[+]62607015000000/10 <sup>34</sup>

Full coordination of metric units, from the Avogadro level [+23] to the Planck level [-34], requires the length of the mantissa not less than [23] + [34] = 57 decimal places.

### INFORMATIONAL IMPERATIVES OF CLASSICAL PHYSICS

Fortunately, the limiting speed, temperature and frequency can be calculated with accuracy up to 1/10<sup>64</sup> without any additional experiments and without changing the classic definition for the magnetic and electrical constants of electrodynamics.

Classical equations of Maxwell describe the motion of longitudinal and transverse electromagnetic waves in absolutely free space (physical vacuum). Information imperatives of classical electrodynamics are: the functional of limiting speed of light C; the functional of magnetic permeability M0 = 4\*pi/10<sup>7</sup>; the functional of dielectric permittivity E0 = 1/M0/C<sup>2</sup> and the wave impedance Z0 = 4\*pi\*C/10<sup>7</sup>.

The value of C is actually not only a metric unit that functionally connects the physical categories "space" and "time", but also a rational, therefore, a finite, mathematical constant that can be defined parametrically and calculated using only elementary arithmetic operations:

$$C = [(R + M0*C/1000)/10^8]^{64} * 10^7; R0 = \text{Integer}\{10^8 * (C/10^7)^{(1/64)}\} = 105456978$$

The integer parameter R = 105456978 was obtained using the standard metric value of the speed of light in free space 299792458 m/s. But after substituting R



extremely well-defined mathematical unit that links the positional binary  $[0...1]$ , binary Alpha  $[0...A]$ , binary Beta  $[0...B]$ , transfinite temporal  $[0...e]$  and decimal power  $[0...10^{64}]$  calculus systems.

### INFORMATIONAL IMPERATIVES OF TRANSFINITE CALCULUS

Any natural number can be expressed in transfinite form using only three decimal digits: "Zero", "One", "Nine", since  $\text{Lim} \{0.999999999...\} = 1$  and  $\text{Lim} \{9.999999999...\} = 10$ , and the product  $[9*1.111111111...]$  reflects the strong arithmetical relationship of the digit 9 with the infinite quantum binary sequence of Schrödinger  $[111111111...]$ . By analogy, we call the sequence  $[999999999...]$  "nano-bit". Thus, we can replace the transfinite  $[9.999999999...]$  record of number 10 by nano-bit record, in which the numbers A, AS, B, BS appear as earlier hidden parameters of transfinite quantum calculus:

$A = 137 = 1/\text{Lim}\{\text{Sum}[729927/10^{(8*N)}]\}$  – alpha-prime invariant of Sommerfeld;  $AS = 0.00729 = 1/100*\text{Lim}\{\text{Sum}[(A + (A - 100)*N)/10^{(3*N + 2)}]\}$  – inverse alpha-prime invariant;  $AS = 0.00729 = 1/100/(1.111111111...)^3$  – inverse percent cubed qubit invariant of Schrödinger;  $AS = 0.00729 = 10^0/10^2/[10^1/(10^1 - 10^0)]^3$  – decimal power invariant notation;  $AS = 0.00729 = 3^6/2^5/5^5$  – prime power invariant notation.  $B = 602214183$  – beta-integer of Avogadro;  $BS = \text{Lim}\{\text{Sum}\{B/10^{(3*N + 8)}\}\} = 0.00602816999999999999...9999999999999397183 = 602817/10^8$ .

Rational numbers AS and BS establish the absolute relationship of qubit and nano-bit calculus systems.

### INFORMATION AND ENTROPY FIELDS OF QUANTUM METRICS

The recursive arithmetical link of the static and dynamic parameters of the transfer of electrical and thermal energy makes it possible to define the manifold of quantum metrics describing the normal and anomalous dispersion of the hidden parameters of the motion of material particles and waves inside of multi-molecular (interatomic), sub-molecular (atomic) and subatomic (nucleons, electrons, photons) environment. Such vector-tensor description of fields of information entropy was first presented in [8]:

- Field of relative radii  $[R] = 1+2/100*[e + [A]*(1 + \text{Sqrt}(2*\pi*e)/10)]$  – matrix of Dirac;
- Field of relative eccentricities  $[A] = [100*([R] - 1)/2-e]/(1 + \text{Sqrt}(2*\pi*e)/10)$  – matrix of Sommerfeld;
- Field of relative perimeters  $[P] = 2*\pi*[R]$  – matrix of Planck;



The presented set of functionals holographically illustrates the quantum topology of the subatomic space for various aggregate states of substances. This combined radial-perimetral-eccentricity web matrix contains thirteen rows corresponding to the points of interference of forward and backward waves inside continuously pulsating sphere. These rows or "strings" can be called "consonants" of the quantum language, and the medians between adjacent lines – "vowels" [12].

The quaternions of normalized quantum units are presented below for direct comparison with metric SI units, all of which can be placed inside the proper clouds [13].

Quaternion of Stefan-Boltzmann for the ideal liquid state of substance (normalized by  $1/10^{23}$ ):  $B1 = 1.380650801702$ ;  $KBF = 1.380650742973$ ;  $KB0 = 1.380650600663$ ;  $KBS = 1.380650517784$ .

- CODATA conventional value of Boltzmann constant is  $1.380649/10^{23}$ .
- Quaternion of Kelvin-Boltzmann for the ideal gas state of substance (normalized by  $10^{23}$ ):  $KBC = 1.380648450284$ ;  $KBE = 1.380648450188$ ;  $KBA = 1.380648450179$ ;  $KBK = 1.380648450168$ .

Quaternion of Planck-Sommerfeld for the ideal liquid state of substance (normalized by  $1/10^{34}$ ):

$P1 = 6.6260710055755005275575867653413521870523860441853916809993238763$

$PF = 6.6260706650236630325252704740988756304993719496310835815520204448$

$P0 = 6.6260698398254578760290266157882491892148003788713222409533203133$

$PS = 6.6260693592370495339202092927270715730850380965213058701897945782$

Quaternion of Maxwell-Kelvin for the ideal gas state of substance (normalized by  $10^8$ ):

$C0 = 299792457.86759133843368398914990500927337258665405914040533114633$

$TE = 299792456.257274188286886027303032761337552565628547217370703488399$

$TA = 299792456.078254512807124830945275462965319414254603079958988053332$

$TK = 299792455.930943197787057254994665628647917051398787082513873446933$

The matrices presented above illustrate closely and deeply interrelated ways of theoretical describing the results of observing the processes of relative motion of molecules, atoms and subatomic particles and waves in bounded Euclidean space, but from three different points of view: from outside, from the surface, from inside of a pulsating proton.

This information is sufficient for an extremely accurate numerical estimate of the limiting and weighted average parameters of the standard physical model separately for thermodynamics (units of speed and temperature), electrodynamics (units of charge and velocity), chromodynamics (units of frequency and



wavelength) and for gravodynamics (units of density of temperature, velocity and frequency fields).

## CONCLUSION

The problems of mutual agreement between the metric units of classical and quantum physics, as well as the metric units of symbolic and numerical functional analysis, are caused by insufficiently accurate averaging of experimentally estimated parameters of motion using too short numeric designations for decimal fractions when operating with infinitesimal spatial gradients and time intervals.

Classical and quantum physics, analytical chemistry and scientific cosmology do not contradict the special and general relativity but only and only if using fractional numbers having a mantissa length corresponding to the frequency of photons much higher Planck energy level.

There are no individualized metric units for the different microstates inside a dynamic subatomic media, and there cannot be, because the charge (amount of protons) and mass (total amount of protons and neutrons) are different for different chemical elements and isotopes. The standard physical metrology can correctly describe only the weighted average parameters for the collective transfer of heat, charge and mass, but not for separate real and imaginable particles and waves.

Any real quantum computer is and can be nothing more than an analog machine with memory elements on molecules, atoms, nucleons, electrons and photons and indeed can operate almost at the speed of light, but in any case with limited computational accuracy caused by technically achievable stability of states of memory when assessing the power, energy, entropy, enthalpy and information parameters of any dynamical multibody system.

## REFERENCES

1. [www.britannica.com/science/entropy-physics](http://www.britannica.com/science/entropy-physics)
2. [www.britannica.com/science/entropy-information-theory](http://www.britannica.com/science/entropy-information-theory)
3. [plato.stanford.edu/entries/bell-theorem](http://plato.stanford.edu/entries/bell-theorem)
4. [www.britannica.com/science/mean](http://www.britannica.com/science/mean)
5. [www.britannica.com/technology/qubit](http://www.britannica.com/technology/qubit)
6. [www.britannica.com/physics/fine-structure-constant](http://www.britannica.com/physics/fine-structure-constant)
7. [www.britannica.com/science/rydberg](http://www.britannica.com/science/rydberg)
8. Eugene Machusky “Quantum Metric of Classical Physics” (2017)
9. [physics.nist.gov/Value](http://physics.nist.gov/Value)
10. [www.britannica.com/statistics/standard-normal-distribution](http://www.britannica.com/statistics/standard-normal-distribution)
11. Eugene Machusky “Complex Geometry of Wave Motion” (2018)
12. Eugene Machusky “Quantum Alphabet of Matter Language” (2018)
13. Eugene Machusky “Natural Qubit Matrix of Primary Elements of Matter” (2018)

## СПОСІБ ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ У ЗАДАЧІ АКУСТИЧНОЇ ТОМОГРАФІЇ

Митько Л.О., Дячук О.А.

Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України

03164, Київ-164, вул. Генерала Наумова, 15, тел. (044) 4443541

e-mail: lmitko@ukr.net, oadyachuk@ukr.net

Задача часової сейсмічної томографії полягає у визначенні швидкості звукових хвиль в гірських породах, ґрунтах тощо, згідно реєстрованих затримок проходження через досліджувану область хвильових імпульсів, що генеруються за допомогою вибухів, технічних пристроїв, а також природними сейсмічними процесами. При розв'язуванні задач сейсмічної томографії часто виникають проблеми, що пов'язані з спотвореннями відновленого профілю швидкості, викликані неповнотою базису, в якому визначається їх розв'язки. В даний час для їх подолання використовується ряд методів, заснованих на різних підходах до регуляризації задачі фільтрації, згладжування і т.д., які мають різний рівень ефективності і трудомісткості. Один з таких методів може бути побудований на основі підходу, запропонованого в [1], що формується в реконструктивній екстраполяції спектру розв'язування шляхом його поповнення, виходячи з апіорних критеріїв. При цьому можлива також корекція розв'язку з урахуванням спектральних помилок відновлених складових.

*Постановка задачі.* В променевому наближенні час, який потрібен для проходження звуку між двома точками, представляється інтегралом від величини  $s(x) = \frac{1}{c(x)}$ , зворотної швидкості звуку  $c(x)$  (так званої повільності), уздовж променевої траєкторії:

$$\tau(S,P) = \int_{L_{SP}} s(x) dl. \quad (1)$$

Задача сейсмічної томографії полягає у визначенні значень функції  $s(x)$  в точках досліджуваної області на основі спостережуваних часових

затримок  $\{\tau_k\}$  (1) на множині променевих траєкторій  $\{l_k\}$  (тобто задача обернення часу проходження), які проходять через неї.

У неоднорідному середовищі промені не є прямолінійними. Згідно з принципом Ферма, вони представляють собою лінії, час проходження звуку вздовж яких є мінімальним. Так як променеві траєкторії заздалегідь невідомі, задача сейсмічної томографії є нелінійною. Для її розв'язання використовуються методи, засновані на ітераційному уточненні променевих траєкторій з лінеаризацією виникаючих задач обертання часу проходження. Задача визначення променевих траєкторій в неоднорідному середовищі (трасування променів) являє собою самостійну проблему, для розв'язання якої використовуються різні методи, які постійно удосконалюються і розвиваються. У багатьох випадках, коли відхилення швидкості звуку в середовищі є досить малими (до  $\sim 10-20\%$ ), задовільну точність можуть забезпечити лінійні формулювання задачі з використанням прямолінійних променів, аналогічні задачам рентгенівської комп'ютерної томографії.

Розбиття досліджуваної області на комірки з тією чи іншою апроксимацією функції повільності  $s(x)$  на них (найчастіше використовуються кусочно-постійні або лінійні наближення) дозволяє, після визначення траєкторій променів, обчислити наближення для інтегралів тимчасових затримок (1). Отримана в результаті система лінійних алгебраїчних рівнянь щодо параметрів апроксимації повільності  $s(x)$  виду

$$Au=t, \quad (2)$$

де  $\mathbf{u}$  – вектор параметрів апроксимації функції  $s(x)$ ,  $\mathbf{t}$  – вектор тимчасових затримок, найчастіше є перевизначеним, тобто кількість рівнянь, що відповідає кількості променів, значно перевищує кількість невідомих. Для розв'язування системи (2) рекомендується використовувати приблизно в два рази більше променів, ніж кількість осередків розбиття.

## Література

1. Сейсмическая томография /Под ред. Г. Нолета – М: Мир, 1990.–416 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ НИЗХІДНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ 5G

Пятін І.С., Бойко Ю.М.

Хмельницький національний університет

29016, Хмельницький, вул. Інститутська, 11, тел. 098-263-09-87

E-mail: ilkhmel@ukr.net, boiko\_julius@ukr.net

З вдосконаленням мобільних засобів телекомунікацій підвищується швидкість передачі інформації, якість зв'язку, зменшується затримка, з'являються нові функції. Зв'язок п'ятого покоління 5G будується на основі стандарту LTE Advanced Pro, який підтримує передачу даних на швидкостях до 3 Гбіт/с, дозволяє використовувати ліцензований і неліцензований спектр LTE. Крім того, він включає в себе декілька нових технологій, пов'язаних з 5G: 256-QAM, Massive MIMO, LTE-Unlicensed і інтернет речей. Розгортання 5G NR відбувається на основі сполучення з існуючою інфраструктурою LTE в неавтономному режимі (NSA), що використовується для мобільного розширеного ширококутового зв'язку (eMBB).

Мобільний зв'язок 5G використовує фізичні, транспортні та логічні канали для даних. Фізичний рівень має виконувати наступні функції для надання послуги передачі даних (рис.1):

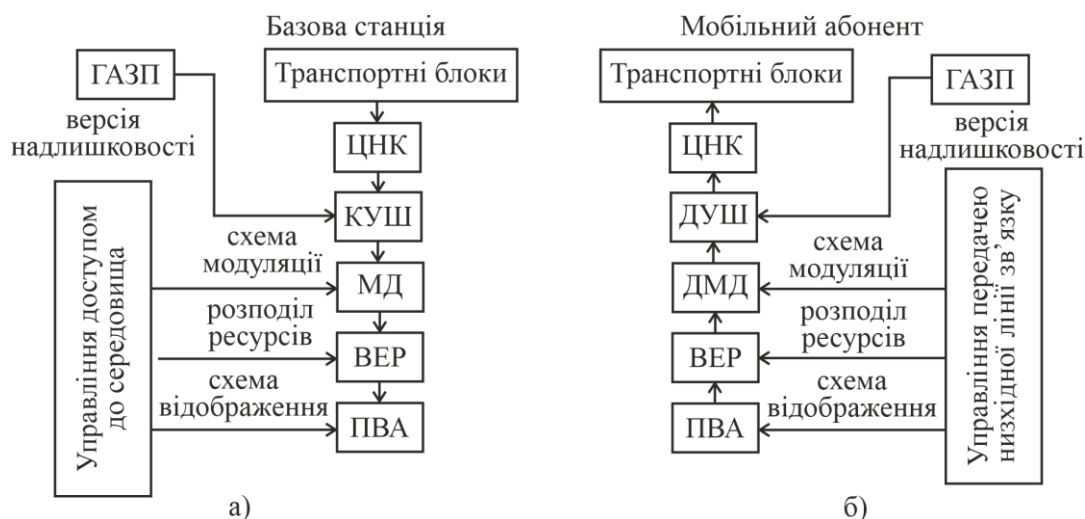


Рис. 1. Модель фізичного рівня низхідного каналу зв'язку

- виявлення помилок циклічним надлишковим кодом (ЦНК);
- завадостійке каналне кодування і узгодження швидкості (КУШ);
- гібридний автоматичний запит на повторення (ГАЗП);

- модуляція даних (МД);
- відображення на елементи ресурсів (ВЕР);
- перетворення для випромінювання антеною (ПВА);
- демодуляція даних (ДМД);
- каналне декодування і узгодження швидкості(ДУШ);

У мережі 5G NR є два основних компоненти: UE (мобільний абонент) і gNB (базова станція), як зображено на рис. 1. З'єднання від gNB до UE відомо як низхідна лінія зв'язку, яка використовує канали PDSCH, PDCCH і PDCCH.

Передача інформації по низхідній лінії зв'язку (НЛЗ) організовані у фрейми (рис. 2) тривалістю  $T_f = (\Delta f_{\max} N_f / 100) \cdot T_c = 10$  мс, кожен з яких складається з десяти підфреймів тривалістю  $T_{sf} = (\Delta f_{\max} N_f / 1000) \cdot T_c = 1$  мс.

Кількість символів у підфреймі:  $N_{subframe, \mu}^{slot} = N_{subframe, \mu}^{slot} N_{slot}^{subframe, \mu}$ . Слоти  $n_s^{\mu} \in \{0, \dots, N_{slot}^{subframe, \mu} - 1\}$  пронумеровані в порядку зростання.

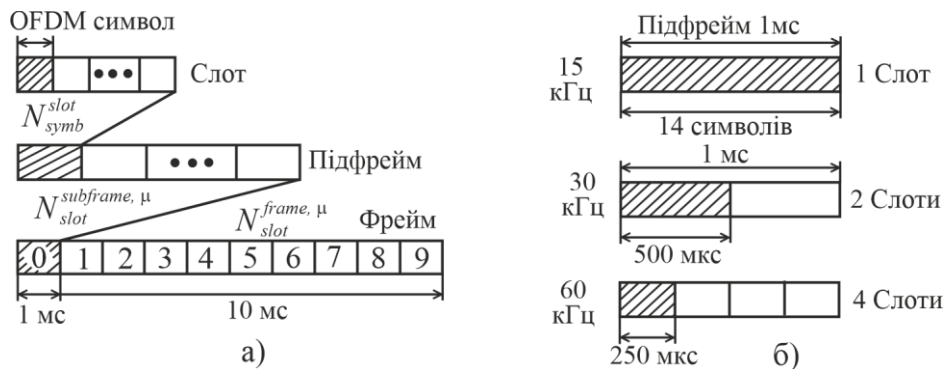


Рис. 2. Структура фрейму низхідного каналу зв'язку

Для ілюстрації виконання операції ВЕР (рис. 1) на рис. 3 наведена сітка ресурсів символів OFDM у слотах на несучій частоті і на рис. 4 наведена сітка ресурсів передавача. На рис. 5 наведена залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум НЛЗ з різною модуляцією. На рис. 6 наведена залежність величини вектора помилки (EVM) від відношення сигнал-шум НЛЗ з різною модуляцією. З отриманих залежностей можна зробити висновок, що модуляція QPSK у каналі НЛЗ підвищує завадостійкість, але має найвищу величину вектора помилки (ВВП). Тому при проектуванні НЛЗ виходять з компромісу між бажаною швидкістю

передачі даних і допустимою ВВП. Найменший ВВП має модуляція 256QAM при малих відношеннях сигнал-шум, але вона потребує збільшення потужності передавача на 17 дБ у порівнянні з QPSK.

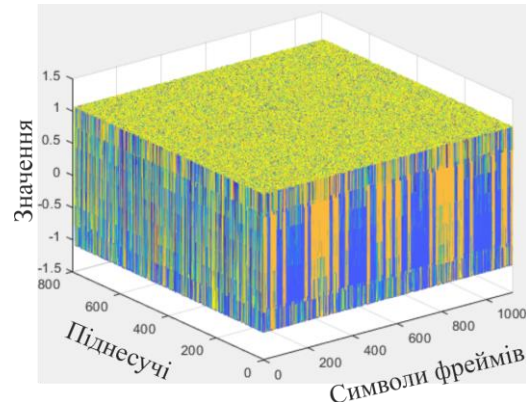
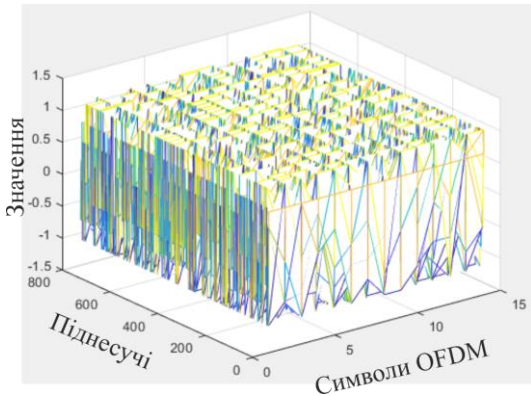


Рис. 3. Сітка ресурсів символів OFDM у слотах на несучій частоті

Рис. 4. Сітка ресурсів передавача

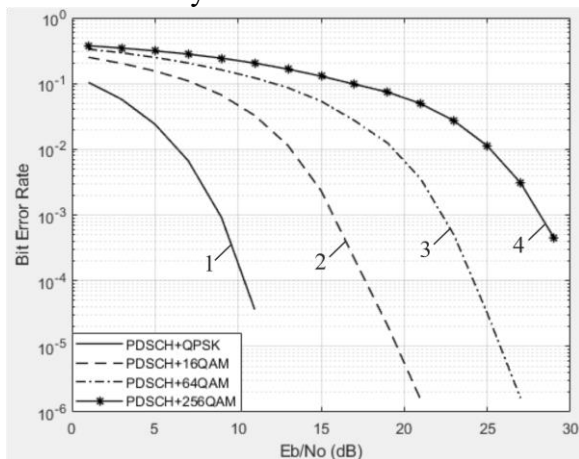


Рис. 5. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум НЛЗ і модуляцією (1 – QPSK; 2 – 16QAM; 3 – 64QAM; 4 – 256QAM)

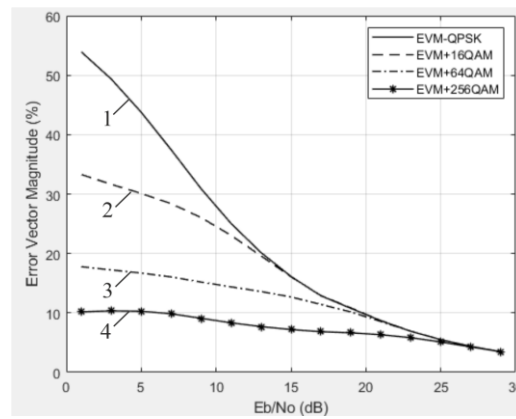


Рис. 6. Залежність величини вектора помилки (EVM) від відношення сигнал-шум НЛЗ і модуляцією (1 – QPSK; 2 – 16QAM; 3 – 64QAM; 4 – 256QAM)

### Література

1. Пятін І.С. Дослідження енергетичної ефективності каналного кодування даних користувача кодами LDPC для систем зв'язку 5G /І.С. Пятін, Ю.М. Бойко // Вісник ХНУ. - 2020. - №3. - С.170-181

2. 3GPP TS 38.212. "Multiplexing and channel coding" 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network.

5. 3GPP TS 38.202. "5G; NR; Services provided by the physical layer (Release 15)." 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network.

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АПАРАТІВ ПЕРЕРОБКИ СИРИХ ВУГЛЕВОДНІВ

Сичик О.С.

Державний університет «Одеська політехніка»  
65044, Одеса, пр. Шевченка,1, тел.. (048)-705-84-36  
e-mail: kaf.ksu@ou.ua

У відповідності до промислових технологій, при первинній обробці сирих вуглеводнів (нафт) запроваджуються такі технологічні процеси: зневоднення, знесолення та первинне відбензинювання, причому перші два процеси виконуються по схемі електро-(термо)знесолення та зневоднення. За фізико-хімічними явищами, які відбуваються, технологічні апарати процесу електро-(термо)знесолення і зневоднення сирової нафти з урахуванням технологічної схеми [1] можна класифікувати відповідно як:

- апарати *поверхневого* теплообміну, в яких теплообмін здійснюється на поверхні розділу окремих реагентів (фаз);
- апарати *об'ємного* теплообміну, в яких теплообмін здійснюється в межах всього об'єму задіяних реагентів;
- апарати *розсередженого* теплообміну, в яких теплообмін одночасно відбувається на декількох окремих поверхнях.

Для кожного з наведених вище класів технологічних процесів (апаратів) первинної обробки сирової нафти розроблено ММ у вигляді рівнянь у часткових похідних (параболічних та гіперболічних) з відповідними початковими та граничними умовами. Аналізуючи ММ розглянутих апаратів процесів первинної обробки сирової нафти було визначено можливість *узагальненого математичного опису*, що, у подальшому, дало можливість уніфікувати на умовах *типізації* підходи до їх чисельної та обчислювальної реалізації. Узагальнену ММ було отримано у наступному вигляді:

$$\frac{\partial \bar{\Phi}_i(r_j, z, t)}{\partial t} = f_i \left[ \bar{\Phi}_i(r_j, z, t), \frac{\partial \bar{\Phi}_i(r_j, z, t)}{\partial z}, \frac{\partial^2 \bar{\Phi}_i(r_j, z, t)}{\partial r_j^2}, \bar{U}_g(r_j, z, t) \right] + D_i(\bar{\Phi}_i, r_j, z, t) \quad (1)$$

$$\forall i = 1, \dots, k; \forall j = 1, \dots, N; \forall (r_j, z) \in \Omega; \forall t \in (0, t_k), \bar{\Phi} = [\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_k]^T$$

з урахуванням початкових

$$\bar{\Phi}_i(r_j, z, 0) = \bar{\Phi}_{i0}(r_j, z), \forall i = 1, \dots, k; \forall j = 1, \dots, N; \forall (r_j, z) \in \Omega \quad (2)$$

та граничних умов першого та третього роду, відповідно:

$$\bar{\Phi}_i(r_j, z, t) \Big|_{\substack{r_i=0 \\ z=0 \\ z=z_{\max}}}^{r_i=r_{i \max}} = \varphi_i [P_i(r_j, z, t)] \frac{\partial \bar{\Phi}_i(r_j, z, t)}{\partial r_i} \Big|_{\substack{r_i=0 \\ r_i=r_{i \max}}} = \lambda_i [\bar{\Phi}(r_j, z, t), P_i(r_j, z, t)] \quad (3)$$

де  $\bar{\Phi}_i(r_j, z, t)$  — безперервні функції стану, що залежать від часової  $t \in (0, t_k)$  та просторових  $\forall (r_j, z) \in \Omega$  координат; функції стану  $\bar{\Phi}_i(r_j, z, t)$  визначаються розв’язком системи (1) — (3), що (за визначенням) існує і є єдиним;  $\bar{U}_g(r_j, z, t)$  — функції розподіленого управління, що належать гільбертовому простору  $\bar{U}_{g_d}$  на  $R^{M_k}$ . Змінні стану  $\bar{\Phi}_i(r_j, z, t)$  та управління  $\bar{U}_g(r_j, z, t)$  визначено у відкритих гільбертових просторах із границями відповідно  $\Omega_{\Phi_i}, \Omega_{U_r}, \forall i = 1, \dots, k; \forall r = 1, \dots, k^*$ . Функції  $f_i[\cdot]$  та  $y_i[\cdot]$  — безперервні лінійні або нелінійні функції;  $D_i(\bar{\Phi}_i, r_j, z, t) = D_i \{r_i, z, t, \Phi_1(r_j, z, t), \Phi_2(r_j, z, t), \dots, \Phi_k(r_j, z, t)\}$  — лінійні або нелінійні функції, що характеризують дію зовнішніх збуджуючих впливів;



$P_i(r_j, z, t), \forall i=1, \dots, k; \forall j=1, \dots, N; \forall (r_j, z) \in \Omega$  — задані функції на границі  $\partial\Omega$  області, які можуть виступати в якості граничних управляючих впливів;  $\lambda_i, \forall i=1, \dots, k$  — параметр, який характеризує енергетичні властивості елементів об'єкта (технологічного апарата);  $N$  — число поверхонь теплообміну (зокрема, ректифікаційних тарілок). Змінні стану  $\bar{\Phi}_i(r_j, z, t)$  та управління  $\bar{U}_g(r_j, z, t)$  можуть визначати різні фізичні (температуру, витрату), або геометричні (рівень) величини, а також відхилення цих величин від стаціонарних значень; параметри  $\lambda_i$  визначають відповідно: коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт теплопередачі, тощо.

Для узагальненої ММ вигляду (1) — (3) розроблено числові схеми реалізації на основі схем з «вагами», відомих в літературі як економічні схеми Кранка-Ніколсона [2] та інструментальні засоби машинної реалізації, виконані шляхом модифікації ToolBox платформи Matlab.

В роботі запропоновано та реалізовано ММ процесів (апаратів) первинної обробки сирої нафти. Узагальнення та уніфікація цих ММ дозволило при обчислювальній реалізації використовувати єдиний інструментарій у вигляді пакета прикладних модулів, що, у підсумку, дало зниження обчислювальних затрат на (25 — 40) % (в залежності від конкретного технологічного апарату) у порівнянні з реалізацією за стандартними процедурами із використанням ToolBox платформи Matlab.

### Література

1. Верлань А. Ф. Математическое моделирование аномальных диффузионных процессов / А. Ф. Верлань, С. А. Положаенко, Н. Г. Сербов. — К.: Наукова думка, 2011. — 416 с.
2. Самарский А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. — М.: Наука, 1983. — 616 с.

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КУНЧЕНКА ТА СТАТИСТИЧНИХ РЯДІВ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ РОЗПОДІЛІВ В ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ

**Чепинога А.В., Чепинога В.В.**

Черкаський державний технологічний університет  
18000, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. (0472) 730261  
e-mail: a.cherpynoha@chdtu.edu.ua

Для вирішення завдань з оцінки надійності і прогнозування працездатності ТЗ необхідно мати математичну модель, яка представлена аналітичними виразами одного з показників: ймовірністю безвідмовної роботи  $P(t)$ , частотою відмов  $a(t)$  і інтенсивності відмов  $\lambda(t)$ . Основний шлях для отримання моделі полягає у проведенні випробувань, обчисленні статистичних оцінок та їх апроксимації аналітичними функціями. [1].

Використання апроксимації в статистичній обробці випадкових послідовностей визначає певні вимоги та критерії до їх математичних моделей та стохастичних методів обчислень, які в свою чергу вимагають застосування чисельної математики для застосування в прикладних завданнях. Найбільш поширеним і вичерпним математичним описом випадкових величин і процесів є закон розподілу ймовірності. Тому актуальним завданням є апроксимація саме щільності ймовірності [2].

Крім стандартних законів розподілу, широко використовуються набори сімейств розподілів Пірсона і Джонсона, статистичні ряди Лагранжа, Грамма-Шарльє. Вони можуть бути ефективними при вирішенні багатьох прикладних завдань статистичної апроксимації [3].

Як ефективний напрямок досліджень, в даній роботі пропонується удосконалення існуючого підходу за рахунок використання ліпшого з погляду дисперсії оцінок методу, ніж метод моментів, для знаходження оцінок параметрів спеціальних рядів. Таким методом може бути метод максимізації полінома.

У практичних завданнях часто доводиться мати справу зі щільністю

імовірності  $P(x)$ , що за виглядом не дуже відрізняється від нормальної.

Характерні особливості таких функцій полягають в такому:

- вони є одновершинними (тобто мають єдиний максимум);
- по обидва боки від вершини вони мають хвости, що достатньо швидко наближаються до нуля при зростанні значення аргументу.

Для аналізу в роботі було використано ряд Еджворта. Його щільність імовірності можна представити у вигляді такого ряду:

$$P(x) = p(x) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \cdot \gamma_n \cdot H_n \left( \frac{\xi - m}{\sigma} \right),$$

де  $p(x)$  – нормальна щільність імовірності, а  $H_n(z)$  – одновимірна щільність Чебишева-Ерміта.

$$H_n(z) = (-1)^n e^{\frac{1}{2}z^2} \frac{\partial^n}{\partial z^n} e^{-\frac{1}{2}z^2}, \quad n=0,1,2,\dots$$

Практично функцію  $P(x)$  потрібно знати з деякою кінцевою точністю. Тому замість  $P(x)$  можна узяти кінцеву суму членів ряду, причому число доданків  $N$  залежатиме від необхідної точності і від вибору величин  $m$  і  $\sigma^2$ .

Що до практичного застосування даної розробки, то можна сказати те, що її сфера досить широка, але, в даній роботі пропонується застосовувати саме для апроксимації імовірнісних характеристик в теорії надійності.

### Література

1. Васілевський О.М. Нормування показників надійності технічних засобів: навчальний посібник / О.М. Васілевський, О.Г. Ігнатенко. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 160 с.
2. Аппроксимация эмпирических функций полиномами высших порядков Заикин П.В., Погореловский М.А., Микшина В.С. // Вестник кибернетики. 2015. № 4 (20). С. 129-134.
3. Jamol Pender Hermite Polynomial Closure Approximations for Stochastic Epidemic Models. – New York: Cornell University, 2014. – 32 с.
4. Кунченко Ю.П. Стохастические полиномы / Ю.П. Кунченко. – К.: Наук. думка, 2006. – 275 с.

# Методи та алгоритми обробки сигналів та статистичних даних

## АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ИНТЕРВАЛОВ СЕРДЦЕБИЕНИЯ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Н.Т. Абдуллаев, Х.Р. Ахмедова

Азербайджанский Технический Университет

В основе классического подхода к прогнозированию выбросов случайного процесса, заключающихся в превышении некоторого фиксированного порога  $Q$ , лежит поиск предиктора такого выброса, т. е. характерного поведения случайного процесса в моменты времени, непосредственно предшествующие возникновению выброса. Рассмотрим предиктор  $X_{n,k}$  выброса  $X_n > Q$  случайного процесса  $X_n$ , ожидаемого в момент времени  $n$ , состоящий из  $k$  отчетов случайного процесса, предшествующих выбросу  $X_{n,k} = X_{n-k}, X_{n-k+1}, X_{n-1}$ . Первый подход заключается в анализе по доступным реализациям случайного процесса только тех последовательностей длительностью  $k$ , за которыми последовали выбросы. При данном подходе ключевой величиной является апостериорная вероятность  $P(X_{n,k}/X_n > Q)$ . Основным недостатком данного перехода является малый объём используемой информации, так как при этом не анализируются иные фрагменты доступных реализаций случайного процесса, кроме непосредственно предшествовавших состоявшимся выбросам. Это не позволяет использовать информацию о последовательностях, которая заведомо нетипичны в качестве предикторов.

Альтернативным подходом является анализ всех последовательностей  $X_{n,k} = X_{n-k}, X_{n-k+1}, X_{n-1}$  длительностью  $k$  по всем доступным реализациям случайного процесса (в скользящем окне) и оценка условной вероятности  $P(X_n > Q/X_{n-k})$  превышения заданного порога  $Q$  в момент времени  $n$ , следующей непосредственно за последовательностью  $Y_{n,k}$ . Такой подход является более эффективным применительно к широкому классу случайных процессов с кратковременной и долговременной зависимостью [1]. При этом простейшим вариантом построения алгоритма принятие решений является выбор наиболее вероятного предиктора  $X_{n,k}$ . При дальнейшем анализе в

режиме реального времени вычисляют отклонение от него получаемых последовательностей отчетов процесса длительностью  $k$  с заданием той или иной метрики отклонения. При этом критериям для принятия решения об ожидании выброса в следующий момент времени является значение расстояния ниже некоторого порогового значения.

Подобный подход весьма эффективен при работе с простыми системами, где функция  $P(X_n > Q/X_{n,k})$  имеет один выраженный экстремум, который и является глобальным максимумом. Однако при работе со сложными саморегулирующимися системами, к которым относятся физиологические системы, нельзя исключать возможность появления более сложных зависимостей  $P(X_n > Q/X_{n,k})$ , в том числе имеющих несколько сопоставимых по величине экстремумов. В этом случае выбор наиболее вероятного предиктора малоэффективен, и для анализа приходится хранить полную базу данных предикторов  $X_{n,k}$  и соответствующих им вероятностей выбросов, полученную из доступных реализаций случайного процесса, использованного для обучения алгоритма. В этом случае критерием принятия решения об ожидаемом выбросе в следующий момент времени является превышение вероятностью  $P(X_n > Q/X_{n,k})$  некоторого заранее заданного порога  $Q_p$ . Выбор оптимального значения  $Q_p$  в общем случае основывается на минимизации альтернативных потерь от исправленных решений, принимаемых при прогнозировании, в зависимости от априорно заданных значений потерь при ложной тревоге и при пропуске выброса.

Рассмотренный выше подход позволяет учитывать только кратковременную динамику процесса в части  $k$  отчетов, предшествующих выбросу. При анализе физиологических сигналов медленные контуры регуляции, формирующие долговременную зависимость, играют важную роль в формировании аномалий, в том числе выбросов. В этой связи, представляется целесообразным использовать также дополнительную информацию о характере долговременной зависимости [2, 3]. Из анализа множество рекордов (экстремальных событий  $\{X_i\}$  ( $i=1, 2, \dots, L$ )) ритмограммы и статистик повторных интервалов (return intervals) между

рекордами  $\{r_i\}(i=1, 2, \dots, L_Q)$ , превышающими  $Q$ , можно извлечь информативные признаки для диагностики сердечных заболеваний пациента.

Это следующие информативные признаки:

1. Фрактальные характеристики множества рекордов;
2. Безусловная и условная функция плотности вероятностей длин повторных интервалов;
3. Условный период повтора;
4. Автокорреляционная функция повторных интервалов.

Описанные информативные признаки можно использовать для диагностирования различных заболеваний сердечно-сосудистой системы на основе сигналов ЭКГ [4]. С целью дифференциальной диагностики и классификации заболеваний сердечно-сосудистой системы следует использовать искусственные нейронные сети, обучив их по указанным информативным признакам.

### Литература

1. S.Hallerberg, E.G. Altmann, D.Holstein, H.Kantz Precursors of extreme increments Physical review, 2007, E75, 016706
2. M.I. Bogachev, S.F. Eicher, A. Bunde. On the occurrence of extreme events in long-term correlated and multifractal data sets // Pure and applied geophysics, 2008, 165, p. 1195-1207
3. Абдуллаев Н.Т., Выщин О.А., Ибрагимова И.Д. Эффективность использования долговременных корреляций в дифференциальной диагностике состояний сердечно-сосудистой системы // Биотехносфера, 2016, №5, с.27-33
4. Абдуллаев Н.Т., Выщин О.А., Ибрагимова И.Д. Диагностика сердечных заболеваний на основе статистик повторных интервалов между экстремальными событиями сердечного ритма. Труды XII Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ 2016, с. 43-46.

## ПІДХІД ДО ЗБЕРЕЖЕННЯ СЕМАНТИЧНОЇ ЦІЛІСНОСТІ ТА ЧАСУ ДОСТАВКИ ВІДЕОРЕСУРСУ

проф., д.т.н. Бараннік В.В., Бабенко Ю.М., Хіменко А.М., Волошін В.А

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

e-mail: barannik\_v\_v@mail.ru

Незважаючи на розвиток інформаційно-комунікаційних технологій (ІТ) існує дисбаланс. Причиною є виникнення загроз втрати рівня інформаційної безпеки за категоріями доступності та цілісності інформаційного ресурсу. Тому підвищення безпеки відеоінформаційних ресурсів в системі управління об'єктами критичної інфраструктури є *актуальною науково-прикладною проблематикою* [1 - 6]. Зниження рівня дисбалансу організовується в результаті підвищення ефективності технологій обробки інформації. Методи, які використовують технологічні етапи, пов'язані з усуненням психовізуальної надмірності, в тому числі концепції платформи JPEG відносяться до класу методів обробки відеокадрів з внесенням корекцій відповідно до моделі зорового сприйняття. У таких компресійних системах основна частка зниження бітового обсягу досягається в результаті усунення кількості психовізуальної надмірності (до 90%). В той же час кількість психовізуальної надмірності залежить від ступеня структурно-семантичної інформативності фрагментів відеокадра. Це є причиною втрати цілісності інформації. Отже, для технологій на JPEG платформі існує протиріччя, обумовлене наявністю обернено пропорційній залежності між обсягом стиснутого представлення відеокадру і рівнем його інформаційної цілісності. Для збереження цілісності відеоінформації в умовах зниження часових затримок в процесі доставки відеокадрів необхідно провести вдосконалення технологій зниження бітового об'єму. Потрібно в умовах збереження цілісності інформації забезпечити максимальний рівень зниження бітового об'єму відеознімку при заданих обмеженнях на тимчасові затримки по обробки. Тому вдосконалення технологій компресійної обробки відеоресурсів *пропонується* проводити в напрямку локалізації протиріччя між доступністю, тобто своєчасністю доставки інформації, і рівнем її цілісності.

Розроблено метод виявлення значимих сегментів з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсу на основі використання системи правил для прийняття рішення за інформацією про структурно-статистичні властивості мікросегментів по складовій яскравості кольорорізницевого представлення відеокадру. Система правил по ідентифікації сегментів відеокадру за ступенем їх значимості з позиції збереження необхідного рівня цілісності об'єктів інтересу з урахуванням інформаційної значущості



локальних ділянок (мікросегментів) відеокадру, що характеризуються більшою однорідністю своїх структурно-статистичних властивостей, базується на наступній концепції : 1) на першому рівні створюється система порівнянь показника, що характеризує рівень структурно-статистичної насиченості мікросегментів, з верхнім і нижнім граничними значеннями; 2) на другому рівні будується система правил прийняття рішення щодо значущості всього сегмента з позиції ССЦ відеоресурсу на основі використання інформації про кількість мікросегментів з різним рівнем структурно-статистичної насиченості.

### Література

- [1] Barannik, V. and Barannik, N. and Ryabukha, Yu. and Barannik, D.: Indirect Steganographic Embedding Method Based On Modifications of The Basis of the Polyadic System. In.: 15th IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020), pp. 699-702 (2020) DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235522.
- [2] Barannik, V. and Barannik, V.: Binomial-Polyadic Binary Data Encoding by Quantity of Series of Ones. In.: 15th IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020), pp. 775-780 (2020) DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235540.
- [3] Barannik V.V., Ryabukha Yu. N., Tverdokhle V.V., Barannik D.V.: Methodological basis for constructing a method for compressing of transformants bit representation, based on non-equilibrium positional encoding. In: Advanced Information and Communication Technologies (AICT), 2017 2nd International Conference, pp.188-192. (2017). doi: 10.1109 / AIACT.2017.8020096.
- [4] Vladimir Barannik, Tatyana Belikova, Pavlo Gurzhii.: The model of threats to information and psychological security, taking into account the hidden information destructive impact on the subconscious of adolescents. In 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), pp. 656 – 661 (2019), DOI: 10.1109/ATIT49449.2019.9030432.
- [5] Vladimir Barannik, Denys Tarasenko.: Method coding efficiency segments for information technology processing video. In.: 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), pp. 551-555 (2017), DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246460.
- [6] Barannik, V.V. and Ryabukha, Yu.N. and Kulitsa, O.S.: The method for improving security of the remote video information resource on the basis of intellectual processing of video frames in the telecommunication systems. Telecommunications and Radio Engineering, Vol. 76, No 9, pp. 785-797 (2017) DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i9.40.

## РОЗРІЗНЕННЯ ПРОЦЕСІВ БУНІМОВИЧА–РАЙСА НА ОСНОВІ КОЕФІЦІЄНТІВ АСИМЕТРІЇ ТА ЕКСЦЕСУ

Берегун В.С.<sup>1</sup>, Красильников О.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського»,  
03056, Київ, вул. Політехнічна, 16, корп. 12, тел. (044) 2049072

<sup>2</sup> – Інститут технічної теплофізики НАН України  
03057, Київ, вул. Марії Капніст, 2а, тел. (044) 4532857

E-mail: viktorberegun@i.ua<sup>1</sup>, tangorov@ukr.net<sup>2</sup>

Поширеною моделлю шумових сигналів, які являють собою результат додавання великої кількості елементарних імпульсів з випадковими параметрами, є процеси Бунімовича–Райса

$$\xi(t) = \sum_{k=1}^{v(t)} \eta_k h(t-t_k), \quad (1)$$

де однорідний процес Пуассона  $v(t)$  з інтенсивністю  $\lambda > 0$  описує кількість імпульсів на інтервалі  $[0; t]$ ; моменти часу виникнення імпульсів  $t_k$  є однорідним пуассонівським потоком подій; невідповідна функція  $h(t)$  описує форму елементарних імпульсів; амплітуди імпульсів  $\eta_k$  – незалежні однаково розподілені випадкові величини, які не залежать від  $t_k$ .

Процеси (1) є негауссівськими, тому для їх опису використовуються кумулянти  $\kappa_s$  та кумулянтні коефіцієнти  $\gamma_s$  порядку  $s$ , які для процесу (1) обчислюються за формулами

$$\kappa_s = \lambda \alpha_{s\eta} \int_{-\infty}^{\infty} h^s(t) dt; \quad \gamma_s = \kappa_s / \kappa_2^{s/2},$$

де  $\alpha_{s\eta} = \mathbf{M}\eta_k^s$  – початкові моменти порядку  $s$  амплітуд імпульсів  $\eta_k$ .

При розв'язанні багатьох практичних задач зазвичай обмежуються використанням кумулянтних коефіцієнтів третього та четвертого порядків – коефіцієнта асиметрії  $\gamma_3$  та коефіцієнта ексцесу  $\gamma_4$ .

При експериментальних дослідженнях відбувається дискретизація сигналу  $\xi(t)$ , в результаті чого отримується вибірка випадкових величин  $\xi_1, \dots, \xi_N$  об'єму  $N$ , з використанням якої обчислюються оцінки коефіцієнтів асиметрії та ексцесу за формулами

$$\hat{\gamma}_3 = \hat{\mu}_3 / \hat{\mu}_2^{3/2}; \quad \hat{\gamma}_4 = \hat{\mu}_4 / \hat{\mu}_2^2 - 3,$$

де  $\hat{\mu}_s = N^{-1} \sum_{k=1}^N (\xi_k - \hat{m})^s$  – оцінки центральних моментів  $\mu_s$  процесу (1),

$\hat{m} = N^{-1} \sum_{k=1}^N \xi_k$  – оцінка математичного сподівання процесу (1).

Математичне сподівання  $\mathbf{M}\hat{\gamma}_s$  та дисперсія  $\mathbf{D}\hat{\gamma}_s$  оцінок кумулянтних коефіцієнтів  $\hat{\gamma}_s$  при незалежних  $\xi_k$  і великих об'ємах вибірки  $N$  дорівнюють

$$\mathbf{M}\hat{\gamma}_s = \gamma_s; \quad \mathbf{D}\hat{\gamma}_s = c_s / N. \quad (2)$$

У випадку експоненційної форми елементарних імпульсів  $h(t) = Ae^{-t/t_0} E(t)$ , де  $A > 0$  – амплітуда,  $t_0 > 0$  – стала часу імпульсу,  $E(t)$  – функція Хевісайда, та показникового розподілу амплітуд імпульсів  $\eta_k$  з параметром  $\beta$ , розподіл миттєвих значень процесу (1) є гамма-розподілом з параметром форми  $c = \lambda t_0$  і параметром масштабу  $d = \beta / A$ .

Нехай на основі спостережень необхідно розрізнити процеси (1) при заданих значеннях параметра форми  $c$ . В табл. 1 наведено такі значення  $c$ , а також відповідні їм значення кумулянтних коефіцієнтів  $\gamma_3$  і  $\gamma_4$  та значення коефіцієнтів  $c_s$  (2) для процесу (1).

Таблиця 1

$c$	$\gamma_3$	$\gamma_4$	$c_3$	$c_4$
1	2	6	72	8064
2	1,4142	3	31,5	1908
3	1,1547	2	21,33	917,33
4	1	1,5	16,875	573,75
5	0,8944	1,2	14,4	410,112

Розглянемо три методи розрізнення процесів (1) з двома сусідніми значеннями параметра форми з табл. 1: з використанням оцінки  $\hat{\gamma}_3$ , з

використанням оцінки  $\hat{\gamma}_4$  (при ймовірностях помилок першого та другого роду  $\alpha=\beta=0,01$ ), а також зі спільним використанням обох оцінок для побудови еліпсів розсіювання, імовірності потрапляння в які дорівнюють 0,99.

В табл. 2 наведено отримані значення об'ємів вибірки  $N_3$ ,  $N_4$  і  $N_{3,4}$ , необхідні для розрізнення по трьом зазначеним вище методам процесів (1), яким відповідають два сусідніх значення параметрів форми з табл. 1.

Таблиця 2

$c$	$N_3$	$N_4$	$N_{3,4}$
$c=1, c=2$	3134	10713	2500
$c=2, c=3$	8412	29609	7000
$c=3, c=4$	17219	63685	14500
$c=4, c=5$	30307	117495	26500

Як видно з даних табл. 2, об'єми вибірки  $N_{3,4}$  є найменшими з наведених значень для всіх пар параметрів форми. Тому використаємо еліпси розсіювання оцінок коефіцієнтів асиметрії та ексцесу для розрізнення процесів (1) на прикладі параметрів форми гамма-розподілу  $c=4$  та  $c=5$ .

Для одержання вибірок незалежних випадкових величин об'єму  $N_{3,4}=26500$  за допомогою методу формуючого фільтра змодельовано реалізації процесу (1) з параметрами  $A=1$ ,  $\beta=1$ ,  $t_0=1$  с при інтенсивностях  $\lambda=4$  с<sup>-1</sup> і  $\lambda=5$  с<sup>-1</sup>. З реалізацій відібрано відліки, що розташовані на відстані інтервалу кореляції  $t_0$  один від одного. Таким чином, загальна тривалість реалізацій складає  $26500t_0$ .

Результати моделювання ста пар оцінок коефіцієнтів асиметрії та ексцесу показали, що 98 реалізацій пар оцінок для значення  $c=4$  та 97 реалізацій пар оцінок для значення  $c=5$  знаходились всередині своїх еліпсів розсіювання, що визначає ймовірності правильного розрізнення процесів (1), які дорівнюють 0,98 і 0,97 відповідно і не суперечать розрахованим імовірностям. При цьому не виявлено потраплянь реалізацій пар оцінок коефіцієнтів асиметрії та ексцесу в еліпс розсіювання для іншого значення параметра форми  $c$ .

**ПОЛІНОМІАЛЬНІ МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРА  
ПОСТІЙНОГО СИГНАЛУ НА ФОНІ НЕГАУСОВИХ  
КОРЕЛЬОВАНИХ ЗАВАД**

**Ведєрніков Д.А., Івченко В.О., В.І., Палагіна О.А., Палагін В.В.**

Черкаський державний технологічний університет  
18006, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. +380948811570  
e-mail: palahin@ukr.net

Важливим завданням статистичної обробки сигналів є визначення оцінок інформативних параметрів сигналів, що приймаються на фоні завад. Для вирішення даного завдання застосовуються класичні методи оцінювання, які в загальному випадку не передбачають обмежень на використання виду щільності розподілу досліджуваних випадкових величин. На практиці широкого поширення набуло застосування стандартного нормального розподілу випадкових величин, яке в багатьох випадках виключає відображення реальних процесів з необхідною адекватністю. Дія різних дестабілізуючих факторів на сигнали, комплекс завад при багатопроектному поширенні сигналів, проходження їх через неоднорідні середовища породжують складну сигнально-завадову ситуацію, яка описується негаусовими випадковими процесами. Ці обставини істотно ускладнюють застосування традиційних гаусових моделей при розробці алгоритмів оцінювання параметрів сигналів в технічних системах. Ускладнення при створенні якісних програмно-алгоритмічних і апаратних засобів обробки сигналів також пов'язані з тим, що випадкові процеси можуть мати корельований негаусових характер.

Дослідження останніх років свідчать про те, що для розв'язання задач обробки негаусових процесів перспективним є інший підхід, який для опису статистичних властивостей випадкових величин використовує моменти і кумулянти (семіваріанти) і дозволяє з прийнятним наближенням характеризувати статистичні властивості негаусових процесів. Такий підхід

дозволяє підвищити точність обробки негаусових сигналів у порівнянні з традиційним кореляційним підходом при заданих обмеженнях на їх складність, зменшити складність алгоритмів оцінювання параметрів сигналів.

Для вирішення поставленого завдання оцінювання параметрів сигналів на фоні корельованих негаусових завад пропонується використання методу максимізації полінома (ММП - методу Кунченко) та проведення його адаптації на випадок статистично залежних випадкових процесів. Адаптований ММП дозволяє враховувати статистичні зв'язки у вигляді сумісних моментів і кумулянтів випадкових величин і отримувати оцінки з меншою дисперсією у порівнянні з відомими результатами.

Розглянуто побудову алгоритмів оцінювання параметра постійного сигналу  $S(\mathcal{G})$  дискретного процесу  $\xi(t)$ , що спостерігається на фоні адитивних негаусових завад  $\eta(t)$ , які описуються послідовністю моментів і кумулянтів  $\chi_i(\mathcal{G})$ ,  $i=1, 2, \dots$

$$\xi(t) = S(\mathcal{G}) + \eta(t).$$

Алгоритм знаходження оцінок базується на адаптації методу максимізації полінома, де для опису випадкових процесів використовуються дані про істинні значення параметрів завади  $\eta(t)$  з нульовим математичним очікуванням ( $\chi_1(\mathcal{G})=0$ ) у вигляді одномоментних кумулянтних функцій  $\chi_2(\mathcal{G})$ ,  $\chi_3(\mathcal{G})$  і кумулянтних функцій багатомоментного розподілу  $\chi_2(0, \tau)$ ,  $\chi_3(0, \tau, \tau)$ ,  $\chi_3(0, 0, \tau)$ , які залежать від оцінюваного параметра  $\mathcal{G}$ . Представлений тип завади може бути віднесений до класу асиметричних негаусових випадкових величин.

При проведенні досліджень приймалися припущення, що кореляційна функція негаусових завад відома  $\chi_2(0, \tau) = r_\xi(\tau)$ . Запропонований підхід реалізовувався для кореляційних функцій, які часто використовуються в різних додатках:

$$r_\xi(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|}, \quad r_\xi(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|} \cos\beta\tau, \quad r_\xi(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|} \left( \cos\beta\tau + \frac{A}{\beta} \sin\beta|\tau| \right),$$

де  $\tau = |t_v - t_k|$  - час кореляції;  $A, \beta$  - коефіцієнти кореляції.

Відповідно до адаптованого методу максимізації полінома досліджувані статистичні дані  $x_1 = \xi(t_1) = \xi_1, x_2 = \xi(t_2) = \xi_2, \dots, x_n = \xi(t_n) = \xi_n$  представляються у вигляді стохастичного полінома ступеня  $s$ . Тоді оцінка невідомого параметра  $\vartheta$  при моментному описі випадкового процесу і ступеня полінома  $s$  знаходиться з рішення рівняння:

$$\sum_{i=1}^s \sum_{k=0}^p h_{ik}[\vartheta] \sum_{v=1}^n (\xi_{v-k}^i - \alpha_i[\vartheta]) \Big|_{\vartheta=\hat{\vartheta}} = 0,$$

де  $\xi_{v-k}^i$  - статистично залежні і однаково розподілені випадкові значення з досліджуваного випадкового процесу  $\xi(t)$ ,  $\alpha_i[\vartheta]$  - моменти  $i$ -го порядку одномоментного розподілу випадкового процесу;  $h_{ik}[\vartheta]$  - невідомі коефіцієнти, які залежать не тільки від параметра  $\vartheta$ , який оцінюється, але і від виду функції кореляції  $r_\xi(\tau)$  і визначаються з рішення системи рівнянь:

$$\sum_{i=1}^s \sum_{k=0}^p h_{ik}[\vartheta] K_{i,j}(v-k, \vartheta) = \frac{d}{d\vartheta} \alpha_i(\vartheta), \quad i = \overline{1, s}, \quad v = \overline{0, p-1},$$

де  $K_{i,j}(v-k, \vartheta)$  - коефіцієнти, які визначені із співвідношення:

$$K_{i,j}(v-k, \vartheta) = E\{[\xi_v^i - \alpha_i][\xi_k^j - \alpha_j]\} = E[\xi_v^i \xi_k^j] - \alpha_i \alpha_j$$

де  $\xi_v^i, \dots, \xi_k^j$  - значення стаціонарного процесу в  $v$ -й і  $k$ -й моменти дискретного часу  $t$  ( $t=1, 2, \dots, n$ ).

На основі запропонованого підходу синтезовані поліноміальні алгоритми знаходження оцінок параметра постійного сигналу на фоні адитивних корельованих асиметричних негаусових завад при використанні адаптованого ММП. Показано, що врахування кореляційних зв'язків для опису випадкових процесів дозволяє успішно використовувати даний підхід для побудови ефективних алгоритмів оцінювання параметрів сигналів.

Отримані результати характеризуються меншими значеннями дисперсій оцінювання параметрів у порівнянні з відомими результатами і залежать як від виду кореляційних зв'язків, так і від параметрів негаусових завад.

## ОЦІНЮВАННЯ АМПЛІТУДИ РАДІОСИГНАЛУ В УМОВАХ АПРІОРНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИМЕТРИЧНОЇ ЗАВАДИ

**Воробкало Т.В.**, к.т.н., доцент, **Подорожній А.А.**, студент

Черкаський державний технологічний університет  
бул. Шевченка, 460, Черкаси, 18006, тел. (0472)511570

Останнім часом в радіолокації, радіонавігації, телекомунікації, та інших галузях науки і техніки широке розповсюдження знаходить багатоканальна обробка сигналу. Завдяки багатоканальній обробці можливо визначити координати та параметри руху різноманітних об'єктів в просторі. Наприклад, в амплітудному методі визначення кутового положення джерела випромінювання сигналу необхідно знати амплітуду прийнятого сигналу, Тому в роботі розглядається оцінка саме амплітуди радіосигналу.

В попередніх роботах при знаходженні оцінок параметрів корисного сигналу, що надходить на багатоканальний приймальний пристрій, розглядався випадок, коли статистичні характеристики завади відомі спостерігачу [1]. Але на практиці, зазвичай, данні характеристики невідомі. Тому актуальною є задача знаходження оцінки амплітуди радіосигналу в умовах невизначеності статистичних характеристик завади.

Нехай корисний сигнал надходить на багатоканальний приймальний пристрій. При цьому взаємодія сигналу і завади є адитивною, тобто вважається, що випадкова величина прийнята р-м пристроєм має вид

$$\xi_{v(p)} = S_{v(p)} + n_{v(p)}, \quad p = \overline{0, (r-1)},$$

де  $r$  – кількість приймальних пристроїв в багатоканальній системі.

В якості корисного сигналу розглядається радіосигнал,

$$S_{v(p)} = a_0 e_v \cos[\omega_0(v\Delta - p\tau) + \varphi_0]$$

А в якості завади  $n_{(p)}$  розглядається асиметрична випадкова величина першого типу першого виду з нульовим математичним сподіванням  $En_{(p)} = 0$ , однаковими дисперсіями  $\chi_2$  і коефіцієнтами асиметрії  $\gamma_3$  в кожному приймальному каналі.



Припустимо, що значення параметрів сигналу частота, час запізнення та початкова фаза ( $\omega_0, \tau, \varphi_0$ ) точно відомі спостерігачу, а в якості невідомих параметрів виступають амплітуда сигналу  $\alpha_0$  та статистичні характеристики завади  $\chi_2, \gamma_3$ .

В разі коли характер завади відмінний від гауссівського для знаходження оцінок параметрів випадкової величини доцільним є використання саме методу максимізації полінома, запропонованого професором Ю.П. Кунченко [2]. Тому в даній роботі сумісна оцінка знаходиться саме методом максимізації поліному.

В роботі методом максимізації полінома синтезовані алгоритми сумісного оцінювання параметрів  $\alpha_0, \chi_2$  при другому степені стохастичного поліному, та параметрів  $\alpha_0, \chi_2, \gamma_3$  при третьому, та четвертому степенях поліному. Отримані системи рівнянь є нелінійними, тому для знаходження оцінок, її необхідно розв'язувати за допомогою чисельних методів, наприклад метода Ньютона-Рафсона.

Для дослідження точності оцінок векторного параметру векторної випадкової величини отриманих методом максимізації полінома використовується варіаційна матриця [2].

В роботі побудовано варіаційну матрицю при  $s = 2$

$$V_{2n(r)} = \frac{A_2}{\chi_2^2 r n} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \chi_2 \end{pmatrix}.$$

На головній діагоналі матриці розташовані дисперсії амплітуди радіосигналу та дисперсії асиметричної завади відповідно. Інші елементи матриці дорівнюють нулю. Це означає, що дисперсії параметрів  $\alpha_0$  та  $\chi_2$  при сумісному оцінюванні у разі другого степеня стохастичного поліному дорівнюють дисперсіям відповідних параметрів при окремому оцінюванню кожного параметру. При порівнянні отриманих дисперсій з дисперсіями отриманими методом моментів бачимо, що отримані дисперсії будуть меншими і це зменшення залежить від коефіцієнта асиметрії  $\gamma_3$ .

Також в роботі досліджені асимптотичні властивості отриманих оцінок параметрів  $\alpha_0, \chi_2, \gamma_3$ , при  $s = 3, 4$  степенях поліному

При  $s=3,4$  матриця кількості здобутої інформації має наступний вигляд

$$V_{sn}(\bar{\mathfrak{G}}) = \begin{pmatrix} V_{sn}^{(1,1)}(\bar{\mathfrak{G}}) & 0 & 0 \\ 0 & V_{sn}^{(2,2)}(\bar{\mathfrak{G}}) & V_{sn}^{(2,3)}(\bar{\mathfrak{G}}) \\ 0 & V_{sn}^{(3,2)}(\bar{\mathfrak{G}}) & V_{sn}^{(3,3)}(\bar{\mathfrak{G}}) \end{pmatrix}.$$

Так як елементи матриці (3),  $V_{sn}^{(1,2)} = V_{sn}^{(2,1)} = V_{sn}^{(1,3)} = V_{sn}^{(3,1)} = 0$ , то можна зробити висновки, що при  $s=3,4$  дисперсія оцінки амплітуди при сумісному оцінюванні зі статистичними характеристиками завади буде дорівнювати дисперсії при окремому оцінюванні даного параметру. А дисперсії оцінок параметрів  $\chi_2, \gamma_3$  при сумісному оцінюванні будуть більшими ніж при їх роздільному оцінюванні ( $V_{sn}^{(3,2)}(\bar{\mathfrak{G}}) = V_{sn}^{(2,3)}(\bar{\mathfrak{G}}) \neq 0$ ).

Отримано дисперсії оцінок та коефіцієнти зменшення дисперсій оцінок, з яких видно, що спостерігається зменшення дисперсії оцінок параметрів, це зменшення залежить від коефіцієнта  $\gamma_3$ , причому зі збільшенням степені стохастичного поліному дисперсії також зменшуються.

Отже можна зробити висновки, що отримані сумісні оцінки параметрів  $\alpha_0, \chi_2, \gamma_3$  будуть більш точними в порівнянні з класичними оцінками відповідних параметрів, завдяки врахуванню коефіцієнта асиметрії. А на основі отриманих результатів в даній роботі можна будувати більш точні пристрої для визначення амплітуди радіосигналу при невідомих статистичних характеристиках завади.

## Література

1. Воробкало Т.В. Оцінювання частоти радіосигналу при багатоканальному прийомі на тлі негауссівських завад//Труди конференції ОСНП 2015. – Черкаси: ЧДТУ, 2015. – С.86–88.
2. Кунченко Ю.П., Лега Ю.Г. Оценка параметров методом максимизации полинома К.: Наукова думка, 1992.-180с.

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СТЕЖЕННЯ ЗА МАЛОРОЗМІРНИМ  
БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ КОРЕЛЯЦІЙНО-  
ЕКСТРЕМАЛЬНИМ АЛГОРИТМОМ КАЛМАНІВСЬКОГО ТИПУ**

**Герасименко А.О., Жук С.Я.**

Національний технічний університет України “Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського”

03056, Київ, вул. Політехнічна 12, тел. 044-204-92-93

e-mail: gerasimko@gmail.com

Розвиток технологій побудови малорозмірних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) призвів до появи нового класу загроз, що вимагає розробки адекватних систем захисту. Низька помітність малорозмірних БПЛА обумовлює необхідність використання комплексних систем спостереження, невід’ємною складовою яких є система відеоспостереження /1/. Тому актуальною задачею є розробка і аналіз алгоритмів стеження за малорозмірним БПЛА за даними відеоспостережень.

Для виявлення об’єктів на зображеннях застосовується кореляційно-екстремальний метод /2,3/, який має високу ефективність в силу непрямого використання не тільки характеристик яскравості об’єктів, але й їх форми та положення. При цьому, найбільш поширеною завадою на практиці, що спотворює зображення, є просторово некорельований адитивний шум. Широке використання для супроводження цілей за даними спостереження різноманітних радіоелектронних систем знаходить фільтр Калмана. Представляє інтерес аналіз впливу некорельованого шуму на ефективність стеження за малорозмірним БПЛА кореляційно-екстремальним алгоритмом калманівського типу.

Аналіз виконано шляхом статистичного моделювання у середовищі Матлаб. Розмір кадру дорівнював 2000x2000 пікселів. В якості завади використовувався дискретний білий гаусівський шум з дисперсією  $\sigma_n^2$ . На рис. 1 показані вихідні тестові зображення БПЛА різного розміру. Вони

отримані на основі зображень у форматі JPEG, які були пронормовані до інтервалу  $[0,1]$  і представлені у форматі з плаваючою крапкою.

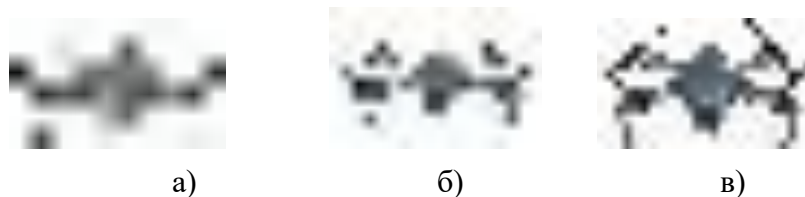


Рис.1 Зображення еталону а)  $10 \times 6$  пікселів, б)  $18 \times 12$  пікселів, в)  $25 \times 15$  пікселів

Строб з еталонним зображенням мав форму прямокутника, в центрі якого знаходилось зображення БПЛА. Його сторони були в три рази більше ніж сторони тестового зображення БПЛА. Стеження за центром строба проводилось незалежно по осям  $X$  і  $Y$  зображення дискретними фільтрами Калмана, отриманими на основі поліноміальної моделі руху цілі другого порядку. При стеженні використовувалось еталонне зображення спотворене завадою. Рішення про зрив супроводження приймалося за умови виходу тестового зображення за межі стробу супроводження.

Моделювався рух цілі на основі поліноміальної моделі другого порядку по кожній осі в прямокутній системі координат із початковими становищем  $x_1=100$  пікс (пікселів),  $y_1=100$  пікс. і швидкістю  $\dot{x}=10$  пікс./такт,  $\dot{y}=10$  пікс./такт. Інтенсивність маневру встановлено  $\sigma_a = 1$  пікс./такт<sup>2</sup>. Кількість відліків траєкторій  $N=20$ . Помилки вимірювання прямокутних координат цілі кореляційно-екстремальним методом встановлено  $\sigma_X = \sigma_Y = 1$  пікс. Кількість реалізацій метода Монте-Карло дорівнює 500. Дослідження проводилося при різних значеннях потужності завади  $\sigma_n^2$ .

На рис. 2 показані отримані з використанням методу Монте-Карло ймовірності зриву  $p_z$  супроводження БПЛА, а на рис.3 математичні очікування  $m_t$  кількості тактів супроводження БПЛА в залежності від середньо квадратичного значення завади  $\sigma_n$  для трьох тестових зображень.

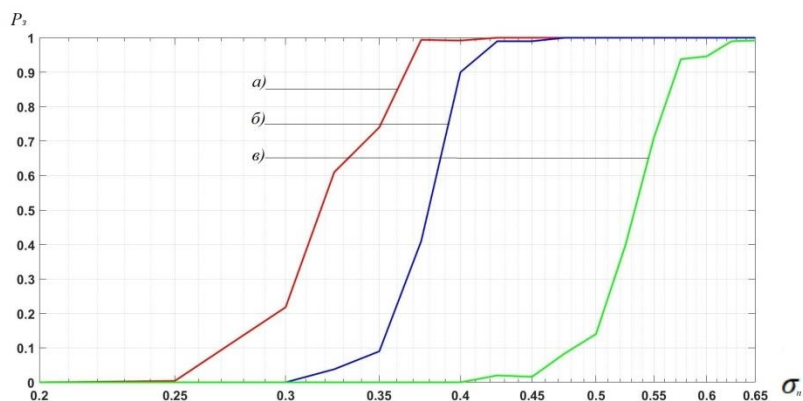


Рис.2. Ймовірності зриву супроводу для зображень а)  $10 \times 6$ , б)  $18 \times 12$ , в)  $25 \times 15$  пікселів

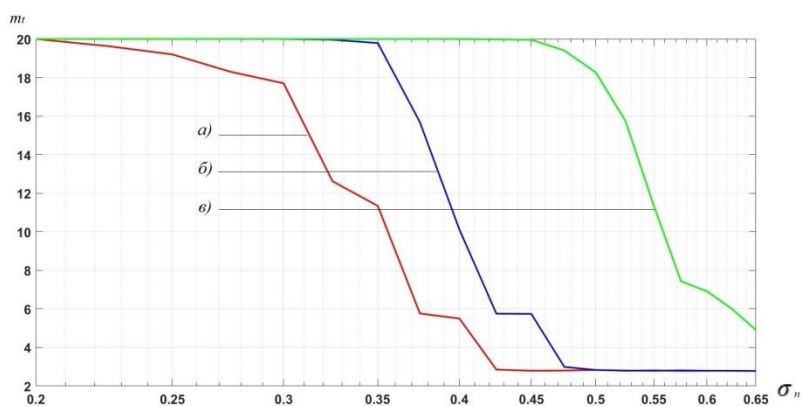


Рис.3. Математичні очікування  $m_t$  кількості тактів супроводу для зображень а)  $10 \times 6$ , б)  $18 \times 12$ , в)  $25 \times 15$  пікселів

Розглянутий алгоритм забезпечує високу ефективність супроводження БПЛА при наявності некорельованої завади, що обумовлено оптимальними властивостями кореляційного приймача, який максимізує відношення сигнал/шум на його виході.

### Перелік посилань

1. Алгоритмическое обеспечение оптико-электронных систем комплекса защиты объектов от беспилотных летательных аппаратов / В. А.Бондаренко, Г. Э. Каплинский, В. А. Павлова, В. А. Тупиков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2018. – С. 15–27.
2. Баклицкий В.К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения. – Тверь: ТО «Книжный клуб», 2009. – 360 с.
3. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов // Обработка изображений и управление. – М.: Радиотехника. – 2008. – 176 с.

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ШТЕЙНЕРА  
ДЛЯ ПОБУДОВИ ОПОРНИХ ПЛАНІВ  
МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАДАЧ**

**Гончаров А.В., к.т.н., Могілей С.О., аспірант**

Черкаський державний технологічний університет

Класична транспортна задача полягає у відшуванні оптимального плану транспортних перевезень за критерієм мінімальної собівартості. Така постановка задачі передбачає наявність лише одного виду транспорту. У випадку, коли засобів доставки вантажу декілька, причому перевезення за їх допомогою відбуваються одночасно (паралельно), то таку транспортну задачу будемо називати мультимодальною.

Для реалізації мультимодальної (аналогічно класичній) транспортної задачі необхідно спочатку побудувати її перший опорний план. В цьому випадку відомі методи розв'язання такої задачі потребують доопрацювання та модифікації. З цієї метою було розроблено метод Штейнера, алгоритм якого детально описаний в [1]. За цим алгоритмом мультимодальна транспортна задача, зважаючи на громіздкість математичних обчислень, може бути реалізована в різних програмних середовищах [2].

Нехай кількість засобів доставки вантажу в постановці мультимодальної транспортної задачі дорівнює 3 – тобто, вантаж доставляється з пунктів відправки до пунктів призначення за допомогою автомобільного, залізничного та водного видів транспорту. В такому випадку формалізація мультимодальної транспортної задачі буде наступною:

$$S = \sum_{i,j=1}^{m,n} a_{ij}x_{ij} + \sum_{i,j=1}^{m,n} b_{ij}y_{ij} + \sum_{i,j=1}^{m,n} c_{ij}z_{ij} \rightarrow \min,$$

де  $n$  – кількість пунктів відправки,  $m$  – кількість пунктів доставки;

$x_{ij}$ ,  $y_{ij}$ ,  $z_{ij}$  – кількість вантажу, що перевозиться з  $i$ -го пункту відправки до  $j$ -го пункту доставки відповідно автомобільним, залізничним та водним транспортом (шукані величини);

$a_{ij}$ ,  $b_{ij}$ ,  $c_{ij}$  – вартість транспортування одиниці вантажу, що

перевозиться з  $i$ -го пункту відправки до  $j$ -го пункту доставки відповідно автомобільним, залізничним та водним транспортом;

$S$  – функція собівартості.

Введемо такі позначення:

$$A = (a_{ij}), B = (b_{ij}), C = (c_{ij})$$

відповідно, матриці вартостей перевезень автомобільним, залізничним та водним видами транспорту.

В основу методу Штейнера покладено метод мінімального елемента визначення опорного плану транспортної задачі. Тому:

$$St = (st_{ij}) = (\min(a_{ij}; b_{ij}; c_{ij})),$$

де  $St$  – матриця Штейнера.

Тоді цільова функція мультимодальної транспортної задачі може бути записана в такому вигляді:

$$S = St \times T \rightarrow \min,$$

де  $T$  – це шуканий опорний план задачі.

Зважаючи на те, що для кожного виду транспорту окремо існує свій опорний план задачі, зазначимо, що опорний план  $T$  є «компромісним». Надалі, скільки б не було засобів доставки вантажу, алгоритм методу Штейнера може бути реалізований для їх скінченної кількості. Тобто, застосування цього методу не залежить від модальності транспортної задачі, а також від кількості пунктів відправки та доставки вантажів. Це дає можливість опрацьовувати великі масиви даних (параметрів задачі) та цілком задовольняти сучасні прикладні потреби транспортної логістики.

## Література

1. Przystupa K., Qin Z., Zabolotnii S., Pohrebennyk V., Mogilei S., Zhongju C., Gil L. Constructing reference plans of two-criteria multimodal transport problem // Transport and Telecommunication Journal, Vol. 2, April 2021. <https://doi.org/10.2478/ttj-2021-0010>
2. Гончаров А.В., Могілей С.О. Реалізація мультимодальних транспортних задач в різних програмних середовищах // Вісник ЧДТУ. №3/2020. С. 67-74.

## ОТРИМАННЯ СУБПКСЕЛЬНОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ПРИ РЕЄСТРАЦІЇ СПЕКТРІВ АТОМНО ЕМІСІЙНОГО АНАЛІЗУ

С.А. Єгоров, В.А. Єгоров, А.Д. Єгоров, В.І. Луценко

Інститут радіофізики та електроніки ім. А.Я. Усикова НАН України,

### Вступ

Спектрометр являє собою складну систему взаємопов'язаних блоків і його параметри багато в чому залежать від ступеня узгодженості взаємодіючих пристроїв. Розміри й форма зображення точкового джерела визначаються дифракційними явищами на апертурі приладу, аберацією оптики, роздільною здатністю детектора та іншими факторами. Типові розміри зерна фотоемульсії та пікселів твердотілих приладів із зарядним зв'язком (ПЗЗ) складають величину близько 10 мкм. Чим більше світлосила оптики, тим менше розмір дифракційного зображення точки. Так при світлосилі оптичного інструменту, що дорівнює одиниці – цей розмір становить величину для видимого спектра біля 0,5 мкм, а для ультрафіолету відповідно в кілька разів менше. Природним вирішенням проблеми є зменшення, хоча б на порядок, розмірів пікселя, але це пов'язано з великими технологічними труднощами. Тому будуть розглянуті можливості, підвищення роздільної здатності спектрометра, внаслідок зміщення зображення на частину пікселя.

### 2. Розгляд задачі в координатному представленні

У нашому випадку сигнал являє собою нерегулярну послідовність піків на фоні темного струму та інших шумів фотодетектора. Форма піків визначається розподілом яскравості всередині спектральної лінії. Нехай послідовно реєструються два масиви даних, отриманих при зміщенні фотодіодної лінійки на половину ширини пікселя. Завдання полягає в знаходженні масиву подвоєної довжини, відповідно до подвоєного розділення лінійки. Вона зводиться до вирішення системи лінійних рівнянь типу:

$$M \cdot X = B, \quad (1)$$



де:  $X$  – невідомий вектор,  $B$  – вектор результатів вимірювань,

У векторі  $B$  парні й непарні компоненти відносяться до двох експозицій, отриманих при зміщенні спектра на половину ширини пікселя.

При надмірній кількості рівнянь рішення доцільно шукати методом найменших квадратів. У цьому випадку завдання зводиться до вирішення системи:

$$M^T \cdot M \cdot X = M^T \cdot B, \quad (3)$$

Для великих ділянок спектра розмірність матриці  $M^T \cdot M$  досягає декількох тисяч, але у зв'язку з тим, що вона має кодіагональний вид, система вирішується без великих труднощів. Якщо ввести позначення:

$$b = M^T \cdot B,$$

У цих позначеннях рішення системи (3) можна представити у вигляді:

$$X = \frac{1}{|M^T \cdot M|} \cdot K \cdot b, \quad (5)$$

де матриця коефіцієнтів  $K$ , складається методом математичної індукції.

### 3 Експериментальні результати

Описаний алгоритм подвоєння чіткості зображення спектра був застосований на експериментальній установці, що складається зі спектрографа ИСП-51 і системи реєстрації на базі багатоелементного сенсора ІЛХ511 фірми SONY з шириною пікселя рівною 14 мкм. Для зсуву зображення спектра щодо фотодетектора в проміжку між щілиною і коліматором спектрографа, в безпосередній близькості від вхідної щілини розміщувалася плоскопаралельна пластинка кварцу товщиною близько 2–х міліметрів, що поверталася з кроком близько  $4 \cdot 10^{-3}$  радіана. При цьому зображення спектра зміщуються на величину, приблизно рівну десятій частині ширини пікселя. На рис. 1 представлений фрагмент спектра, на інтервалі між 357–мим і 398–мим пікселем, а на рис. 2 той же фрагмент після обробки. Порівняння вхідних та оброблених графічних даних, наведених на рис. 1,2 свідчить про ефективність представленого підходу до проблеми субпіксельного розділення при спектральних дослідженнях.

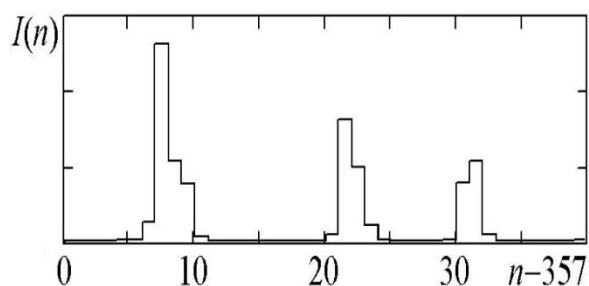


Рис. 1 Фрагмент спектру до обробки.

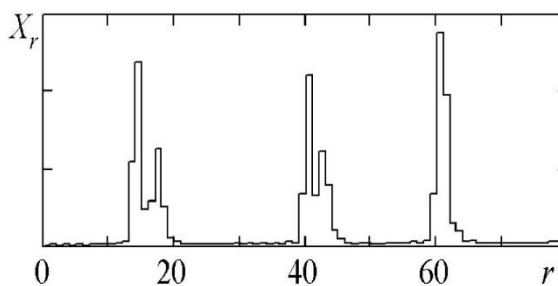


Рис. 2 Результат обробки

#### 4. Енергетичні співвідношення

На лінійку фотоприймачів падає спектр після розкладення дифракційною ґраткою. Нехай спектральна щільність на довжині хвилі  $\lambda_1$  описується функцією  $S(\lambda_1)$ . При зміщенні зображення на  $\Delta\lambda$  значення спектральної щільності буде  $S(\lambda_2)$ . Для отримання зверх розподілу в приймачі визначається різниця між рівнями сигналу і потрібно, щоб ця різниця була істотно більшою, ніж середньоквадратичний рівень шумів  $\sigma_0^2$ , тоді вона може бути виявлена. Для невеликих зсувів  $\delta$  додаткове співвідношення сигнал / шум, що потрібне для отримання додаткового розрізнення визначається, як:

$$\Delta\mu = \delta^{-2} \quad (10a)$$

Тобто при необхідності отримання додаткового розрізнення потрібно підвищення співвідношення сигнал / шум. При необхідності покращання розрізнення у 2 рази додатково необхідно до бдБ, а при суттєвому покращанні, наприклад в 10 разів, вже потрібно додатково 20лБ. Таким чином використання зсуву зображення на пікселі фотоприймача дозволяє отримати додаткове розрізнення, однак потребує додаткових співвідношень сигнал/шум.

#### Висновки

Запропоновано спосіб збільшення роздільної здатності багатоеlementних фотоприймачів при реєстрації спектрів, який складається з апаратної модернізації спектрометра, що дозволяє виконати мікрометричний зсув зображення спектра щодо пікселів детекторних лінійок, а також алгоритм обробки з урахуванням особливостей спектральних даних АЕСА. Це відкриває можливість отримання субпіксельного розділення спектральних зображень аж до повної оптичної роздільної здатності спектрального приладу.

## ОПТИМАЛЬНЕ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ НА ФОНІ СТАЦІОНАРНИХ НЕГАУСОВІХ ЗАВАД У СИСТЕМАХ АТОМНО-ЕМІСІЙНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

С.А. Єгоров<sup>1</sup>, В.А. Єгоров<sup>1</sup>, О.В.Кривенко<sup>1</sup>, В.І. Луценко<sup>1</sup>, О.В. Соболяк<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут радіофізики та електроніки ім. А.Я. Усикова НАН України,

<sup>2</sup> Державне підприємство Харківське конструкторське бюро з машинобудування ім. О.О. Морозова

Оптимальний прийом сигналів на фоні корельованих негаусових завад вперше було розглянуто в роботі [1]. Оригінальний підхід з використанням стохастичних поліномів був запропонований Кунченко Ю.П. [2]. У даній роботі розглянута можливість використання запропонованих підходів для оптимальної обробки, узгодженої зі статистикою завад в системах атомно емісійного аналізу спектрів випромінювання середовищ.

При виявленні послідовності, які не перекриваються імпульсних сигналів, що представляють спектри випромінювання атомізованого досліджуемого середовища на фоні адитивної негаусової перешкоди цікавлячись логарифмом відношення правдоподібності і розкладаючи його за ступенями сигналу, тобто розглядаючи випадок малих відносин сигнал / перешкода, після накопичення отримаємо вираз для вихідного ефекту:

$$Z = \sum_{\chi=1}^L U_{\chi}, \quad U_{\chi} = \vec{f} \cdot \vec{S}^T = \sum_{m=-M}^M f_1 S_{m\chi} + f_2 S_{m\chi-1} \quad (1)$$

$$f_1 = -\frac{\partial}{\partial y_{m\chi}} \ln P(y_{m\chi} | y_{m\chi-1}); \quad f_2 = -\frac{\partial}{\partial y_{m\chi-1}} \ln P(y_{m\chi} | y_{m\chi-1})$$

де  $P(y_{m\chi} | y_{m\chi-1})$  - умовні щільності розподілу перешкоди, описаної Марківським процесом  $\chi$  - порядковий номер вимірювання,  $L$ - кількість вимірів (експозиція);  $m$  – порядковий номер пікселя лінійки оптичного детектора;  $M$  - кількість пікселів. Для перешкоди з не корельованими в часі вибірками

$$f_1 = f = -\frac{\partial}{\partial y} \ln P(y); \quad f_2 = 0. \quad \text{Якщо функцію } f \text{ представити у вигляді:}$$

$f_1 = f(y) = h_0 + \sum_{i=1}^S h_i \psi_i(y)$  розкладання по стохастичним поліномами

Кунченка Ю.П. [2], то така обробка в разі, коли вона визначена співвідношеннями (1) буде оптимальною. Оптимальним виявителем є паралельний набір виявителів одновимірних часових процесів в кожному з яких прийняте коливання пропускається через нелінійний перетворювач з характеристикою  $f(y)$  (для некорельованої в часовій області перешкоди).

Для корельованої Марківської перешкоди в структурі виявителя з'являються перехресні зв'язки в часовій області ( $f_2 \neq 0$ ), реалізовані шляхом подачі затриманого на крок вимірювання впливу на нелінійний елемент. Ця характеристика також може представлятися стохастическими поліномами Кунченко Ю.П.

При виявленні імпульсів на фоні просторово корельованої перешкоди, з щільністю ймовірності переходів  $P(n_{\chi m} | n_{\chi m-1})$  і одновимірної щільністю  $P(n)$  залишаються справедливими раніше наведені співвідношення з заміною  $m \rightarrow \chi$  и  $\chi \rightarrow m$ . Таким чином, в разі просторово корельованих негаусових перешкод в структурі виявителя з'являються міжканальні перехресні зв'язки, ефектів сусідніх елементів лінійки фотоприймача, які зникають з усуненням просторово кореляційних зв'язків перешкод.

Якщо фонові перешкоди є некорельованим процесом з нормальним законом розподілу:

$$p(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \left( \exp\left(-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \right); \quad (2)$$

то згідно (1) амплітудна характеристика оптимального приймального пристрою буде лінійною:

$$f(y) = \frac{d}{dy} \ln p(y) = \alpha y \quad (3)$$

В разі, коли перешкоди є умовно нормальним процесом з щільністю розподілу з однаковими значеннями дисперсії для сусідніх вимірів, а також елементів матриці фотоприймачів:

$$P(y_{m\chi} | y_{m\chi-1}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi(1-r^2)}} \exp\left[-\frac{1}{2(1-r^2)} * \left(\frac{y_{m\chi} - r * y_{m\chi-1}}{\sigma}\right)^2\right] \quad (4)$$

При виявленні з'являються перехресні зв'язки між каналами. При часовій кореляції перешкоди від поточного значення віднімається попереднє з вагою рівною коефіцієнту їх кореляції. Аналогічно і при кореляції перешкод у сусідніх елементах фотоприймача. Розподіл негаусової фоновой перешкоди системам АЕСА можна описати логарифмічно нормальним розподілом:

$$p(y) = \frac{1}{y\sqrt{2\pi}\sigma} \left( \exp\left(-\frac{(\ln y - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \right); \quad (5)$$

яке являє собою нормальний розподіл логарифма випадкової величини де  $\sigma$

Логарифмічно нормальний розподіл отримують експоненціальним перетворенням величини розподіленої за нормальним законом. В даному випадку використання логарифмічного приймача буде доцільним.

Виграш за рахунок узгодженої з видом розподілу перешкоди обробки сигналу визначається виразом:

$$\mu = \sigma^2 \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \frac{d}{dA} \ln p(y) \right]^2 p(y) dy = \sigma^2 \int_{-\infty}^{\infty} [f(y)]^2 p(y) dy \quad (6)$$

і може сягати 25 дБ.

### Література

1. Валеев В.Г. Обнаружение некогерентной последовательности импульсов на фоне негауссовых помех / В.Г. Валеев // Радиотехника и электроника, 1971.- №4.- С. 513-517.
2. Кунченко Ю.П. Полиномиальные оценки параметров близких к гауссовским случайных величин. Часть 1. Стохастические полиномы, их свойства и применения для нахождения оценок параметров. / Ю.П. Кунченко. - Черкассы: ЧИТИ.- 2001.- 133с.

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОЛІНОМІАЛЬНИХ ОЦІНОК  
ПАРАМЕТРІВ АВТОРЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ  
З НЕГАУСОВИМИ ПОМИЛКАМИ**

**Заболотній С.В.**

Черкаський державний бізнес коледж

18028, Черкаси, бул. Чорновола 243

e-mail: zabolotniua@gmail.com

Відомо, що авторегресивні (АР) моделі - це спосіб опису часових рядів, який широко використовується для прогнозування даних геофізичного, економічного, біомедичного, соціологічного та іншого походження. Традиційно такі моделі синтезуються і аналізуються на основі припущення про нормальність (гаусовий розподіл) статистичних даних. Зокрема, базовий опис АР моделі виду

$$y_t = a_0 + \sum_{k=1}^p a_k y_{t-k} + \varepsilon_t \quad (1)$$

передбачає, що помилкова складова, яку часто називають інноваціями (від англ. innovation)  $\varepsilon_t$  представляє собою гаусовий «білий шум». Проте велика кількість дослідників відзначають ідеалізованість припущення про гаусовий закон розподілу, яка хоч і суттєво спрощує вирішення задачі оцінювання інформативних параметрів  $a_i$ , проте часто не відповідає реаліям практичних задач [1-6]. В таких ситуаціях для підвищення точності оцінювання здійснюють перехід від простих непараметричних оцінок на основі методу моментів (рівнянь Юла-Уокера) або методу найменших квадратів (МНК) до більш реалізаційно-складного параметричного підходу на основі методу максимальної правдоподібності (ММП). Відомо, що одним із ключових елементів цього підходу є ідентифікація типу та оцінювання параметрів ймовірнісного розподілу для опису помилкової складової АР моделі. На даний момент застосовується велика кількість різних типів розподілів: експоненціальний і гамма-розподіл [1], пуассонівський [1, 2], сімейство

експоненціальних степеневих розподілів, включно з асиметричною модифікацією [3], інверсний гаусовий і розподіл Стьюдента [4], полісуміші на основі гаусових [2] або розподілів Лапласа [5] та ін. Таке велике різноманіття може ускладнити вибір необхідного типу розподілів, а окрім того, важливою постає задача аналізу робастності результуючих оцінок [6].

У даній роботі для знаходження оцінок параметрів АР моделей пропонується використовувати метод максимізації полінома (ММПл) [7], який базується на альтернативному описі випадкових величин у вигляді кінцевого числа статистик, наприклад, моментів або кумулянтів. Дане дослідження є безпосереднім продовженням робіт [8, 9] по застосуванню ММПл для знаходження оцінок параметрів регресійних моделей із негаусовими помилками. Загальна ідея використання ММПл для оцінювання параметрів АР моделей, вперше запропонована в роботі [10], заснована на відомій математичній аналогії між залежністю виду (1) і лінійною (за параметрами) однофакторною регресією. Оскільки помилки  $\varepsilon_t$ , статистично не залежать від спостережень  $y_t$ , то останні можуть бути використані в якості предикторів лінійної регресії для знаходження оцінок параметрів якої можна використати непараметричні лінійні оцінки (Юла-Уокера або МНК). При цьому неадекватність гаусової гіпотези не є критичною з тієї точки зору, що лінійні оцінки залишаються незміщеними і слухними (хоча і перестають бути ефективними), а ймовірнісні властивості АР залишків, істотно не відрізняються від властивостей негаусових помилок. Цей факт відкриває можливість для подолання умови наявності необхідної інформації про значення статистик вищих порядків для опису випадкової складової АР моделей, оскільки замість апріорних значень цих параметрів можна використати апостеріорні оцінки таких залишків. Таким чином даний підхід можна трактувати як двоетапну адаптивну процедуру оцінювання параметрів АР моделей виду (1).

Зазначимо, що ідея подібного адаптивного підходу на основі використання статистик вищих порядків в процесі вирішенні задачі

оцінювання параметрів моделей часових рядів не є новою. Зокрема, в роботі [11] розглядається використання апостеріорних значень коефіцієнтів асиметрії та ексцесу АР залишків, після застосування оцінок Юла-Уокера. Проте принциповою відмінністю є те, що отримана апостеріорна інформація використовується для більш складної процедури апроксимації випадкової складової АР моделі на основі асиметричного експоненційного степеневого розподілу з подальшим адаптивним уточненням оцінок інформативних параметрів шляхом із використанням методу максимальної правдоподібності.

Основною метою даної роботи є аналіз шляхом статистичного моделювання відносної ефективності ММПл-оцінок параметрів авторегресійних моделей за умови негаусового розподілу їх помилок, а також апробація запропонованого підходу на реальних статистичних даних економічного походження.

Основні теоретичні результати даного дослідження полягають у модифікації раніше отриманих співвідношень [8, 9], що описують системи рівнянь ММПл для пошуку оцінок параметрів АР моделі виду (1) на основі чисельної ітераційної процедури Ньютона-Рафсона. Розглядаються випадки застосування стохастичних поліномів степені  $S = 2$  для помилок із асиметричним розподілом і  $S = 3$  для помилок із симетричним розподілом.

На основі отриманих теоретичних результатів, із використанням інструментарію мови R розроблено набір функцій, які дозволяють реалізувати статистичне моделювання роботи алгоритмів оцінювання параметрів АР моделі із негаусовими помилками. Даний комплекс на основі багаторазових випробувань (методом Монте-Карло), дозволяє здійснювати порівняльний аналіз точності різних методів статистичного оцінювання, а також досліджувати властивості оцінок.

Отримана на даний момент сукупність експериментальних результатів статистичного моделювання в цілому підтверджує ефективність (порівняно із лінійними оцінками Юла-Уокера, МНК і ММП при гаусовому розподілі) застосування ММПл для ситуацій, коли помилки АР моделі (1) мають



негаусовий характер. Як критерій ефективності використано відношення дисперсії оцінок, середньоквадратичних відхилень та абсолютних зсувів математичних сподівань оцінок відносно істинних значень параметрів. Важливим фактором є те, що зі збільшенням обсягу вибірових даних експериментальні значення коефіцієнтів зменшення дисперсії прагнуть до теоретично розрахованих величин, а працездатність запропонованих поліноміальних процедур адаптивного оцінювання спостерігається і в практично важливих ситуаціях відсутності апріорної інформації про параметри негаусових помилок.

Як приклад апробації розробленого підходу до знаходження ММПл-оцінок параметрів АР моделей використано набори даних часових рядів у вигляді щоденних диференціальних змін величини індексу Доу-Джонса. Проведені розрахунки показали, що для багатьох достатньо тривалих періодів (в декілька місяців) розподіл випадкової складової АР моделей може суттєво відрізнятися від гаусової ідеалізації. А урахування цієї відмінності на основі застосування ММПл дозволяє зменшувати до 20 % величину дисперсії оцінок інформативних параметрів АР моделей, результатом чого може бути підвищення точності майбутніх прогнозів.

У цілому аналіз сукупності отриманих результатів підтверджує можливість і потенційну ефективність застосування методу максимізації поліномів для знаходження оцінок параметрів авторегресійних моделей за умови негаусового розподілу помилок. Запропонований підхід можна трактувати як адаптивний і компромісний з точки зору практичної реалізації.

### Література

1. Grunwald G. K. Theory & Methods: Non-Gaussian Conditional Linear AR (1) / G. K. Grunwald, R. J. Hyndman, L. Tedesco, R. L. Tweedie Models // Australian & New Zealand Journal of Statistics. – 2000. – Т. 42. – №. 4. – Р. 479-495.
2. Ozaki T. An innovation approach to non-Gaussian time series analysis / T. Ozaki, M. Iino // Journal of Applied Probability. — 2001. — Vol. 38, No. A. — P. 78–92.

3. Bondon P. Estimation of autoregressive models with epsilon-skew-normal innovations / P. Bondon // *Journal of Multivariate Analysis*. — 2009. — Vol. 100. — P. 1761–1776.
4. Hürlimann W. On non-Gaussian AR(1) inflation modeling / W. Hürlimann // *Journal of Statistical and Econometric Methods*. — 2012. — Vol. 1, No. 1. — P. 93–109.
5. Nguyen H. D. Laplace mixture autoregressive models / H. D. Nguyen, G. J. McLachlan, J. F. P. Ullmann, A. L. Janke // *Statistics and Probability Letters*. — 2016. — Vol. 110. — P. 18–24.
6. Akkaya, A. D., & Tiku, M. L. (2005). Time series AR(1) model for short-tailed distributions. *Statistics*, 39(2), 117–132.
7. Кунченко Ю.П., Лега Ю.Г. Оценка параметров случайных величин методом максимизации полинома. – К.: Наукова думка, 1991. – 180 с.
8. S. Zabolotnii, Z. L. Warsza, and O. Tkachenko, “Polynomial Estimation of Linear Regression Parameters for the Asymmetric PDF of Errors,” *Automation* 2018, pp. 758–772, 2018.
9. S. Zabolotnii, Z. L. Warsza, and O. Tkachenko, “Estimation of Linear Regression Parameters of Symmetric Non-Gaussian Errors by Polynomial Maximization Method,” *Automation* 2019, pp. 636–649, 2019.
10. Заболотный С.В. Применение метода максимизации полинома для оценивания параметров авторегрессионных моделей с негаусовскими инновациями // Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации (ИКТ-2018), 14–15 июня 2018: Материалы I международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, – Новополоцк, 2018. – С.235-237.
11. Bondon, P., & Song, L. (2013). AR processes with non-Gaussian asymmetric innovations. *European Signal Processing Conference*, 1–5.

## СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТНИХ ФУНКЦІЙ ВИЩИХ ПОРЯДКІВ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ

**О.В. Івченко**

Черкаський державний технологічний університет

бул.Шевченко, 460 м.Черкаси, 18006 тел.: (0472) 73-02-61

e-mail: o.ivchenko@chdtu.edu.ua

При статистичній обробці випадкових даних широко використовують статистичні характеристики. Ефективність опису негаусових випадкових процесів за допомогою моментних і кумулянтних функцій відзначалося в роботах А.М. Ширяєва, В.П. Леонова, О.І. Шелухіна Д. Бриллинджера, А.М. Колмогорова, А.Н. Малахова, Ю.П. Кунченка. Робіт присвячених розгляду методів обробки випадкових процесів за статистичними характеристиками нижчих порядків значно більше, що може пояснюватися меншою складністю алгоритмів обробки. Але існує велика кількість процесів статистичний опис яких має багатомоментний характер [1, 2]. В роботі розглядаються можливі підходи визначення усереднених характеристик випадкових негаусових процесів, які необхідні для побудови математичних моделей випадкових процесів.

При побудові математичних моделей негаусових процесів досить часто використовують усереднені характеристики випадкового процесу (математичні сподівання і кореляційні функції) [2, 3]. Апріорні відомості про ці характеристики можна отримати усередненням вибірових значень одномірного випадкового процесу з використанням наприклад методу моментів:

$$\hat{\alpha}_i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^i. \quad (1)$$

Оціночні значення початкових моментних функцій, які необхідні для формування відомих даних про багатомоментні розподіли процесу можуть бути знайдені шляхом усереднення значень процесу як в часовій області так і в спектральній, так як усереднені характеристики часових та частотних

властивостей випадкового процесу взаємозв'язані прямим та зворотнім перетворенням Фур'є [5].

Так, вибірковий коефіцієнт автокореляції між елементами однієї вибірки  $\bar{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  з математичним сподіванням  $\alpha_1$ , що зміщені на  $r$  позицій ( $r=0,1,2,\dots,m$ ,  $m < n$ ), обчислюють як нормоване до вибіркової дисперсії  $\hat{\sigma}^2$  вибірки середнє значення добутоків  $x_i - \hat{\alpha}_1$  та  $x_{i+r} - \hat{\alpha}_1$  відповідних елементів вибірки [4, 5]:

$$\rho_r = \frac{1}{N-r-1} \frac{\sum_{i=1}^{N-r} (x_i - \hat{\alpha}_1)(x_{i+r} - \hat{\alpha}_1)}{\hat{\sigma}^2}. \quad (2)$$

Для розрахунку коефіцієнта кореляції необхідно використовувати оригінальну, невпорядковану вибірку.

Слід відзначити, що зі збільшенням відстані  $r$  між елементами вибірки, кореляцію між якими знаходять, зменшується кількість  $N-r-1$  усереднювальних елементів, тому зростає статична нестабільність у числових значеннях коефіцієнта кореляції. У зв'язку в цим виразом (2) доцільно користуватися у разі зміщень між елементами вибірки  $r \leq n/2$ . Якщо необхідно знайти коефіцієнт кореляції між віддаленими елементами, то необхідно збільшити обсяг вибірки.

Для оцінювання моментних функцій вище другого порядку багатомоментного розподілу досить часто використовують спектральне представлення досліджуваного процесу. Негаусовий випадковий процес повністю описується набором спектрів всіх порядків. Як і моментні функції, спектри більш високих порядків можуть містити додаткову інформацію про випадковий процес. Так за відомою формулою Вінера-Хінчина енергетичний спектр  $N(\omega)$  стаціонарного випадкового процесу з нульовим середнім значенням та його автокореляційною функцією  $\rho_r(t)$  взаємозв'язані прямим та зворотнім перетворенням Фур'є [6]:

$$\rho_r(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} N(\omega) e^{j\omega k} d\omega; \quad N(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} r_r(t) e^{-j\omega k} dt.$$

Енергетичний спектр випадкової послідовності, що містить  $N$  відліків, розраховується як двостороннє дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) від дискретної кореляційної функції  $R(n)$ :

$$S(f_k) = \sum_{n=-(N-1)}^{N-1} R(n) e^{-j2\pi f_k n},$$

де  $f_k = k/N \cdot \Delta t$  – частота спектральної складової,  $\Delta t$  – часовий інтервал між сусідніми відліками випадкового процесу, або інтервал дискретизації.

З наведеного виразу випливає, що енергетичний спектр випадкової послідовності є дискретним і періодичним.

Тобто спектральна щільність потужності є Фур'є-зображенням кореляційної функції.

Моментним функціям вищих порядків відповідають енергетичні спектри відповідного порядку[2]:

$$\alpha_r(0, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_r) = \frac{1}{(2\pi)^{r-1}} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \alpha_r(0, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_r) e^{-j(\omega_2 \tau_2 + \omega_3 \tau_3 + \dots + \omega_r \tau_r)} d\tau_2 d\tau_3 \dots d\tau_r$$

Енергетичні спектри відповідного порядку дискретного випадкового процесу визначаються через моментні функції наступним чином:

$$\alpha_r(0, k, l, \dots, n) = \sum_{i=-(n-1)}^{n-1} \dots \sum_{j=-(n-1)}^{n-1} \alpha_r(0, i, v, \dots, j) e^{-j \frac{2\pi}{2n-1} (ki+lv+\dots+nj)}.$$

Моментна функція  $r$ -го порядку дискретного випадкового процесу може бути знайдена по спектру  $r$ -го порядку (поліспектру) за допомогою зворотнього перетворення Фур'є.

Одномірний дискретний спектр, може бути отриманий однократним перетворенням Фур'є від відповідної моментної функції наступним чином:

$$\alpha_r(0, k, l, \dots, n) = \sum_{j=-(n-1)}^{n-1} \alpha_r(0, i, v, \dots, j) e^{-j \frac{2\pi}{2n-1} ki}.$$

Одним із способів отримання спектральних статистик вищих порядків є використання методу періодограм. Для аналізу негаусових процесів пропонується використовувати періодограми третього порядку, а також періодограми довільного порядку. Вони виходили добутком трьох кінцевих перетворень Фур'є негаусових випадкових процесів. Вивченню кумулянтних спектрів присвячені роботи [7].

В [8] вводяться і вивчаються статистики старших порядків моментних і кумулянтних спектральних щільностей випадкових процесів. Статистика будується відомим для спектрів другого порядку методом сегментації з наступним усередненням за отриманими таким чином вибірками спектру.

В теорії лінійних систем, як правило, розглядається пряма задача знаходження процесу, його кореляційної і моментної функції на виході лінійних систем з відомими параметрами.

Наприклад кумулянтні функції вищих порядків випадкового процесу на виході ідеального лінійного фільтра з перехідною функцією  $h(v) = e^{-\alpha^2 v^2}$  ( $\alpha$ -коефіцієнт інтенсивності), коли на його вхід подається негаусовий дельта-процес мають вигляд [2]:

$$\chi_i(0, \tau_2, \dots, \tau_s) = \chi_2^{s/2} \gamma_s \exp\left\{-\alpha^2 \sum_{i=2}^s \tau_i^2 - \frac{1}{s} \left(\sum_{i=2}^s \tau_i\right)^2\right\}.$$

Для двохмоментного розподілу такого процесу кумулянтні функції і їх спектри 2-го і 3-го порядків матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} \chi_2(0, \tau) &= \chi_2 \exp\left\{-\frac{\alpha^2 \tau^2}{2}\right\}; & \chi_3(0, \tau, \tau) &= \chi_2^{1.5} \gamma_3 \exp\left\{-\frac{2\alpha^2 \tau^2}{3}\right\}; \\ \chi_2(\omega) &= \frac{\chi_2}{\alpha\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\omega^2}{2\alpha^2}\right\}; & \chi_{3\tau}(\omega) &= \frac{\chi_2^{1.5} \gamma_3 \sqrt{3}}{2\alpha\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{3\omega^2}{8\alpha^2}\right\}. \end{aligned}$$

В роботі [9] розглянуті кореляційні функції довільного порядку для стаціонарних випадкових процесів і показано, що безліч кореляційних

функцій вищих порядків пов'язано ієрархічними співвідношеннями, що дозволяють послідовно з експериментів знаходити, починаючи з КФ молодших порядків, кореляційні функції будь-якого порядку.

### Література

1. Шелухин О.И. Негауссовские процессы в радиотехнике. – М.: Радио и связь, 1998. – 310 с.
2. Малахов А.Н. Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований. – М.: Сов. Радио, 1978. – 376 с.
3. Кунченко Ю. П. Стохастические полиномы. Киев: Наук. думка, 2006. 275с.
4. Дорожевец М. Опрацювання результатів вимірювань: Навч. посібник / М. Дорожевец. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. –624 с.
5. Бендат Дж. Применение корреляционного и спектрального анализа / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
6. Беляков, И.В. Негауссовские процессы [Текст] / И.В. Беляков, О.И. Шелухин. – СПб.: Политехника, 1992. – 312с.
7. Ширяев А.Н. Некоторые вопросы спектральной теории старших моментов / А.Н. Ширяев // Теория вероятности и ее применение. – 1960. – №5, 3. – С. 293–313
8. Журбенко И.Г. Анализ стационарных и однородных случайных систем / И.Г. Журбенко. – М.: Изд-во моск. ун-та, 1987. – 240 с.
9. Кузнецов, В.В. О нахождении корреляционных функций высших порядков [Текст] / В.В. Кузнецов //Актуальные проблемы современной науки. Труды 4-го Международного форума (9-й Международной конференции) 20 - 23 ноября 2008 г. Естественные науки. Части 1-3. Математика. Математическое моделирование. Механика. Самара: Изд - во СамГТУ, 2008. - 258 с. - С. 99 - 104

## РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ЗАХИСТУ ДОКУМЕНТІВ НА ОСНОВІ ЕЦП

Маслюк А.О.<sup>1</sup>, Палагін В.В.<sup>2</sup>

Черкаський державний технологічний університет  
18006, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. +380948811570  
e-mail: tenza1999@gmail.com<sup>1</sup>, palahin@ukr.net<sup>2</sup>

Сучасний світ характеризується постійно зростаючим потоком інформації, де астосовуються різноманітні сучасні криптографічні перетворення, зокрема електронно цифровий підпис (ЕЦП). ЕЦП є важливим методом у боротьбі з підробкою або зміною електронного документу та його використовують у адміністративному документообігу, що збільшує безпеку та створює можливість надавати документи дистанційно.

В роботі розглядаються програмні засоби, які реалізовані у вигляді веб-додатку для забезпечення безпеки та розмежовують доступ до інформації різних користувачів за допомогою ЕЦП. Розроблений веб-додаток розділений на “фронтенд” та “бекенд” частини клієнт-серверної архітектури. HTTP-запити формуються на клієнтській частині та відправляються на сервер, де йде перевірка доступу до ресурсу, який отримує клієнт, а потім обробляється. Такий підхід забезпечує конфіденційність, користувачі не знають один про одного і не мають можливості отримати «чужі» дані.

Користування додатком складається з декількох етапів, а саме: реєстрація (якщо користувач ще не має особового кабінету), автентифікація (перевірка даних при вході у систему), авторизація (надання доступу до відповідного ресурсу), завантаження документу у систему та створення ЕЦП.

Розподілення на такі частини збільшує рівень безпеки як додатку, так і його користувачів. ЕЦП забезпечує незмінюваність документів за допомогою використання перевірки результату хешування самого документу; також результат хеш-функції додатково зберігається у базі даних для подальшої перевірки на істинність.



## ВИЯВЛЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ ПОЛІНОМІАЛЬНИМ ВИЯВЛЯЧЕМ ПРИ НЕПОВНІЙ АПРІОРНІЙ ВИЗНАЧЕНОСТІ

Мартиненко С.С., Гуріненко А.В.

Черкаський державний технологічний університет  
бул. Шевченко, 460 м.Черкаси, 18006 тел.: (0472) 511570

e-mail: [s.martynenko@chdtu.edu.ua](mailto:s.martynenko@chdtu.edu.ua)

Задача виявлення сигналів є однією з перших задач опрацювання сигналів. Але, як показано на практиці, більшість досліджень, направлених на вирішення проблем виявлення сигналів, що приймаються на тлі гауссівських завад. Для цього випадку можна побудувати функціонал відношення правдоподібності. Саме для імовірнісного опису завади розроблені методи оптимального виявлення радіосигналів та оцінювання їх параметрів. Найбільше напрацювань зроблено для адитивної суміші корисного сигналу і гауссівських завад. Фундаментальні результати, що представлені в роботах І.Н. Амiantoва, Б.Р. Левіна, В.Н. Манжоса Г.П. Тартаковського, В.І. Тихонова, Є.Г. Сосуліна [1], та ряду інших, забезпечують велике практичне застосування при побудові виявлячів сигналів.

Але застосування гауссівської моделі завади, має суттєвий недолік. Це не тільки можливе погіршення точнісних характеристик алгоритмів виявлення сигналів, але також відсутність можливості дослідження робастності (стійкості) запропонованих алгоритмів виявлення. В свою чергу, методи синтезу виявлячів сигналів, що приймаються на тлі адитивних негауссівських завад, при застосуванні опису в вигляді послідовності моментів і кумулянтів, запропонував і розвинув професор Кунченко Ю.П. В даній роботі розглянемо синтез поліноміальних вирішувальних правил для виявлення імпульсних сигналів при когерентному прийомі при адитивній суміші із негауссівською завадою та неповної апріорної інформації про сигнал чи заваду. В якості критерію оптимальності для побудови поліноміальних вирішувальних правил, використовується запропонований професором Кунченко Юрієм Петровичем моментним критерієм якості.

Проведемо постановку задачі виявлення. Нехай з випадкового процесу  $\xi(t)$ , що спостерігається, проводиться незалежна дискретна вибірка  $\vec{\xi} = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n\}$  об'ємом  $n$ . За умови, що здійснилася гіпотеза  $H_1$  (тобто сигнал  $S(t)$  є присутнім), то вибіркові значення мають вигляд:  $\xi_v = \xi(t_v) = S_v + n_v$ , (1), де  $S_v = A e_v \cos(\omega_0 v + \varphi_0)$  - корисний сигнал, в якому:  $A$  - амплітуда імпульсу,  $\omega_0$  - несуча частота,  $\varphi_0$  - початкова фаза,  $e_v$  - огибаюча сигналу. При гіпотезі  $H_0$  в вибіркових значеннях буде присутній лише шум:  $\xi_v = n_v \quad v = \overline{1, n}$ . (2)

В якості апріорного опису застосовується не щільність розподілу імовірності, а послідовність моментів та кумулянтів [6]. Початкові моменти до четвертого включно при гіпотезі й альтернативі мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} u_{1v} &= 0, \quad u_{2v} = \chi_2, \quad u_{3v} = \chi_3, \quad u_{4v} = \chi_4 + 3\chi_2^2, \\ m_{1v} &= S_v, \quad m_{2v} = S_v^2 + \chi_2, \quad m_{3v} = S_v^3 + 3S_v \chi_2 + \chi_3, \\ m_{4v} &= S_v^4 + 6S_v^2 \chi_2 + 4S_v \chi_3 + \chi_4 + 3\chi_2^2, \end{aligned} \quad (3)$$

Синтез оптимальних вирішальних правил проведений за моментним критерієм, запропонованим професором Кунченком Ю.П. Поліноміальне вирішальне правило при ступеню полінома  $S=1$  буде мати вигляд:

$$\sum_{v=1}^n h_{1v} [\xi_v - \frac{1}{2} (m_{1v} + u_{1v})] \begin{matrix} H_1 \\ > \\ < \\ H_0 \end{matrix} 0, \quad (4)$$

а при ступеню поліному  $S=2$  відповідно:

$$\sum_{v=1}^n h_{1v} (\xi_v - \frac{1}{2} S_v) + \sum_{v=1}^n h_{2v} [\xi_v^2 - \frac{1}{2} (S_v^2 + 2\chi_2)] \begin{matrix} H_1 \\ > \\ < \\ H_0 \end{matrix} 0 \quad (5)$$

Оптимальні коефіцієнти  $h_{iv}$  в приведених виразах знаходимо відповідно із рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь виду:

$$\sum_{j=1}^n h_{jv} F_{(i,j)v} = (m_{iv} - u_{iv}), i = \overline{1, s}, v = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Якщо деякі параметри завади априорно невідомі, то для оцінки невідомого параметра  $\lambda$  необхідно провести спостереження випадкової величини  $\xi_v$ , отримати вибірку в вигляді  $n$ -мірного вектора  $\vec{x}_n = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  і провести точкову оцінку невідомого параметру.

В роботі для оцінки параметрів завади застосовується метод моментів, згідно якого необхідно прирівняти теоретичні моменти розподілу до вибірових моментів і розв'язати рівняння, якщо оцінюється лише один параметр, наприклад:

$$M\{\xi\} = \bar{m}_\xi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_i, \quad (7)$$

чи систему рівнянь, якщо оцінюються декілька параметрів:

$$M\{\xi\} = m_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_i \quad M\{\xi^k\} = m_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_i^k \quad (8)$$

Також для опису випадкових величин разом із моментами використовується і кумулянти. Як показано в [2], кумулянти є коефіцієнтами розкладу характеристичної функції в ряд Маклорена, які в свою чергу можна виразити через моменти наступним чином:

$$\begin{aligned} \chi_1 &= m_1, \quad \chi_2 = M_2, \quad \chi_3 = M_3, \\ \chi_4 &= M_4 - 3M_2^2, \quad \chi_5 = M_5 - 10M_3M_2, \dots \end{aligned} \quad (9)$$

Оптимальні коефіцієнти  $h_{iv}$  в виразі (5) та (6) будуть залежати від кумулянтних коефіцієнтів 3-го та 4-го порядків. В свою чергу кумулянтні коефіцієнти через кумулянти можна представити наступним чином:

$$\gamma_i = \frac{\chi_i}{\chi_2^{i/2}}. \quad (10)$$

## Література

1. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
- Малахов А.Н. Кумулянтный анализ негауссовских случайных процессов и их преобразований. - М.: Сов. радио, 1978. – 376 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЯВЛЯЧА ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ ІЗ ВИПАДКОВИМИ ПАРАМЕТРАМИ, ЗА УМОВИ ДІЇ НЕГАУССІВСЬКОЇ ЗАВАДИ

**Мартиненко С.С., Димитренко Р.В., Коріновський В.В.**

Черкаський державний технологічний університет  
бул.Шевченко, 460 м.Черкаси, 18006 тел.: (0472) 511570

e-mail: [s.martynenko@chdtu.edu.ua](mailto:s.martynenko@chdtu.edu.ua)

В радіотехнічних пристроях при рішенні задачі виявлення сигналів необхідно враховувати вплив шумів і завад, які мають випадковий характер. Завади можуть бути як зовнішні так і внутрішні. Характеризувати такі завади можливо різним чином. Крім того, з врахування цих завад, можливо підвищення інформації про розрізнення корисного сигналу та завади, що дозволить більш якісно вирішити задачу виявлення [1]. Як показують дослідження останніх десятиріч, що в більшості випадків завада носить негауссівський характер і вимагає відмінний від імовірносного опис структури завади.

Одним із способів опису негауссівських випадкових процесів є моменти і кумулянти. Найбільш повно кумулянтний опис негауссівських процесів представлено в роботі А.І. Малахова [2].

В представленій роботі синтезовані алгоритми виявлення імпульсних сигналів із випадковими параметрами (амплітуда, фаза) при адитивній суміші із негауссівською завадою представлені в вигляді поліноміальних вирішувальних правил. В якості критерію оптимальності застосовано моментний критерій якості, який був розроблений професором Кунченком Юрієм Петровичем.

Проведено дослідження ефективності роботи виявлячів імпульсних сигналів з флюктуючою амплітудою при когерентному та некогерентному прийомі в адитивній суміші із негауссівською завадою. В якості апріорного опису застосовується моментний і кумулянтний опис сигналу і завади до 4-го порядку включно. У реальних системах зв'язку й радіолокації, прийняті в кожній еалізації імпульси, як правило, є випадковими. Крім цього випадковими можуть бути параметри імпульсу (амплітуда, фаза, частота). Тому будемо вважати, що перед нами стоїть завдання виявлення імпульсного сигналу з випадковою амплітудою прийнятого на тлі негауссівських завад. У цьому випадку вид досліджуваного сигналу при гіпотезі  $H_1$  має вигляд:

$$\xi_v = (A + \Delta) r_v \cos(\omega_0 v + \varphi_0) + n_v \quad (1)$$

де  $r_v$  - значення огинаючого імпульсу з одиничною амплітудою, взятий в моменти часу  $v$ ,  $A$  - амплітуда сигналу,  $\Delta$  - флуктуація амплітуди по релеєвському закону,  $\varphi_0$  - початкова фаза імпульсного сигналу,  $\omega_0$  - частота несучого сигналу. При здійсненні гіпотези  $H_0$  сигнал має вигляд:  $\xi_v = n_v$  (2) де  $n_v$  - негауссівська завада.

Першочергово розглянемо когерентний випадок, коли початкова фаза несучого коливання відома. Будемо вважати, що початкова фаза  $\varphi_0 = 0$ .

Позначимо через  $I_v = r_v \cos \omega_0 v$  не випадкову складову імпульсного сигналу. Початкові моменти випадкової величини  $\xi_v$  при гіпотезі  $H_1$  будуть рівні:

$$m_{1v} = a_1 l_v, m_{2v} = a_2 l_v^2 + \chi_2, m_{3v} = a_3 l_v^3 + 3a_1 l_v \chi_2 + \chi_3, \tag{3}$$

$$m_{4v} = a_4 l_v^4 + 6a_2 l_v^2 \chi_2 + 4a_1 l_v \chi_3 + 3\chi_2^2 + \chi_4, m_{4v} = a_4 l_v^4 + 6a_2 l_v^2 \chi_2 + 4a_1 l_v \chi_3 + 3\chi_2^2 + \chi_4.$$

Так як флуктуації амплітуди мають Релеєвський закон розподілу, відповідно значення кумулянтів для флуктуацій амплітуди до 4-го порядку матимуть наступний вигляд:

$$a_{1v} = \left( \frac{A}{\chi_2} + \frac{\delta}{\chi_2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}} \right), a_{2v} = \left( A^2 + 2A \cdot \delta \sqrt{\frac{\pi}{2}} + 2\delta^2 \right), a_{3v} = \left( A^3 + 3A^2 \delta \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}} + 3A\delta^2 + 3\delta^2 \sqrt{\frac{\pi}{2}} \right),$$

$$a_{4v} = \left( A^4 + 4A^3 \delta \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}} + 6A^2 2\delta^2 + 3A \cdot 3\delta^3 \sqrt{\frac{\pi}{2}} + 8\delta^4 \right). \tag{4}$$

Розглянемо здійснення гіпотези  $H_0$ , тобто випадок, коли у вибіркових значеннях сигналу немає. У цьому випадку зв'язок між початковими моментами та кумулянтами буде наступний:

$$u_{1v} = 0, u_{2v} = \chi_2, u_{3v} = \chi_3, u_{4v} = \chi_4 + 3\chi_2^2. \tag{5}$$

Враховуючи початкові моменти при гіпотезах  $H_1$  і  $H_0$ , визначимо кореляційні моменти  $F_{(i,j)v}(H_1)$ ,  $F_{(i,j)v}(H_0)$  та сумісні моменти  $F_{(i,j)v}$ :

$$F_{(i,j)v}(H_0) = u_{(i+j)v} - u_{iv}u_{jv}, F_{(i,j)v}(H_1) = m_{(i+j)v} - m_{iv}m_{jv}, F_{(i,j)v} = F_{(i,j)v}(H_0) + F_{(i,j)v}(H_1). \tag{6}$$

Синтезуємо оптимальне вирішальне правило при  $S=1$ , тобто лінійне вирішальне правило, яке в цьому випадку матиме вигляд:

$$\sum_{v=1}^n h_{1v} \left( \xi_v - \frac{1}{2} (m_{1v} + u_{1v}) \right) \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} 0, \tag{7}$$

а рівняння для визначення коефіцієнта  $h_{1v}$  буде дорівнювати виразу:

$$h_{1v} F_{(1,1)v} = m_{1v} - u_{1v}. \tag{8}$$

Кількість вилученої інформації про рознення гіпотезей при ступеню полінома  $S=1$  із врахуванням оптимального коефіцієнта  $h_{1v}$  прийме вигляд:

$$J_1 = \sum_{v=1}^n \frac{(A + \delta \sqrt{\frac{\pi}{2}})^2 l_v^2}{(2\delta^2 - \frac{\delta^2 \pi}{2}) l_v^2 + 2\chi_2} \tag{9}$$

З врахуванням початкових моментів та знаючи значення оптимального коефіцієнту  $h_{1v}$ , вирішувальне правило при ступеню полінома  $S=1$  матиме наступний вигляд:

$$\sum_{v=1}^n \frac{a_1 l_v}{(\alpha_{2v} - a_1^2) l_v^2 + 2\chi_2} \left[ \xi_v - \frac{1}{2} (a_{1v} + 2\chi_2) \right] \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} 0 \tag{10}$$

**Література:**

1. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
2. Малахов А.Н. Кумулянтный анализ негауссовских случайных процессов и их преобразований. - М.: Сов. радио, 1978. – 376 с.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ЗАПИТУ В КООПЕРАТИВНИХ СИСТЕМАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Обод І.І, Старокожев С.В., Свид І.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. +38(057) 7020229

e-mail: iryna.svyd@nure.ua

Значну роль в інформаційному забезпеченні системи контролю повітряного простору грають кооперативні системи спостереження [1], до яких відносяться вторинні оглядові радіолокатори [2], системи мультилатерації [3]. У кооперативних системах спостереження для визначення місто розташування повітряного об'єкта використовується літаковий відповідач спостережуваного повітряного об'єкта. Літаковий відповідач кооперативних систем спостереження побудований за принципом відкритої одноканальної системи обслуговування з відмовами [4, 5], що суттєвим чином знижує його пропускну спроможність. Наявність значної інтенсивності внутрісистемних завад у каналі запиту [6] призводить до ускладнення виявлення сигналів запиту у літаковому відповідачі.

В роботі на основі представлення що випадкові амплітуди корисних та сигналів запиту, які заважають, розподілені за законом Релея, а внутрішньо системні завади можливо апроксимувати потоком Пуассона синтезована структура оптимального виявлювача сигналів запиту в літаковому відповідачі вторинного оглядового радіолокатора. Показано, що структура оптимального виявлювача сигналів запиту містить канали оптимального виявлювача складових сигналу запиту, котрі становлять звичайні пристрої квадратурного прийому, які виділяють огинаючі функції взаємної кореляції. У кожному каналу обробки формується свій оптимальний поріг так як парціальні виправлення, що враховують дію внутрісистемних завад, подаються безпосередньо на пристрій формування оптимальних порогів виявлення.

Показано, що імовірність хибної тривоги й правильного виявлення

сигналів запиту у літаковому відповідачі можливо записати як

$$F = [Q(m_2, h_k)]^n; \quad D = 1 - [1 - Q(m_1, h_k)]^n,$$

де  $Q(x, h_k)$  – табульована  $Q$ -функція Маркума (інтегральний розподіл Релея-Райса),  $m_1$  та  $m_2$  – нормовані та усереднені параметри розподілу огинаючої функції взаємної кореляції, які при граничному випадку приймають наступний вигляд:

$$m_1 = \sqrt{2E/N_0}(1 - \lambda \tau_i); \quad m_2 = \sqrt{2E/N_0} \lambda \tau_i.$$

Деякі результати обчислення ймовірностей правильного виявлення сигналів запиту в літаковому відповідачі як функції відношення сигнал/шум, значність коду сигналу запиту та різної інтенсивності внутрісистемних завад ( $D = f(q, n, \lambda)$ ) наведені на рис.1.

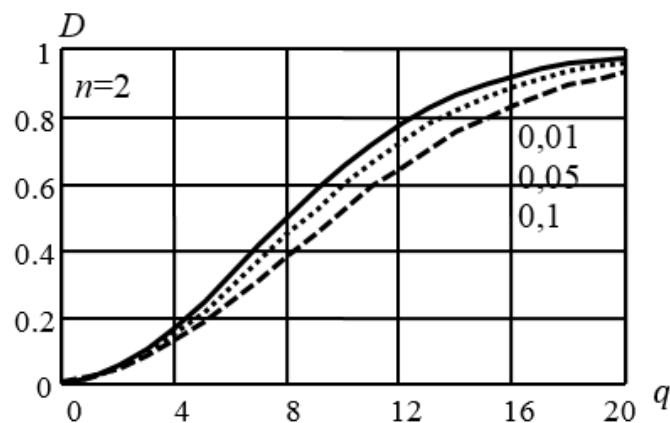


Рис. 1 – Залежність  $D = f(q, n, \lambda)$

Наведені розрахунки показують, що при збільшенні інтенсивності внутрісистемних завад імовірність правильного виявлення сигналів запиту у літакових відповідачах значно зменшується.

Таким чином, структурні схеми оптимальних виявлювачів сигналів запиту при некогерентному прийомі, що отримані з урахуванням дії внутрісистемних завад, відрізняються від структурних схем відповідних виявлювачів, отриманих без урахування дії внутрісистемних завад, наявністю пристроїв виміру інтервалів можливого перекриття корисних і заважаючих імпульсів, та блоків, що обчислюють огинаючи функції невизначеності імпульсів перекриття. Ці пристрої коректують формування оптимальних

граничних рівнів, які в цьому випадку виявляються різними для різних каналів обробки сигналів запиту. Імовірності правильного виявлення сигналів запиту зменшуються зі збільшенням щільності потоку внутрісистемних завад.

### Література

1. Обод І.І., Свид І.В., Штих І.А. Завадозахищеність запитальних систем спостереження повітряного простору: монографія. / За заг. ред. І.І. Обо́да. – Харків: ХНУРЕ, 2014. – 312 с.
2. І.І. Обод, І.В. Свид, І.В. Рубан, Г.Е. Заволодько. Математичне моделювання інформаційних систем: навч. посібник. – Харків : Друкарня Мадрид, 2019. – 270 с.
3. K. Pourvoyeur, A. Mathias and R. Heidger, "Investigation of measurement characteristics of MLAT / WAM and ADS-B," 2011 Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications - Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles, Capri, 2011, pp. 203-206.
4. I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev, O. Vorgul, G. Maistrenko and G. Zavolodko, "Optimization of Data Transfer in Cooperative Surveillance Systems," 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 2018, pp. 539-542, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632134.
5. I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, I. Shtykh, G. Maistrenko and G. Zavolodko, "Comparative Quality Analysis of the Air Objects Detection by the Secondary Surveillance Radar," 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2019, pp. 724-727, doi: 10.1109/ELNANO.2019.8783539.
6. T. Otsuyama, J. Naganawa, J. Honda and H. Miyazaki, "An analysis of signal environment on 1030/1090MHz aeronautical L-band systems," 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Phuket, 2017, pp. 1-2. DOI: 10.1109/ISANP.2017.8228911.

## ПОЄДНАННЯ ІНФОРМАЦІЇ СУМІСНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Обод І.І., Глущенко А. О., Свид І.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. +38(057) 7020229

e-mail: iryna.svyd@nure.ua

Інформаційне забезпечення користувачів системи контролю повітряного простору здійснюється радіолокаційними системами спостереження (СС) [1, 2], як правило, сумісними, котрі включають до свого складу первинний та вторинний радіолокатори. Формуляр повітряного об'єкта (ПО), який видається споживачам інформації сумісною СС включає просторові координати ПО та ідентифікації ПО за ознакою «свій-чужий» [3, 4].

Синхронна робота первинної та вторинної СС за часом та простором дозволяє розглядати її як сумісну синхронну мережу СС. Розглянемо поєднання інформації указаною синхронною мережею радіолокаційних СС. Для поєднання інформації СС, що розглядаються, у кожній радіолокаційній СС повинно бути здійснено: виявлення та вимірювання параметрів сигналів; виявлення та вимір координат ПО.

Інтегральним показником якості може бути ймовірність ІЗ, яка, для випадку, що розглядається може бути записана як

$$P_{inf} = D_{11}, D_{12}, P_{por},$$

де  $D_{1i}$  - імовірності правильного виявлення ПО кожною СС,  $P_{por}$  - імовірність порівняння координатної інформації первинної та вторинної СС.

Таким чином, при формуванні сигналу про виявлення ПО з виходу вимірювача координат ПО кожного каналу видається оцінка вектору вимірювання координат  $\hat{\alpha}$ , що характеризується кореляційною матрицею (КМ) точності  $\hat{C}^{-1}$ . У пристрої розподіленої обробки здійснюється поєднання оцінок вимірювання на основі векторів вимірювання та КМ точності вимірювання кожної з СС в результаті чого обчислюються



результуючі вектор вимірювання та КМ точності. У подальшому результуючі вектор вимірювання, та КМ точності, надаються споживачам.

Враховуючи те, що у запропонованому варіанті реалізації ІЗ здійснюється сумісне виявлення ПО двома каналами виявлення інтегральним показником якості ІЗ користувачів може бути імовірність ІЗ, котра буде мати наступний вигляд:

$$P_{inf} = D_{00} \cdot P_{por} , \quad (1)$$

де  $D_{00}$ - імовірність виявлення ПО при розподіленій обробці інформації.

Вираз (1) наведено для випадку видачі інформації про ПО який відповідає на сигнали запиту вторинної СС. У випадку коли сигналів відповіді немає то приймається рішення про «чужій» ПО і вираз (1) спрощується до імовірності виявлення ПО первиною СС.

Розрахунки імовірності ІЗ споживачів сумісною мережею СС як функції  $P_{inf} = f(k, q, P_0)$  , де  $k = q_p / q_z$ ,  $q_z$  - відношення с/ш у каналі вторинної СС,  $q_p$  - відношення с/ш у каналі первинної СС при виявленні та виміри координат ПО наведені на рис.1.

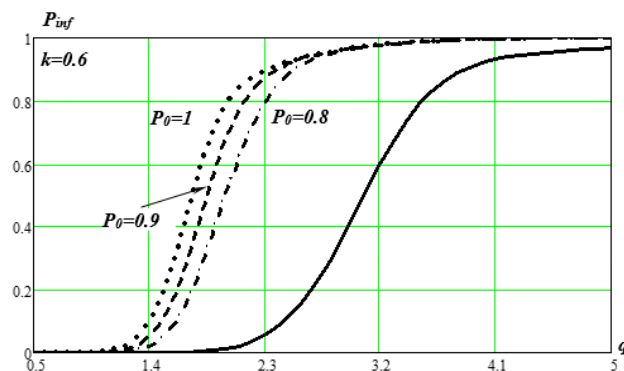


Рис.1. – Залежність  $P_{inf} = f(k, q, P_0)$

При цьому безперервна крива відповідає ІЗ, котре забезпечує існуюча структура СС, а другі криві – для варіанту ІЗ, що розглядається, для різних коефіцієнтів готовності  $P_0$  літакового відповідача та відношеннях с/ш у каналах первинної та вторинної СС. Таким чином, зміна моделі поєднання даних первинних та вторинних радіолокаційних систем при якій враховуються оцінені координати ПО вторинною системою за рахунок

вагового поєднання координат ПО, розрахованих за даними, як первинною, так и вторинною радіолокаційними системами дозволяє підвищити якість інформаційного забезпечення осіб, які приймають рішення в системі контролю використання повітряного простору.

### Література

1. Обод І.І., Свид І.В., Штих І.А. Завадозахищеність запитальних систем спостереження повітряного простору: монографія. / За заг. ред. І.І. Обода. – Харків: ХНУРЕ, 2014. – 312 с.
2. R. R. J. Carson, M. P. Meyer and D. J. Peters, "Fusion of IFF and radar data," 16th DASC. AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference. Reflections to the Future. Proceedings, Irvine, CA, USA, 1997, pp. 5.3-9. doi: 10.1109/DASC.1997.635094.
3. W. Komorniczak, J. Pietrasinski and B. Solaiman, "Data fusion approach to threat assessment for radar resources management", SPIE 4731 Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications VI, 2002. doi: 10.1117/12.458384.
4. I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, I. Shtykh, G. Maistrenko and G. Zavolodko, "Comparative Quality Analysis of the Air Objects Detection by the Secondary Surveillance Radar," 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2019, pp. 724-727, doi: 10.1109/ELNANO.2019.8783539.
5. I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev, G. Zavolodko, D. Pavlova and G. Maistrenko, "Fusion of Discrete Evaluation of the State Vector of Air Objects Based on 4D Measurement," 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 2019, pp. 593-596, doi: 10.1109/PICST47496.2019.9061562.
6. І. І. Обод, І. В. Свид, В. В. Шевцова. Оцінка якості передачі інформації запитальними каналами передачі при використанні сучасних методів модуляції. // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2012. – № 52 (958). – С. 133-137

**SIGNAL DETECTION IN ADDITIVE-MULTIPLICATIVE NON-GAUSSIAN NOISE****Palahina E., Kunchenko-Kharchenko V., Tonkopriad S.,****Push I., Smirnov D., Palahin V.**

18006, Cherkasy, Shevchenko blvd., tel. +380948811570

e-mail: palahin@ukr.net

High quality signal detection is of great importance for the development of the advanced technical systems. Additive interaction of signal and noise have been intensively studied in many applications. Indeed, such models allow us to approximate a large class of signal processing problems. However, the main characteristics of complex signal processing systems are used, for example, in radar, communications systems (e.g., fading channels, where the amplitude of the signal is modeled as a Rayleigh or Weibull random variable), wireless communications, passive and active sonar, navigation systems, deteriorate as a result of the effect of additive-multiplicative noise. The problems of signal processing in additive-multiplicative noise are of great interest for systems that deploy complex signal processing.

The traditional research and development of systems for processing additive-multiplicative non-Gaussian stochastic processes is characterized by significant computational complexity using traditional approach on the basis of probability density function (PDF). Another approach to describe the statistical properties of non-Gaussian processes is presented in form of the higher-order statistics (HOS). Such functions allow us to describe the statistical properties of non-Gaussian processes with a reasonable accuracy. The HOS techniques are used to development of the signal detection methods. However these methods have some restrictions to synthesis the methods and algorithms signal detection in additive-multiplicative non-Gaussian noise.

The purpose of the paper is to create and implement models and methods of signal detection processes in additive-multiplicative non-Gaussian noise based on moment-cumulant representation of random variables with the formation of a

moment quality criterion for testing statistical hypotheses and polynomial decision rules (DR) for the synthesis of effective signal processing methods.

Let random signals  $\xi(t)$  are observed in the time interval  $(0, T)$ . The some system makes decision about the  $H_1$  hypothesis implementation (useful  $s(t)$  signals receiving, which should be a detection) or  $H_0$  hypothesis about noise implementation, where  $\xi(t) = \{a_0 + \Delta(t)\}S(t) + \eta(t)$ ,  $S(t)$  - radiofrequency signal with the amplitude  $A$ ,  $\eta(t)$  – non-Gaussian stationary random process describing by sequences of moments and cumulants. The received signals are represented as the finite sequence of the moments  $m_i \{ \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_\mu \}, \{ 0, \chi_2, \chi_3, \dots, \chi_\mu \}, \{ a_0, \mu_2, \beta_3, \dots, \beta_\mu \}$ , where  $\{ \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_\mu \}$  – the initial moments describing the signals characteristics  $S(t)$ ,  $\{ 0, \chi_2, \chi_3, \dots, \chi_\mu \}$  – the cumulant coefficients describing the additive non-Gaussian stationary random process  $\eta(t)$  with zero mean and variance  $\chi_2$ ,  $\{ a_0, \mu_2, \beta_3, \dots, \beta_\mu \}$  – the cumulant coefficients describing the multiplicative non-Gaussian stationary random process  $\Delta(t)$  with mean  $a_0$  and variance  $\mu_2$ .

The sampling signal  $\xi(t)$  get their discrete independent values  $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  in time  $t_v$  for  $H_i$  hypothesis,  $i = 0, 1$ :

$$H_1: \xi_v = \{a_0 + \Delta_v(\beta_k)\}S_v(\alpha_k) + \eta_v(\gamma_k), \quad H_0: \xi_v = \eta_v(\gamma_k), \quad v = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, \mu}.$$

The test statistic derives from likelihood ratio function (LRF)

$$\Lambda(\mathbf{X}) = P(\mathbf{X} | H_1) / P(\mathbf{X} | H_0), \tag{1}$$

where  $P(\mathbf{X} | H_i)$  - PDF of  $\mathbf{X}$  for  $H_i$  hypothesis,  $i = 0, 1$ .

The LRF is compared with threshold which is chosen from some classical probabilistic criterions such as Bayes, Minimax, Neyman-Pearson etc. to make decision about realization  $H_i$ . Generally the solution of such problems is considered as Gaussian distribution of random variables. In other cases, the statistic (1) is very complicated for non-Gaussian PDF and can not get the analytical expression. An alternative solution is to the development another approach, where LRF can be present as the power stochastic polynomial of degree  $s$  using moment-cumulant description of random variables.

$$\Lambda(\mathbf{X})_{sn} = \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s k_{iv} x_v^i + k_0, \quad (2)$$

where the coefficients  $k_{iv}$  and  $k_0$  should be find out from moment quality criterion of error probabilities or briefly *Ku* criterion

$$Ku_{sn}[G, E] = \frac{G_{1(sn)} + G_{0(sn)}}{(E_{1(sn)} - E_{0(sn)})^2}, \quad (3)$$

where  $E_{i(sn)}$ ,  $G_{i(sn)}$  – mean and variance of decision function (2) for  $H_i$  hypothesis respectively ( $i=0,1$ ).

Is shown that unknown optimal coefficients  $k_{iv}$  DR (2) which minimize the moment quality criterion (3) are determined as

$$\sum_{j=1}^s k_{jv} [F_{(i,j)v}(H_0) + F_{(i,j)v}(H_1)] = m_{iv} - u_{iv}, \quad i = \overline{1, s}, \quad v = \overline{1, n}, \quad (4)$$

and the coefficient  $k_0$  is chosen as average value of mean functions  $E_{0(sn)}$  and  $E_{1(sn)}$  of DR (2) and looks like

$$k_0 = -\frac{1}{2}(E_{1(sn)} + E_{0(sn)}) = -\frac{1}{n} \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s k_{iv} (m_{iv} + u_{iv}), \quad (5)$$

where  $u_{iv}$ ,  $m_{iv}$  – initial moments of  $i^{\text{th}}$  order of random variable  $\xi$  for hypotheses  $H_i$  respectively,  $i=0,1$

The criterion value (3) is used to assess the efficiency of polynomial DR (2). The smaller criterion value (3) corresponds to smaller value of the sum probability of first and second kind errors of the DR (2).

Let us synthesis the DR for radiofrequency signal detection in additive-multiplicative non-Gaussian noise using HOS. According to this approach the coefficients of polynomial DR should be optimal by the moment quality criterion (3).

The adequate description of additive-multiplicative non-Gaussian processes and non-linear polynomial processing of sample values allow us to increase the signal detection efficiency as compared with the well-known results.

## **ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПОШИРЕННЯ НОВОГО ТИПУ КОРОНАВІРУСНІЕ ІНФЕКЦІЇ COVID-19**

**Попова К.І.<sup>1</sup>, Луценко В.І.<sup>1</sup>, Луценко І.В.<sup>1</sup>, Бабаков М.Ф.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Інститут радіофізики і електроніки ім. А. Я. Усикова НАНУ

<sup>2</sup> Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е Жуковського

Пандемія нового коронавірусне захворювання - COVID-19 от уже майже рік продовжує поширюватися із загрозливою швидкістю, створюючи глобальну надзвичайну ситуацію як в області охорони здоров'я, так і у всіх сферах життя і діяльності людини. Незважаючи на інтенсивні і великі наукові дослідження [1] ефективних заходів боротьби з цим важким захворюванням поки не знайдені. Це спонукає вчених у всьому світі, що спеціалізуються в різних наукових дисциплінах, до спільної роботи в цій новій, міждисциплінарної галузі науки. Цікавим є виявлення чинників, що впливають на швидкість поширення і тяжкість перебігу цього нового типу вірусної інфекції.

### **1. Використані бази даних і методика їх аналізу.**

Для аналізу впливу різні факторів на захворюваність нової коронавірусної інфекцією covid-19 використовувалися офіційні бази даних про захворювання та смертності від цієї хвороби в різних країнах [2], вони доповнювалися за допомогою інтернету даними, що характеризують конкретну країну: кількість населення, його щільність, ВВП (ППС) на душу населення, середню температуру в літній і зимовий періоди. Захворюваність і смертність оцінювалися на 100тис населення. Це дозволяло зіставляти дані по різних країнах. Оцінювався вплив на захворюваність і смертність від нової вірусної інфекції щільності населення, рівня його життя, індексу людського розвитку, а також кліматичних умов країни. Оцінювався вплив надмірної ваги, наявності хронічних захворювань (цукрового діабету, гіпертонії і судинних захворювань) на захворюваність і смертність. Крім того,

з'ясовувалося вплив душевого споживання алкоголю і використання в харчуванні спецій, а також наявність домашніх тварин (кішок).

Взаємний вплив різних чинників оцінювалося за допомогою регресійного аналізу. Для величин, що мають істотну кореляцію оцінювалися регресійні залежності від досліджуваного фактору.

## 2 Отримані результати.

Результати оцінок коефіцієнтів взаємної кореляції між різними факторами зведені в табл.1. Вони проведені за станом захворюваності і смертності по країнам світу від Covid-19 на 01.04.2021.

Оскільки матриця симетрична щодо діагоналі показані нижні її елементи.

**Таблиця 1- Вплив на захворюваність та смертність від Covid-19 різних факторів.**

	Захворіло	Смертельні випадки	Видужало	Хворіють
Захворіло	1			
Смертельні випадки	0,836	1		
Видужало	0,954	0,752	1	
Хворіють	0,482	0,504	0,197	1
ВВП/на чол., дол.	0,458	0,311	0,360	0,351
ВВП(ППС)/чол., дол.	0,534	0,374	0,449	0,363
Щільність, чол./км <sup>2</sup>	-0,040	-0,099	-0,031	-0,036
Індекс маси тіла	0,465	0,478	0,412	0,188
Середня температура,	-0,506	-0,563	-0,431	-0,336
Смерті від серцевих захворювань	-0,503	-0,433	-0,409	-0,324
Сахарний діабет	0,120	0,028	0,175	-0,039
Ожиріння	0,537	0,458	0,508	0,263
Котів	0,043	0,029	0,250	-0,071
Душеве споживання алкоголю	0,470	0,500	0,379	0,363

Їх аналіз показує, що на захворюваність та тяжкість протікання хвороби більш суттєво впливає не наявність сахарного діабету, а надмірна вага та ожиріння. Величина ВВП пов'язана з захворюваністю та смертністю. Чим вище ВВП (тобто багатша країна), тим вище ці показники, особливо захворюваність. Щільність розташування населення слабо впливає на ці характеристики. Разом з тим є їх залежність від душевого споживання алкоголю. Наявність домашніх тварин, зокрема котів практично не впливає на перебіг захворювання.

### **Висновки**

1. Для країн з більш високим рівнем доходів (ВВП) характерний більш високий рівень захворюваності (скоріш за все пов'язаний з кращим виявленням фактів захворювання). На смертність це впливає в меншій мірі. Як правило, для країн з більш теплим кліматом (більшим рівнем ультрафіолету) характерний менший рівень захворюваності та смертності. Щільність населення не дуже сильно впливає на захворюваність та смертність від COVID-2019.

2. Наявність супутніх захворювань (ожиріння, гіпертонії) сприяє підвищенню рівня смертності при захворюваннях COVID-2019.

3. Підвищене споживання алкоголю негативно впливає на рівень захворюваності і смертності, в той же час підвищення кількості споживання населенням гострих приправ, характерне для бідних країн, позитивно впливає на рівень захворюваності.

### **Список використаної літератури**

1. Пандемия COVID-19. Химия и экономика. Специальный выпуск: информационно-аналитический сборник: [Текст] / Под редакцией д.э.н. Мизинцевой М.Ф. // ВИНТИ РАН. – М., Издательство ВИНТИ РАН, 2020. – 206 с. ISBN 978-5-00171-093-6 (пр.1)
2. Коронавирус: статистика по странам / Электронный ресурс: <https://index.minfin.com.ua/reference/coronavirus/geography/>



## ВИЯВЛЕННЯ СПЛЕСКІВ В ІМПУЛЬСНІЙ ХАРАКТЕРИСТИЦІ ПРИМІЩЕННЯ ШЛЯХОМ ОБЧИСЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЕКСЦЕСУ

Продеус А.М.

Національний технічний університет України (Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського)

03056, Київ, проспект Перемоги 37, тел. (067) 2322896

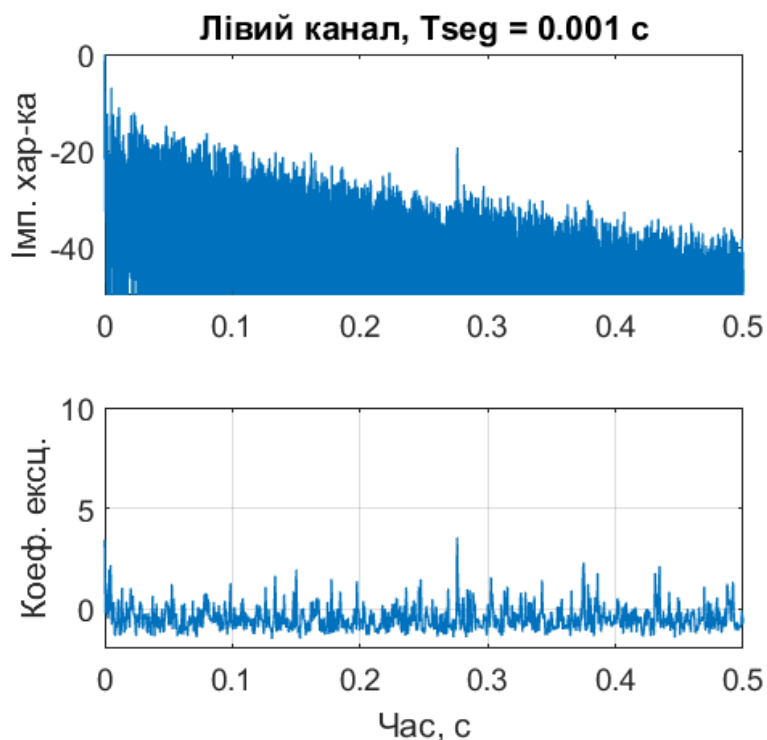
e-mail: aprodeus@gmail.com

Коефіцієнт ексцесу знаходить застосування при розв'язанні низки практично важливих задач. Зокрема, це виявлення кліпування акустичних сигналів, що передаються каналами зв'язку, а також оцінка ступеня спотворення кліпованих сигналів [1]. Іншим прикладом є знаходження границі між ранніми та пізніми відбиттями звуку в приміщенні [2]. Знання такої границі необхідно для застосування в алгоритмах коригування сигналів, спотворених реверберацією.

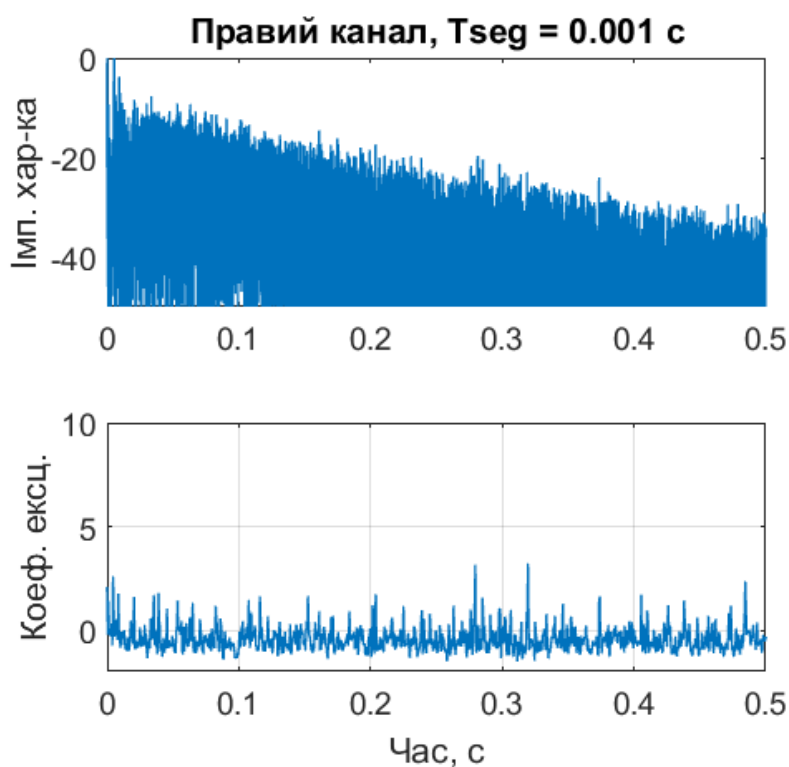
В даній роботі досліджено принципову можливість використання коефіцієнта ексцесу для виявлення дискретних сплесків в бінауральній імпульсній характеристиці (БІХ) приміщення. З цією метою в якості вихідних даних використано оцінки ІХ університетських аудиторій малого, середнього та великого розміру [3, 4].

Приклад результатів обчислення бінауральної ІХ та значень коефіцієнта ексцесу для однієї із точок приміщення малого розміру ( $177 \text{ м}^3$ ) наведено на рис. 1. У верхній частині рисунку показано графіки ІХ (в логарифмічному масштабі) для кожного із каналів, в нижній частині наведено залежності коефіцієнта ексцесу від положення сегмента, в межах якого виконувалося обчислення коефіцієнта ексцесу. Як показують дослідження, результати обчислень суттєво залежать від вибору довжини  $T_{seg}$  ковшного у часі сегменту, в межах якого обчислюється коефіцієнт ексцесу. У випадку  $T_{seg} = 0,001 \text{ с}$ , показаному на рис. 1, спостерігаються сплески значень коефіцієнта ексцесу в тих місцях, де в імпульсній характеристиці

спостерігаються аналогічні сплески, спричинені наявністю відбить звуку від таких поверхонь як стеля, стіни, вікна, столи та інші меблі.



а



б

Рис. 1 – Оцінки коефіцієнта ексцесу для лівого (а) та правого (б) каналів

Як видно із рис. 1, перевага оцінок коефіцієнта ексцесу полягає в тому,

що виявлення моментів появи сплесків в БІХ можна легко автоматизувати із застосуванням порогового методу виявлення сигналу на тлі завад.

Особливістю вказаного використання коефіцієнта ексцесу є те, що його оцінки суттєво залежать від вибору параметра  $T_{seg}$ . Наприклад, при  $T_{seg} = 0,005$  с майже всі сплески на графіку коефіцієнта ексцесу зникають, окрім таких, що є найбільш сильно вираженими на графіках БІХ. При надто малих значеннях  $T_{seg}$  з'являється багато хибних сплесків, спричинених похибкою оцінювання, яка зростає при зменшенні кількості вибірок БІХ в межах сегментів.

### Література

1. A. Prodeus and M. Didkovska, "Audio Signals Clipping Detection Using Kurtosis and Its Transforms," *International Journal of Computing*, 19(3), pp. 411-417, 2020. Print ISSN 1727-6209, On-line ISSN 2312-5381. Published: 2020-09-28.
2. R. Stewart and M. Sandler, "Statistical Measures of Early Reflections of Room Impulse Responses," *Proc. of the 10th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-07)*, Bordeaux, France, September 10-15, 2007
3. A. Prodeus, M. Didkovska, D. Motorniuk, O. Dvornyk, "The Effects of Noise, Early and Late Reflactions on Speech Intelligibility" *Proc. 2020 IEEE 40th Int. Conf. on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, pp. 488 - 492, DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088854
4. A. Prodeus, M. Didkovska, "Objective assessment of speech intelligibility in small and medium-sized classrooms," *Proc. 2020 IEEE Int. Scientific-Practical Conf. on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T`2020)*, 6-9 October, 2020, Kharkiv, Ukraine

## СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИГНАЛУ ВИМІРЮВАНОЇ ВІБРАЦІЇ НА БАЗІ MATLAB

Стахова А.П.

Національний авіаційний університет

03058, Київ, пр. Любомира Гузара 1, тел. (044) 4577158

e-mail: sap@nau.edu.ua

Існує багато методів діагностики обладнання, і одним із методів сучасної діагностики є вібраційна діагностика. Вібродіагностика в даний час набула широкого застосування [1, 2], оскільки вібраційні процеси досить повно відображають технічний стан багатьох деталей і вузлів. Методи вібродіагностики спрямовані на виявлення та ідентифікацію таких несправностей агрегату, які впливають на його вібрацію.

Найбільш поширена технологія, що передбачає визначення несправного стану за даними штатних контрольних вимірювань вібрації з наступним визначенням характеру несправності за даними вібраційних досліджень, з подальшим проведенням гармонійного аналізу вібраційних сигналів.

За допомогою середовища програмування MATLAB запропоновано проводити моніторинг і аналіз вібраційних параметрів та зберігання результатів вібродосліджень [3]. Серед MATLAB дозволяє використовувати спектральний аналіз сигналу вимірної вібрації. Такий аналіз застосовується з метою виявлення складових в частотній області. Адекватною сферою його використання є дослідження різного роду стаціонарних сигналів, що складаються з суми складових з постійним періодом. Зазначений метод базується на прямому перетворенні Фур'є [4].

Специфіка аналізу сигналу на основі перетворення Фур'є простежується при аналізі сигналів з постійним періодом (наприклад, гармонійного). Для цього дійсний сигнал:

$$x(t) = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) = a_1 \cos(\omega t) + b_1 \sin(\omega t) \quad (1)$$

з періодом  $T$  розкладають в ряд Фур'є по кратним частотам. Цей ряд може бути представлений в тригонометричній формі:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \omega_n) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_1 t) + b_n \sin(\omega_1 t), \quad (2)$$

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt, \quad (3)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cos(n\omega_1 t) dt, \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \sin(n\omega_1 t) dt,$$

де  $a_n, b_n$  - коефіцієнти.

У комплексній формі:

$$x(t) = \frac{1}{2} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^* e^{jn\omega_1 t}, \quad (4)$$

$$A_n^* = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-jn\omega_1 t} dt, \quad (5)$$

де  $A_n^*$  - комплексний коефіцієнт.

Для неперіодичного сигналу ряд Фур'є замінюється інтегралом Фур'є:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} + \int_{-\infty}^{\infty} S^*(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (6)$$

$$S^*(\omega) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \right|. \quad (7)$$

Вираз (6) називається прямим інтегральним перетворенням Фур'є, вираз (7) - зворотним перетворенням. У цих перетвореннях замість амплітуди використовується поняття спектральної складової (ю) сигналу.

В даний час широко використовуються різні дискретні алгоритми, що реалізують Фур'є-перетворення. Провівши дискретизацію  $x(t)$  і виконавши відповідні заміни ( $\omega = 2\pi n/N$ , де  $N$  - кількість відліків на досліджуваному проміжку часу  $(0; T)$ ), вирази (6) і (7) можна записати в такій формі:

$$S_n^*(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i e^{-j \frac{2\pi}{N} n_i}, \quad (8)$$

$$x_i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_n^* e^{j \frac{2\pi}{N} n_i}. \quad (9)$$

Наведена вище система рівнянь вимагає виконання  $N^2$  обчислювальних операцій. В силу того, що коефіцієнти у виразі (9) є сполученими, з'являється можливість розбиття вихідної матриці на матриці з кількістю елементів, що не перевищує  $\log_2 N$ , кожна з яких містить 2 ненульових числа. Подібне перетворення носить назву «швидке перетворення Фур'є». Подібний математичний апарат дозволяє проводити більш глибокі дослідження вібрації обладнання, проводити локалізацію сигналу в частотній області, що дозволяє уявити сигнал у вигляді окремих адитивних складових. Дані складових мають характерні особливості для кожного окремого дефекту, що дозволяє не тільки інтегрально оцінити технічний стан обладнання, а й з певним ступенем достовірності ідентифікувати вид дефекту.

### Література

1. Петрухин, В.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации / В.В. Петрухин, С.В. Петрухин. - М.: Инфра-Инженерия, 2010. - 168 с.
2. Барков, А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова. - СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2004. - 152 с.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. - М.: ДМК Пресс, 2008. - 288 с.
4. Гольдин, А.С. Вибрация роторных машин / А.С. Гольдин. - М.: Машиностроение, 1999. - 344 с.

# Апаратні та програмні засоби опрацювання сигналів та даних

## КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕДИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Гаген В.А.

Черкаський державний технологічний університет  
18006, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. +380948811570  
e-mail: valentine.hagen@gmail.com

Сфера охорони здоров'я являється однією з найбільш значимих сфер нашого суспільства. Враховуючи цей факт, а також те, що з 2017 року Україна перейшла на медичну інформаційну систему (МІС) eHealth [1], в представників сфери охорони здоров'я виникла необхідність враховувати ефективність МІС. Однак міжнародні стандарти в сфері цифрових медичних записів (HL7, ISO 13606, ISO 18308 і т.д.) несуть здебільшого технічний характер і описують необхідний функціонал систем з дотриманням чинного законодавства в сфері охорони здоров'я, безпеки персональної інформації та новітніх розробок. На даний момент лише в Україні існує 42 системи, що включені до eHealth. Незважаючи на кількість МІС, переважна більшість систем не мають можливості давати доступ до медичної інформації надавачам медичної допомоги, що користуються альтернативними системами. Це призводить до того, що МІС являється ефективною лише в межах території свого покриття. Для того, щоб постачальники медичних послуг могли обрати оптимальну систему, яка б дала їм доступ до всіх переваг МІС, необхідно встановити критерії ефективності, яким дана система має відповідати.

Для визначення критеріїв ефективності інформаційної системи пропонується побудувати модель даної системи. Теоретико-множинна модель інформаційної системи підвищення якості надання медичних послуг може бути представлена наступним чином:

$$\langle R, \varphi(t), \omega(t), \beta \rangle,$$

де  $R$  – дискретний простір існування МІС, функція  $\varphi(t)$  характеризує процес роботи з медичними записами, динамічність пацієнтів представлена



функцією  $\omega(t)$ , функція  $\beta$  відображає вірогідність виникнення можливих медичних помилок. Дискретний простір  $R$  включає в себе МІС, стандарти і форми медичних записів. Враховуючи те, що при роботі з медичними записами можливе виникнення помилок, до моделі додано функцію  $\beta$ :

$$\beta = \sum_{i=1}^n P_i(E),$$

де  $E$  – тип медичної помилки, а  $P(E)$  – ймовірність даної помилки. Тому, для досягнення максимальної ефективності загальної моделі необхідне виконання наступної вимоги:  $\beta \rightarrow \min$ . Отже, модель інформаційної системи підвищення якості надання медичних послуг охоплює такі функції, як робота з медичними записами, динамічність пацієнтів та медичні помилки.

Однією з основних вимог до цифрових медичних записів (ЦМЗ) є можливість доступу до медичної інформації з будь-якої точки в будь-який час. Для задоволення даної вимоги слід врахувати той факт, що МІС існують в дискретному просторі – можуть відповідати різним стандартам залежно від країни, може відрізнятись форма представлення медичної інформації, повнота медичної інформації, призначення системи. Однією з цілей МІС являється зменшення складності комунікації між лікарями. Однак, на практиці дана вимога задовольняється лише частково.

Звернувшись до 3 з 42 МІС внесених до списку eHealth [2][3] – *Helsi*, *Medstar* та *Medkit* можна прийти до наступних висновків: після реєстрації в системі *Helsi* необхідно вказати номер декларації з сімейним лікарем, але система відхиляє декларації, підписані лікарями, що користуються іншими системами. Система *Medkit* пропонує пацієнту самостійно завантажити медичну картку. Система *Helsi* пропонує підтвердити персональні дані в реєстратурі лікарні для доступу до інформації. Різноманіття МІС, яких лише в Україні налічується 42 системи і підключені до eHealth, характеризуються проблемами їх спільної інтеграції. Простір  $R$  можна описати як суму МІС, що не перетинаються:

$$R = \sum_{i=1}^n MIS_i,$$

де MIS – медична інформаційна система. Для точності необхідно враховувати ще один дискретний простір  $T$ , який являє собою суму всіх пацієнтів. Для зручності, простір  $T$  розіб'ємо на наступні множини:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i,$$

де множини  $[T_1, T_2, \dots, T_i]$  – локальний дискретний простір, що являється частиною глобального дискретного простору  $T$ . Для зручності параметр « $i$ » можна представити у вигляді кодів країн світу [4]. Наприклад,  $T_{804}$  – відповідає множині пацієнтів в Україні. Множина  $T$  є дискретною, оскільки пацієнти не повторюються (за винятком біпатридів). Для співставлення з  $T$  пропонується ввести параметр  $U$ , який буде відображати суму всіх пацієнтів МІС:

$$U = \sum_{j=1}^n U_j,$$

де параметр  $j$  представляє собою медичні інформаційні системи,  $U_j$  – пацієнти, медичні картки яких обслуговуються системою  $MIS_i$ .

Для визначення коефіцієнта ефективності МІС в певному регіоні необхідно підрахувати відсоток покриття регіону. Це можна зробити, провівши порівняння  $T_i$  з медичними системами  $i$ -го регіону  $U_i$ . Оскільки MIS – представляє собою кількість користувачів МІС, а  $T$  – загальну кількість користувачів в регіоні, порівняння матиме сенс, так як річ йде про дві величини з ідентичною формою виміру:

$$J_i = \frac{U_i}{T_i},$$

де  $J_i$  – коефіцієнт ефективності покриття  $i$ -го регіону. Порівнюючи параметри  $T_i$  і  $U_i$ , поставимо наступну логічну вимогу:

$$U_i \leq T_i,$$

оскільки кількість користувачів МІС фізично не може бути більшою за загальну кількість користувачів в регіоні. Окремо варто врахувати варіант повного покриття регіону -  $U_i = T_i$ ,

де даний вираз представляє собою повне покриття дискретного простору пацієнтів  $T_i$ . Але даний вираз задовольняє поняттю повного покриття лише частково. Тому умова повного покриття може бути описана наступним

чином: повне покриття МІС множини пацієнтів  $T_i$  можливе тоді і тільки тоді, коли кожен пацієнт, що входить до складу  $T_i$ , може безперешкодно отримати доступ до своєї медичної інформації в будь-якій з систем, що входять до складу  $U_i$ .

Таким чином, однією з ключових переваг медичних інформаційних систем є можливість доступу до медичної інформації в будь-якому місці в будь-який час. При перевірці даної вимоги було встановлено, що вона виконується лише частково і не враховує динамічності пацієнтів. Тому була запропонована модель визначення ефективності медичних систем на основі коефіцієнтів покриття. Запропоновано коефіцієнти повного і часткового покриття. Визначено умову повного покриття для медичної інформаційної системи. Максимізація коефіцієнту повного покриття напряму впливає на ефективність медичних систем, оскільки спрощує комунікацію між лікарями за рахунок того, що лікар може отримати доступ до інформації про пацієнта навіть в тому випадку, якщо лікар та пацієнт користуються різними системами.

### Список літератури

1. «Підключені до eHealth Медичні Інформаційні Системи», eHealth. Режим доступу: <https://ehealth.gov.ua/pidklyucheni-do-ehealth-mis/> (дата звернення 27.02.2021).
2. «До нас вже приєдналися», eHealth. Режим доступу: <https://ehealth.gov.ua/> (дата звернення 15.04.2021).
3. «Населення України», Державна служба статистики України. Режим доступу: [http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/news/op\\_popul.asp](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/news/op_popul.asp) (дата звернення 15.04.2021).
4. «Про затвердження класифікації країн світу», Державна служба статистики України. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0426832-13#Text> (дата звернення 29.11.2019).

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФИЛЬТРАЦИИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Гуломов Ш.Р., Сагатова Ф.М.

Ташкентский университет информационных технологий  
100200, Ташкент, ул. Амира Темура, 108, тел. 998 71 238 64 15

E – mail: informtgu@mail.ru

Ташкентский государственный технический университет  
100097, город Ташкент, улица Университетская №2, тел. 998 71 246 46 00

E – mail: fatimasmlp@gmail.com

В настоящее время разработано множество методов фильтрации трафика, предназначенное для использования в различных компьютерных сетях. [1, 2]

*Метод имитационного моделирования фильтрации сетевого трафика.* Предлагается провести оценку эффективности использования межсетевых трафиков (МЭ), в зависимости от конфигурации его параметров, с помощью имитационной модели. На основе структуры соединения компьютерной сети была разработана структурно-функциональная схема имитационной модели, приведенная на рис.1.

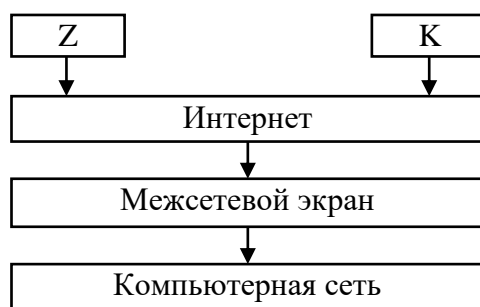


Рис.1. Структурно-функциональная схема имитационной модели

Модуль *K* – модель клиента реализована при помощи генератора случайных чисел, который генерирует за единицу модельного времени два случайных числа:

- идентификатор запрашиваемого Интернет сервиса организации;
- длина запроса.

Значение идентификатора запрашиваемого сервиса клиентом в модели определяется следующим выражением

$$K_s = \begin{cases} 21, t \bmod 2 = 0 \\ 80, t \bmod 2 > 0 \end{cases} \quad (1)$$

где  $t$  – модельное время, значения 21 и 80 соответствуют наиболее популярным сервисам предоставляемым организациями в сети Интернет, это FTP и HTTP сервисы. Длина запроса распределена по логнормальному закону с параметрами  $K1_a, K1_b$ . Эти случайные числа имитируют фрагмент сетевого пакета построенного по протоколу IP. Эти числа генерируются с интервалом, распределенным по логнормальному закону с параметрами  $K_a, K_b$ .

*Метод организации таблицы фильтрации «без хранения адресов».* Предлагается метод организации таблицы фильтрации «без хранения адресов», то есть в ней не хранятся ключи поиска. На рис.2 приведена структурная схема межсетевого моста.

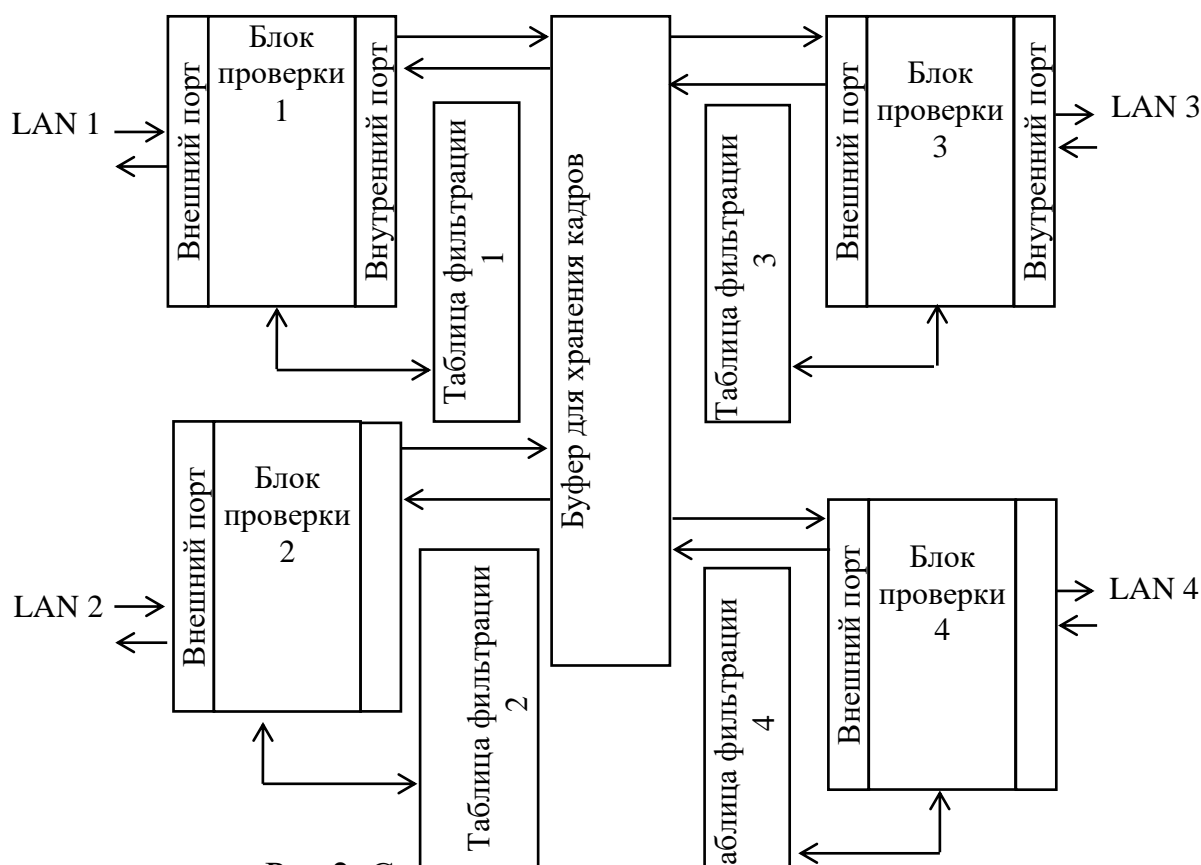


Рис.2. Структурная схема межсетевого моста

Это позволяет гарантировать поиск и добавление записей в таблицу за одно обращение. При такой организации таблицы фильтрации предлагается использовать адаптивное хеширование, при котором достигаются малые

вероятности переполнения таблицы при большом количестве узлов в сетях, подключенных к портам моста или коммутатора.

*Верификация правил фильтрации с временными характеристиками методом «проверки на модели».* Верификация правил фильтрации МЭ - актуальная проблема для многих систем управления корпоративной компьютерной сетью на основе политик безопасности. С ростом размеров сети, а значит, и количества разделяемых ресурсов и пользователей, правила фильтрации множатся и плохо поддаются неавтоматизированному анализу. Применение метода «проверки на модели» для верификации правил фильтрации, позволяет снизить риски нарушения таких свойств безопасности, как доступность и конфиденциальность.

Согласно полученным данным время поиска аномалий в зависимости от числа правил растет экспоненциально и выявлена линейная зависимость времени поиска от количества аномалий в правилах. Проведенные эксперименты показали, что предлагаемый метод позволяет выявлять все аномалии правил фильтрации МЭ, но может эффективно использоваться до определенного количества правил.

На основе анализа и исследованию методов фильтрации сетевого трафика с точки зрения безопасности выявлено, что методы фильтрации сетевого трафика определяют эффективность средств и функционирования межсетевых экранов при создании и построении защищенных компьютерных сетей и среди них самым перспективным является метод верификация правил фильтрации, что позволяет выявлять аномалии в правилах фильтрации компьютерных сетей.

### **Литература**

1. M. Christiansen, E. Fleury. Using IDD's for Packet Filtering. BRICS Report Series, RS-02-43, October 2010
2. М.М. Каримов, Ш.Р. Гуломов, М.М. Сагатов. Математическая модель специальной фильтрации трафика. Кимёвий технология назорат ва бошқарув. Халқаро илмий техникавий журнал №3/2017. Тошкент, 74-81 бетлар.

**SMART LOCK З ВИКОРИСТАННЯМ RFID І ESP32****Зорін О.С., Бінецький О.С., Палагін В.В.**

Черкаський державний технологічний університет  
18000, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. (098) 9135522

e-mail: snjzrin@gmail.com

Відомо, що Covid-19 сильно вплинув на життя та безпеку людей. Стають досить небезпечним зайві контакти, в тому числі тактильні, які можуть спричинити зараження інфекцією. До таких контактів відноситься торкання дверних ручок, розблокування систем безпеки за допомогою відбитків пальців, введення секретного коду і т.п. Таким чином постає актуальною задача заміни контактних систем безпеки різної складності і конфігурацій на безконтактні. В роботі пропонується ефективне рішення, яке характеризується адаптивністю і конкурентною собівартістю у порівнянні з аналогами на основі Radio-frequency identification (RFID) технології. RFID технологія надає можливість автоматичної ідентифікації об'єктів, в яких за допомогою радіосигналів зчитуються або записуються дані, що зберігаються в так званих транспондерах або RFID-мітках.

Схема електрична принципова даного пристрою наведена на рис.1 і складається з WiFi модуля ESP32, зчитувача RFID - RC522, OLED-дисплея та інших компонент.

Даний пристрій працює не тільки як система доступу, але й ідентифікує з фіксацією даних особу, яка використовує дану систему. Є можливість відкриття дверей не тільки за допомогою RFID-карти, але при введенні секретного пін-коду з клавіатури. Після спрацювання системи відбувається зберігання даних про відвідувачів в Google листі за допомогою технології IFTTT (If This Then That). IFTTT - це послуга, яка дозволяє користувачеві запрограмувати відповідь на події різних видів. Існує довгий перелік видів подій, на які IFTTT може відповісти, і всі вони можуть бути виявлені через мережу Інтернет з використанням загальнодоступних API.

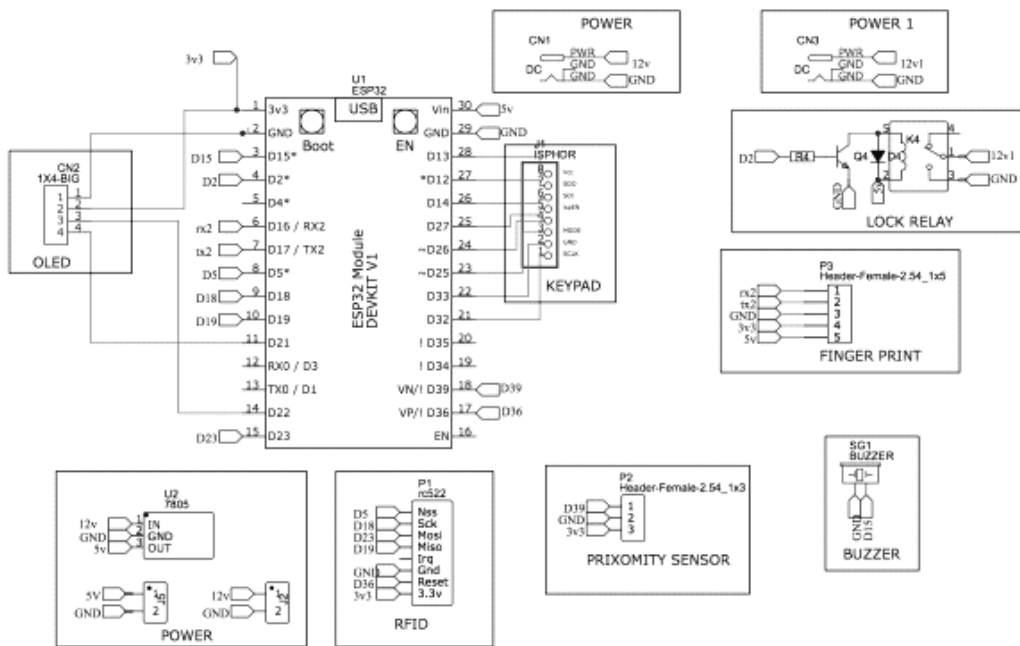


Рис. 1 – Схема електрична принципова розумної безконтактної системи безпеки (smart lock) з використанням RFID і ESP32.

Система безпеки має два режими (рис.2). Один з них - режим RFID, який робить його безконтактним. У цьому режимі користувач повинен сканувати RFID-позначку через сканер. Сканер виявляє карту або мітку, перевіряє код і зазначає ім'я унікального користувача в таблицях Google. Другий режим - це режим «кнопки» при використанні клавіатури, в якому є можливість ввести секретний пін-код [1-3].



Рис. 2 – Зовнішній вигляд системи smart lock з використанням RFID і ESP32.

### Література

1. <https://github.com/techiesms/RFID-based-smart-door-lock>
2. <https://techiesms.com/iot-projects/smart-door-lock-using-rfid-esp32/>
3. <https://tehznatok.com/kak-podklyuchit/umnyiy-dom-na-arduino.html>



## ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ШИФРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

**М.М. Каримов, М.М. Сагатов**

Ташкентский государственный технический университет

100097, город Ташкент, улица Университетская №2, тел. 99871 246 46 00

e-mail: informtgu@mail.ru

Уменьшение затрат времени на криптографические преобразования при реализации блочных шифров является оптимальной задачей защиты информации, поскольку использование таких преобразований не должно снижать производительность компьютерных систем и сетей. Для решения данной задачи предложены множество специальных способов шифрования [1], основанные на применении перестановок, подстановок, логических преобразований и арифметических операций. Комбинирование перестановок, подстановок и логических преобразований позволяет значительно расширить класс возможных недорогих микроэлектронных шифрирующих устройств обеспечивающих скорость шифрации до 1 Гб бит/сек. Эти способы шифрования ориентированы на использование в составе комбинированных криптографических систем с целью повышения криптостойкости их при минимальных временных затратах.

В данной статье предлагается специальный способ шифрования и структура специализированного вычислительного устройства для его реализации.

Данный способ шифрования основывается на математических операциях над матрицами, т.е. на операциях умножения вектора на матрицу ( $\bar{D} \cdot M = \bar{B}$  при шифрации и  $\bar{B} \cdot M^{-1} = \bar{D}$  при дешифровании) [2].

Рассмотрим алгоритм шифрования данных согласно выражению  $\bar{D} \cdot M = \bar{B}$ .

Пусть, заданы четырехмерный вектор  $\bar{D}$ , и четырехмерная квадратная матрица  $M_{ij}$ . Требуется определить четырехмерный вектор  $\bar{B}$ .

Выражения  $\bar{D} \cdot M = \bar{B}$  можно представить в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix},$$

где:  $b_1 = d_1 m_{11} + d_2 m_{12} + d_3 m_{13} + d_4 m_{14}$ ;  $b_2 = d_1 m_{21} + d_2 m_{22} + d_3 m_{23} + d_4 m_{24}$ ;

$$b_3 = d_1 m_{31} + d_2 m_{32} + d_3 m_{33} + d_4 m_{34}; \quad b_4 = d_1 m_{41} + d_2 m_{42} + d_3 m_{43} + d_4 m_{44}.$$

Для реализации обратного процесса, т.е. для дешифрования или восстановления  $\bar{D}$  необходимо определить обратную матрицу  $M^{-1}$ .

Определение исходного вектора  $\bar{D}$  реализуется согласно с выражением:

$$\bar{B} \cdot M^{-1} = \bar{D},$$

или

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{m}_{11} & \bar{m}_{12} & \bar{m}_{13} & \bar{m}_{14} \\ \bar{m}_{21} & \bar{m}_{22} & \bar{m}_{23} & \bar{m}_{24} \\ \bar{m}_{31} & \bar{m}_{32} & \bar{m}_{33} & \bar{m}_{34} \\ \bar{m}_{41} & \bar{m}_{42} & \bar{m}_{43} & \bar{m}_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix}.$$

Здесь  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  и  $d_4$  соответственно равны:

$$d_1 = b_1 \bar{m}_{11} + b_2 \bar{m}_{12} + b_3 \bar{m}_{13} + b_4 \bar{m}_{14}; \quad d_2 = b_1 \bar{m}_{21} + b_2 \bar{m}_{22} + b_3 \bar{m}_{23} + b_4 \bar{m}_{24};$$

$$d_3 = b_1 \bar{m}_{31} + b_2 \bar{m}_{32} + b_3 \bar{m}_{33} + b_4 \bar{m}_{34}; \quad d_4 = b_1 \bar{m}_{41} + b_2 \bar{m}_{42} + b_3 \bar{m}_{43} + b_4 \bar{m}_{44}.$$

Единственным условием выполнения обратности процесса является неравенство нулю элементов матриц  $M (m_e \neq 0)$ .

Для шифрования исходный текст разбивается на векторы ( $\bar{B}$ ) длиной один байт и каждый вектор перемножается на квадратную матрицу ( $\|M\|$ ).

Каждый вектор шифруется независимо от других, поэтому можно

осуществить передачу блоку даних и произвольный доступ к запрограммированным данным.

Достоинством данного способа является его гибкость при реализации и использовании в различных приложениях обработки информации.

Предложенный способ может быть реализован аппаратно и программно, но предпочтение отдается аппаратной, т.к. высокая оперативность выполнения шифрования обеспечивается при аппаратной реализации.

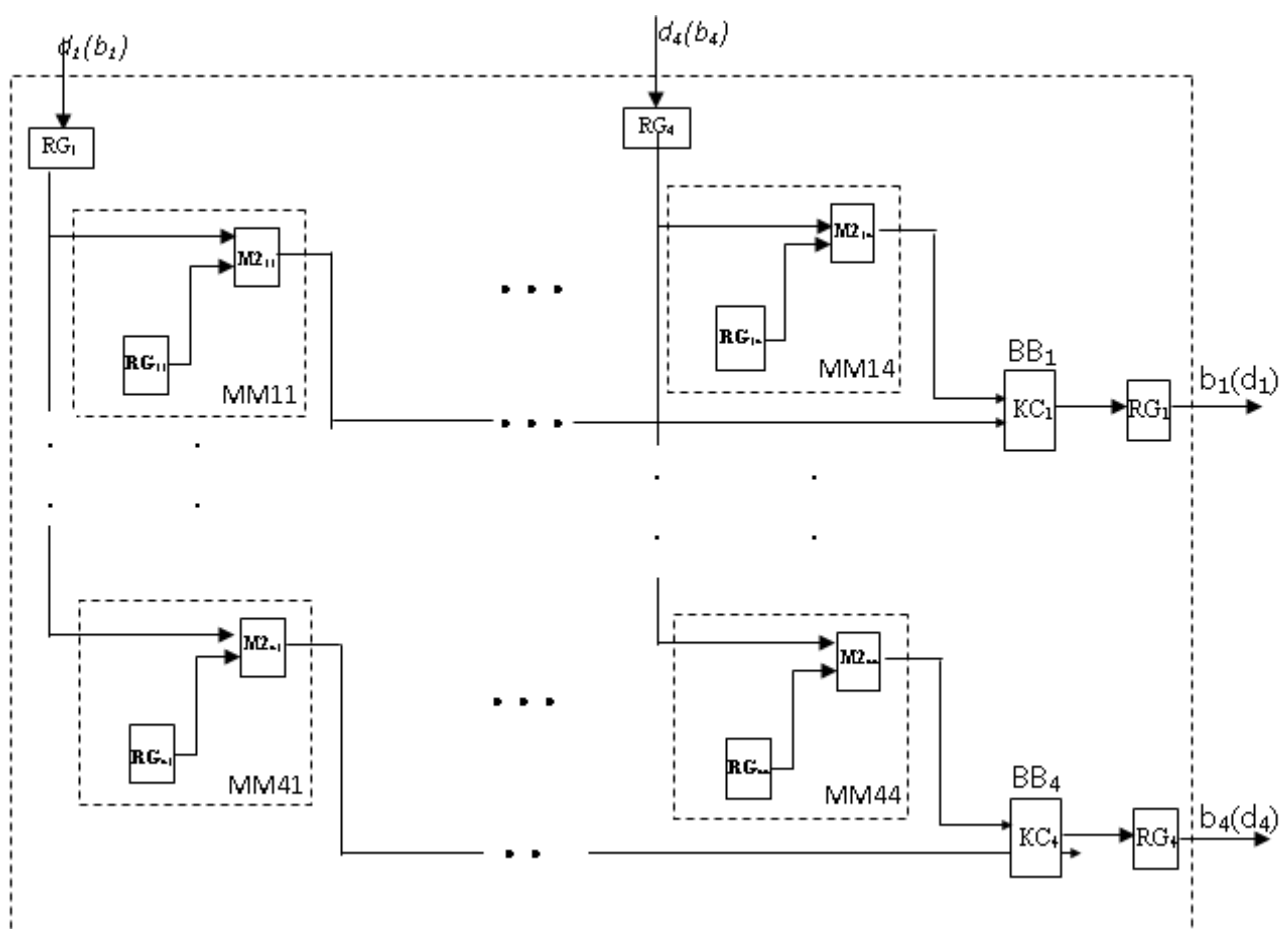


Рис 1. Структурная схема устройства криптоции с использованием операций над матрицами.

Рассмотрим вкратце структурную схему устройства шифрования данных с использованием операций над матрицами (Рис.1). Устройство выполняет операцию перемножения матрицы  $M$  (обратной матрицы  $M^{-1}$ ) на вектор  $\bar{D}$  ( $\bar{B}$ ) и состоит из четырех 8-разрядных  $RG_1, \dots, RG_4$ , четырех вектор-вычислителей  $BB_1, \dots, BB_4$ . Каждый вектор-вычислитель состоит из

четырёхвходового комбинационного сумматора  $КС_i$ , второго 8-разрядного регистра и множительных модулей  $ММ_{i1}, \dots, ММ_{i4}$ . Каждый множительный модуль  $ММ_{ij}(j=1, \dots, 4)$  состоит из третьего 8-разрядного регистра  $RG_{ij}$  и множителя  $М_{ij}$ .

Как шифрование, так и дешифрование данных в устройстве осуществляется в 4 этапа.

Для дешифрования данных в буферные регистры  $RG_j$  вводятся значение вектора  $\bar{B}$ , а в регистры  $RG_{ij}$  соответствующие элементы обратной матрицы  $M^{-1}$ .

Первый этап. Значение вектора  $\bar{D}$  ( $\bar{B}$ ) вводится через буферные регистры  $RG_j$ , а значения матрицы  $M$  через регистры памяти  $RG_{ij}$ .

Второй этап. Выполняются операции умножения значения векторов с элементами матрицы в множительных модулях  $ММ_{ij}$ .

Третий этап. Полученные результаты (т.е. произведения) в модулях умножения  $ММ_{ij}$  суммируются в соответствующих комбинационных сумматорах  $КС_j$ .

Четвертый этап. Вычисленные значения (т.е. значение вектора  $\bar{B}$  ( $\bar{D}$ )) на выходах сумматоров  $КС_j$  передаются на сдвигающий регистр  $RG$ .

Предложенные в работе специальный способ и аппаратное средство шифрования информации в компьютерных сетях, позволяют организовать системы защиты информации, отличающиеся высоким быстродействием и простой реализацией.

## Литература

1. Внуков А.А. Основы информационной безопасности: защита информации. – 2 – изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2019. – 240 с.
- Каримов М.М. Применение аппаратных средств защиты информации в компьютерных сетях / Сбор. научн. трудов ИПМЭ НАН Украины. Киев, 2001, вып.9. – С. 8 – 14.

## ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ LTE

**Кирилюк С.О., Антонюк Г.Л., Полуденко О.С.**

Вінницький національний технічний університет

21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, тел. (0432) 56 08 48

e-mail: kso1996.08@mail.com

Мобільні мережі четвертого покоління, що засновані на використанні технології множинного доступ із ортогональною модуляцією OFDMA і методу просторового кодування сигналу MIMO, дають можливість істотно збільшити передачу трафіку від абонентів.

Відмінними рисами цих мереж є: гнучкість архітектури, можливість динамічного зміни топології мережі при підключенні, пересуванні і відключенні мобільних абонентів, висока швидкість передачі інформації, високий ступінь захисту від несанкціонованого доступу, а також відмова від дорогої і не завжди можливої прокладки або оренди волоконно-оптичного або мідного кабелю. У мережах стандарту LTE керуючі функції перейшли до базових станцій, які крім обслуговування мережі стали приймати рішення про маршрутизацію абонентського трафіку. При цьому однією з головних проблем є проблема керування трафіком на радіоінтерфейсі з метою забезпечення заданих норм якості (QoS) по кожній наданій послугі більшості абонентів, зокрема, для тих, хто перебуває в роумінгу [1].

Зростання обсягу мультимедійних мобільних додатків призводить до того, що необхідну якість обслуговування може бути забезпечено тільки при використанні ефективних методів підвищення пропускнуої здатності радіоінтерфейсу, оскільки саме при бездротовому доступі виникають різкі перекося навантаження через стохастичне переміщення абонентів [2]. Постійне здешевлення послуг на мобільний зв'язок, поява нових типів абонентських терміналів, розвиток сервісів для адресної передачі потокового відео зумовлює зростання трафіку реального часу, швидкість якого повинна бути постійною. При цьому, прогнозується різке збільшення найближчим

часом також трафіку від міжмашинної взаємодії (M2M), який, як правило, характеризується еластичними властивостями і дозволяє змінювати швидкість передачі даних в деяких межах, в залежності від умов на мережі, тобто збільшення еластичного трафіку [3].

Метою даного дослідження є розробка та дослідження методу, що реалізує алгоритми підвищення пропускної спроможності радіоінтерфейсу мережі стандарту LTE, заснованого на мінімізації витрат ресурсів при аналізі різних моделей надання послуг, за рахунок керування швидкостями передачі даних еластичного трафіку.

Основні завдання дослідження: дослідити модель обслуговування різнорідного трафіку в стільнику мережі четвертого покоління; з використанням моделі визначити характеристики якості обслуговування заявок і побудувати ефективні алгоритми їх оцінки; на підставі отриманих результатів сформулювати рекомендації з управління різнорідним трафіком в реальному масштабі часу.

Ускладнення характеру трафіку, зокрема зниження Телефонного навантаження в порівнянні з обсягом мультимедійних повідомлень при організації різних видів мобільного доступу призводить до того, що необхідну якість обслуговування можливо забезпечити тільки при використанні ефективних методів підвищення пропускної здатності, так як саме при бездротовому доступі можуть виникати різкі перекося навантаження через стохастичне переміщення абонентів по зонам мобільної мережі. При цьому мережа LTE накладає деякі обмеження на продуктивність [3]. Зокрема, при збільшенні швидкості підключення знижується радіус дії станції eNodeB - в середньому для LTE він становить близько 5 км (це залежить від робочого частотного діапазону: 800 МГц або 2600 МГц). При цьому кількість цих станцій в мережі стає більшою, і вони починають розташовуватися все ближче і ближче одна до одної. Зауважимо, що при цьому визначення місця розташування абонента за сигналами станцій eNodeB (триангуляція) працює точніше. З одного боку – оператор більш точно знає місцезнаходження

абонента, але з іншого боку, сервіси геопозиціонування (Location-BasedService, LBS) можна використовувати і для стеження за абонентом, що створює небезпеку нових загроз.

Одним із зовнішніх факторів, що впливають на продуктивність мережі, є загрози інформаційної безпеки. Сучасні акценти загроз технології LTE змістилися і тепер всі вони пов'язані з протоколом IP. Якщо в 3G голосовий трафік і дані передавалися по двом різним мережам - по мережі з комутацією каналів [1] і по мережі передачі даних, то в мережах 4G весь трафік проходить через єдину архітектуру EPC по протоколу IP.

### Література

1. Аналіз методів підвищення заводо захищеності дуплексних систем радіозв'язку і телекомунікацій – О. В. Стальченко, М.В. Васильківський, С. О. Кирилюк, А. О. Меглей - Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2019), Україна, Вінниця, ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу:<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzip/all-frtzip-2019/paper/view/7194/5930>
2. Мережа зв'язку 5G на основі MEC та D2D технологій - С.О. Кирилюк, М.В. Васильківський, Д.О. Жупанов - Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2019), Україна, Вінниця, ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzip/all-frtzip-2019/paper/view/7194/5875>
3. Перспективи впровадження мобільної 5G мережі - М.В. Васильківський, С.О. Кирилюк, О.С. Клімов - Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2017), Україна, Вінниця, ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzip/all-frtzip-2017/paper/view/2995/2356>

**КЕРУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМ ЗАХИСТОМ В  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ****Кирилюк С.О., Антонюк А.Л, Полуденко О.С.**

Вінницький національний технічний університет

21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, тел. (0432) 56 08 48

e-mail: kso1996.08@mail.com

Функції захисту інформації в мережах LTE стандартизовані і здійснюються на декількох рівнях [1]. Є захист на рівні доступу користувача до мережі, на рівні додатків, а також на рівні конфігурацій [2]. При цьому кожен рівень на відміну від мережі Інтернет здійснює аутентифікацію і авторизацію всіх пристроїв. Відомо, що кожен пристрій в IP-мережі має свою адресу, а також і унікальний ідентифікатор MAC, але їх досить легко змінити і підробити. Технологія LTE використовує для всіх пристроїв, підключених до мережі, не тільки IP-адреси, а й системи поширення передачі ключів шифрування. Все це дозволяє організувати в мобільній мережі безпечний обмін ключами і встановлення шифрованого каналу зв'язку між елементами мережі [3].

У мережах LTE зберігаються так само методи аутентифікації по прив'язці користувачів до карти USIM [2]. Як і в традиційному мобільному зв'язку користувач може заблокувати доступ до телефону по PIN-коду. У мережах LTE успадковані від мереж GSM і UMTS алгоритми протоколів аутентифікації, але до них додані довші ключі і розширена ієрархія інфраструктури відкритих ключів - PKI. Також передбачені нові можливості в сценаріях для між машинної взаємодія M2M і одноразової аутентифікації SSO. Передбачено, крім того, захист від несанкціонованих з'єднань поверх мультимедійної платформи IP-мережі - IMS [3].

Однак, багато проблем, що виникають при перевантаженні мережі LTE, зокрема: втрата доступності і втрата цілісності інформації, ще не вирішені. У даному дослідженні розглядається спосіб підвищення пропускну



спроможності мобільної мережі стандарту LTE, а саме - динамічне керування потоками інформації користувачів. Для конкретизації завдання, проведемо аналіз способів динамічного керування потоками в мережах LTE.

Динамічне керування потоками передбачає перенаправлення вхідного та вихідного навантаження на вузлах мобільної мережі [2] (таких як MME, S-GW, PGW, PCRF, HSS / DNS / GW см. П.1.1), а також адаптивну диспетчеризацію його маршрутів. Динамічне керування потоками на мережі LTE формують алгоритми керування самооптимізації мережі SON.

У вдосконаленій архітектурі SAE введені дві принципово нові функції: перша-автоматична самооптимізація керування мережею SON, що зумовлена наявністю складних мережевих мультитехнологій, які передбачають інтеграцію 2G, 3G, 4G і WiMAX і друге-використання в мережі більш дрібних нових ієрархій, таких як піко- і фемто- стільники. Функції SON стандартизовані в рамках 3GPP [3], вони є природним розвитком алгоритмів адаптивного керування, які вже використовуються в системах IMT-2000 [1] (наприклад, динамічне керування потужністю випромінювання, планування ресурсів радіомережі RRC і т.п.) і дозволяють розширювати область автоматизації процесів керування мережі в цілому. Однак, вбудовування даної функції так і не було вироблено жодним оператором мережі через помилки по пріоритету трафіку, що виникають при частковому розгортанні даної функції на мережі [2].

Інтенсивне зростання трафіку через міжмашинну взаємодію трафіку [3], ставить перед операторами завдання оптимізації доступу до ресурсів мережі. Компанія Еріксон представила прогноз динаміки підключення абонентів до мереж фіксованого і мобільного широкопasmового доступу до 2022р., Який показує збільшення трафіку від міжмашинної взаємодії в два рази за найближчі два роки [2].

Технологія LTE в силу особливостей побудови радіоінтерфейсу є найбільш придатною для застосування алгоритмів динамічного керування пропускною спроможністю мереж.

В даний час найбільш популярною технологією мобільної передачі є технологія LTE. Високий ступінь керованості в рамках даної технології досягається застосуванням нової мережевої інфраструктури SAЕ, яка забезпечує всебічну підтримку послуг на базі технології IP, а також безперервне обслуговування абонента при його переміщенні між різними мережами бездротового доступу.

### Література

1. Аналіз методів підвищення завадозахищеності дуплексних систем радіозв'язку і телекомунікацій – О. В. Стальченко, М.В. Васильківський, С. О. Кирилюк, А. О. Меглей - Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2019), Україна, Вінниця, ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtзp/all-frtзp-2019/paper/view/7194/5930>
2. Мережа зв'язку 5G на основі MEC та D2D технологій - С.О. Кирилюк, М.В. Васильківський, Д.О. Жупанов - Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2019), Україна, Вінниця, ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtзp/all-frtзp-2019/paper/view/7194/5875>
3. Перспективи впровадження мобільної 5G мережі - М.В. Васильківський, С.О. Кирилюк, О.С. Клімов - Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2017), Україна, Вінниця, ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtзp/all-frtзp-2017/paper/view/2995/2356>

## ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

Кирилюк С.О., Антонюк А.Л., Полуденко О.С.

Вінницький національний технічний університет

21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, тел. (0432) 56 08 48

E-mail: kso1996.08@mail.com

Розробці методів керування трафіком, а також питань розрахунку статистичних характеристик для телекомунікаційних мереж присвячено багато наукових робіт, однак, в них не розглядалися особливості мобільних мереж стандартів LTE і LTE-Advanced, зокрема можливість раціонального використання радіочастотного спектру, що обумовлена особливістю побудови інтерфейсів обладнання мобільного доступу в цих мережах. В даний час цей спосіб може знайти широке застосування при керуванні швидкістю передачі мультисервісного трафіку від різних видів послуг у цих мережах, з метою мінімізації витрат радіоресурсу. У зв'язку з цим виникає завдання розробки нового методу керування інформаційним навантаженням в мобільних мережах четвертого покоління.

Основною характеристикою будь-якої мережі зв'язку, як системи розподілу інформації, є ефективність її функціонування. Основними критеріями ефективності мережі зв'язку з технічної точки зору є її продуктивність і пропускна здатність. Під пропускною спроможністю мережі зв'язку розуміється добуток

$$D = \sum_{\forall i,j} c_{ij} l_{ij},$$

де  $c_{ij}$  – номінальна пропускна здатність лінії між вузлами  $i$  та  $j$  в біт за одиницю часу, або в Ерл при заданій якості обслуговування;

$l_{ij}$  – довжина лінії між вузлами  $i$  та  $j$  в км.

Під продуктивністю мережі зв'язку [2] розуміється навантаження, що передається визначеною довжиною мережі за певний час  $T$ :

$$P = \sum_{\forall s,t} V_{st} l_{st} / T,$$

де  $V_{st}$  – обсяг переданих за час  $T$  повідомлень (в бітах) між кінцевими пунктами  $s$  та  $t$ ;

$l_{st}$  – довжина найкоротшого шляху між заданими пунктами.

Інтервал часу  $T$  вибирається залежно від поставленого завдання. Пропускна здатність мережі може бути оцінена в ЧНН, або за добу. При розрахунках обладнання використовується пропускна здатність в ЧНН. З точки зору ефективності роботи мережі нас цікавить середньодобова пропускна здатність, при цьому для її підвищення необхідно визначити «розмивання» навантаження протягом доби [3].

Величина коефіцієнта концентрації в основному залежить від структурного складу абонентів мобільної мережі і зазвичай лежить в межах 0,09-0,15. Щоб обсяг обладнання на мережі був мінімальним, і завантаження його рівномірним, величина коефіцієнта концентрації повинна бути мінімальною. Чим рівномірніший графік цього коефіцієнта концентрації протягом доби, тим вище пропускна здатність мережі.

Основні способи підвищення середньодобової пропускної здатності для стаціонарних і мобільних мереж [3] показані на рис. 1.

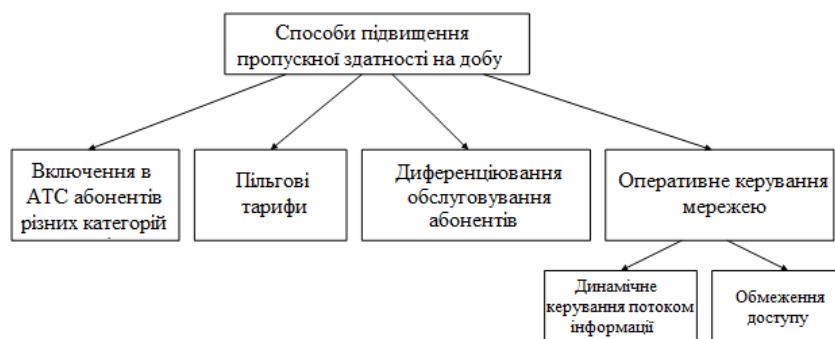


Рис. 1 – Способи підвищення середньодобової пропускної здатності

Проведено аналіз методів підвищення пропускної здатності інформаційних мереж та існуючих методів управління в них трафіком, а також розглянуті способи керування пропускною здатністю. Розглянуто та проаналізовано методи керування пропускною здатністю в стаціонарних і мобільних мережах і на бездротових фрагментах мережі стандарту LTE з метою вирішення завдання розробки оптимального методу керування.

Проведено аналіз характеру мобільного трафіку в мережах LTE, зокрема зниження мовного навантаження в порівнянні з обсягом мультимедійних повідомлень.

### Література

1. Аналіз методів підвищення завадозахищеності дуплексних систем радіозв'язку і телекомунікацій – О. В. Стальченко, М.В. Васильківський, С. О. Кирилюк, А. О. Меглей - Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2019), Україна, Вінниця, ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzip/all-frtzip-2019/paper/view/7194/5930>
2. Мережа зв'язку 5G на основі MEC та D2D технологій - С.О. Кирилюк, М.В. Васильківський, Д.О. Жупанов - Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2019), Україна, Вінниця, ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzip/all-frtzip-2019/paper/view/7194/5875>
3. Перспективи впровадження мобільної 5G мережі - М.В. Васильківський, С.О. Кирилюк, О.С. Клімов - Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2017), Україна, Вінниця, ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzip/all-frtzip-2017/paper/view/2995/2356>

**ДИНАМІЧНЕ КЕРУВАННЯ РАДІОРЕСУРСОМ МЕРЕЖ LTE****Кирилюк С.О., Антонюк А.Л, Полуденко О.С.**

Вінницький національний технічний університет

21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, тел. (0432) 56 08 48

e-mail: kso1996.08@mail.com

Однією з ключових особливостей мереж LTE є здатність одночасної підтримки додатків з різними вимогами якості обслуговування (QoS). Для того, щоб забезпечити дотримання параметрів QoS для кожного з додатків, створюються різні поліпшені системи обробки пакетів - EPS [1]. Основними є два типи EPS з'єднань: з'єднання з гарантованою мінімальною швидкістю передачі - GBR; з'єднання з негарантованою швидкістю передачі - Non-GBR.

Гарантовані з'єднання передаються з мінімальною фіксованою швидкістю передачі, але при наявності вільних ресурсів в мережі можлива передача зі швидкістю більшою, ніж мінімально встановлена. При встановленні з'єднань типу Non-GBR мережа не гарантує навіть мінімальної швидкості передачі даних, тому в разі перевантаження для цих з'єднань може відбуватися втрата пакетів даних.

Метою дослідження є розробка і дослідження методу, що реалізує алгоритми підвищення пропускної спроможності радіоінтерфейсу мережі LTE, заснованого на мінімізації витрат ресурсів при аналізі різних моделей надання послуг.

На радіоділянці мережі між базовою станцією eNodeB і призначеним для користувача обладнанням UE забезпеченням параметрів QoS займається сама станція eNodeB. Кожному інформаційному потоку приписаний параметр класу обслуговування QoS - QCI. У кожному класі обслуговування QoS є кілька ідентифікаторів QCI. Кожен ідентифікатор QCI [2, 3] визначає значення наступних параметрів QoS: пріоритет, допустима затримка і допустима кількість втрачених пакетів. Всі можливі значення ідентифікаторів QCI, а також значення параметрів QoS, що відносяться до конкретного ідентифікатора QCI, визначені у відповідній специфікації. Це допомагає забезпечувати однакову обробку потоків одного типу на

обладнанні різних виробників. Для забезпечення заданої якості обслуговування всіх користувачів даної стільникової мережі LTE, необхідно вводити пороги для певних видів трафіку. При цьому мережа не повинна перевантажуватися і не повинно бути порушень її цілісності, оскільки через втрату хоча б одного пакету часто може бути втрачено все повідомлення. Крім того, необхідно боротися з перевантаженнями, що виникають через те, що запити на телефоні з'єднання безконтрольно перехоплюють ресурси мережі [1].

Для правильного визначення значень порогів необхідно ввести функцію втрат, яка буде характеризувати втрати трафіку при недотриманні допустимої затримки. Наприклад, коли канал майже вільний - користувачі мають рівні пріоритети і отримують доступ на швидкості, відповідно до запитів. Однак, при виникненні перевантажень на сегменті мережі, модуль керування базовою станцією eNodeB повинен використовувати пріоритети для трафіку.

Проведений аналіз показав, що для того щоб мережа не здійснювалося перевантаження і не було порушення її цілісності необхідно вводити обмеження для певних видів трафіку.

Дослідження існуючих методів підвищення пропускної здатності бездротових ділянок мереж показало, що при розподілі ресурсів можуть бути застосовані адаптивні механізми виділення ресурсів, зокрема з використанням динамічного керування.

Вивчення принципів функціонування сегментів мережі LTE і аналіз існуючих методів керування трафіком в них показав, що при цьому найчастіше застосовується метод диференційованого обслуговування, заснований на виділенні різних сервісних класів. Технологія LTE в силу особливостей побудови радіоінтерфейсу є найбільш придатною для застосування методів динамічного керування пропускною здатністю.

З урахуванням викладеного, результати виконаного дослідження в змістовному плані формулюється так: для заданої структури радіоінтерфейсу мережі LTE і режимів її функціонування, а також зміни умов

функціонування, необхідно використовувати алгоритми, що забезпечують мінімальний рівень залучення ресурсу фрагмента мережі LTE.

Проаналізовано особливості побудови радіо-інтерфейсу технології LTE, на підставі яких зроблено висновок, що вона є найбільш придатною для застосування алгоритмів динамічного керування пропускнуою здатністю бездротового сегмента мережі LTE. Показано, що основними загрозами порушення керованості мережі LTE є: зовнішні атаки на мережу; вірусні атаки; атаки на додаткові сервіси.

### Література

1. Аналіз методів підвищення завадозахищеності дуплексних систем радіозв'язку і телекомунікацій – О. В. Стальченко, М.В. Васильківський, С. О. Кирилюк, А. О. Меглей - Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2019), Україна, Вінниця, ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzip/all-frtzip-2019/paper/view/7194/5930>
2. Мережа зв'язку 5G на основі MEC та D2D технологій - С.О. Кирилюк, М.В. Васильківський, Д.О. Жупанов - Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2019), Україна, Вінниця, ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzip/all-frtzip-2019/paper/view/7194/5875>
3. Перспективи впровадження мобільної 5G мережі - М.В. Васильківський, С.О. Кирилюк, О.С. Клімов - Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2017), Україна, Вінниця, ВНТУ [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzip/all-frtzip-2017/paper/view/2995/2356>



**ПРИСТРІЙ АВТОМАТИЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПТАШНИКА****Клопотовський П.А., Макаренко Р.В.**

Черкаський державний технологічний університет  
18006, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. (0472) 511570

E-mail: p.klopotovskiy@chdtu.edu.ua

Свійським птахам потрібен догляд: їх треба поїти, годувати та забезпечити їм прихисток на час зими чи від хижих тварин. При збільшенні поголів'я, людям стає важче контролювати та наглядати за ним. Тому існує потреба в спрощенні деяких процесів фермерам шляхом їх автоматизації.

Коротко охарактеризуємо існуючі аналоги. Безперечною перевагою першого аналогу [1] є виконання його на базі мікрокомп'ютера типу Raspberry Pi – сучасного функціонального засобу побудови сучасних систем автоматизації процесів, до недоліків можна віднести відсутність брудеру та цифрової індикації інформації про режими роботи пристрою. Другий аналог [2], побудований на мікроконтролері ESP8266, має наступні недоліки: відсутність автопоїлки, можливості закриття лазу при низьких температурах, не автономність пташника. До переваг третього аналогу [3], можна віднести: зменшення витрат на зерно, наявність інформування власника про кількість яєць та їх автоматичний збір; можливість переміщення пташника з одного місця, а до недоліків – висока вартість, відсутність можливості подальшої модифікації, відсутній контроль за обсягом з'їденої їжі.

Пропонується пристрій, що базується на використанні сучасної компонентної бази, зокрема популярної апаратної платформи Arduino. Це дозволяє збільшити швидкодію пристрою та застосовувати значну кількість датчиків, коректне використання яких забезпечується наявними бібліотеками. Структурну схему пристрою наведено на рисунку 1.

Актуальність розробки полягає в затребуваності автоматизації функціонування пташника в ситуаціях залишення свійської птиці без догляду



Рисунок 1 – Структурна схема пристрою.

на певний час. Запропонований пристрій реалізує функції автоматизації: годування птахів (автоматична подача корму з різним інтервалом часу) з подачею попереднього відповідного звукового сигналу; контроль мікроклімату в курнику: автоматичний обігрів курника в залежності від показників датчика температури, автоматична робота витяжного вентилятора, керованого в залежності від показників датчика вологості.

Реалізовані цифрова індикація інформації та можливість використання пристрою для роботи в автономному режимі, збільшує загальну функціональність пропонованого пристрою.

### Література

1. Создаем полностью автоматическую ферму [Електроний ресурс]: Блог компании Хакспейс клуб «minirobot» / Хабр – Режим доступу: <https://habr.com/ru/company/minirobot/blog/255321/>. – Назва з екрану.
2. Wi-fi модуль в курятник [Електроний ресурс]: Umka-Motor – Умная автоматика для сельского хозяйства – Режим доступу: <http://u-m.biz/phpBB3/viewtopic.php?f=2&t=103&start=525>. – Назва з екрану.
3. Farmermobil® fm600 [Електроний ресурс]: Mobile Hühnerställe einer neuen Generation - farmermobil.de – Режим доступу: <https://farmermobil.com/products/fm600/> – Назва з екрану.

## АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ РУХОМИХ ЧАСТИН ПРИСТРОЇВ

Клопотовський П. А., Писарєв Д. С.

Черкаський державний технологічний університет  
18006, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. (0472) 511570  
E-mail: p.klopotovskiy@chdtu.edu.ua

Часто в радіоаматорській практиці виникає потреба визначити частоту обертання валів різноманітних пристроїв. У більшості випадків незручно мати механічне з'єднання з вимірюваним апаратом для підключення датчика обертання. Відповідно, безконтактні вимірювачі мають безперечну перевагу серед аналогів.

Промислові безконтактні тахометри відповідають вимогам подібних вимірювачів, гарантують достатню точність вимірів та зручність використання. Проте висока ціна, як правило, являється перепоною до їх використання в непрофесійних умовах.

Враховуючи переваги і недоліки схемних рішень цифрових тахометрів, описаних [1-3], структурну схему запропонованого вимірювача частоти обертання можна представити у вигляді, наведеному на рисунку 1.

До основних переваг спроектованого пристрою можна віднести: використання безконтактного датчика вимірювання частоти обертання, наочна та інформативна індикація, використання сучасного мікроконтролера, діапазон вимірювання частоти обертання – від 100 до 9999 об/хв. та наявність системи автономного живлення.

Реалізація безконтактного способу вимірювання частоти обертання дозволяє з одного боку, вимірювати швидкість видимих, але важкодоступних об'єктів, а з іншого боку, визначати швидкість малопотужних об'єктів без жодної силової дії на них з боку приладу. Зокрема, простим та функціональним є використання інфрачервоного сенсора (інфрачервоний світлодіод та фотодіод в одному корпусі).

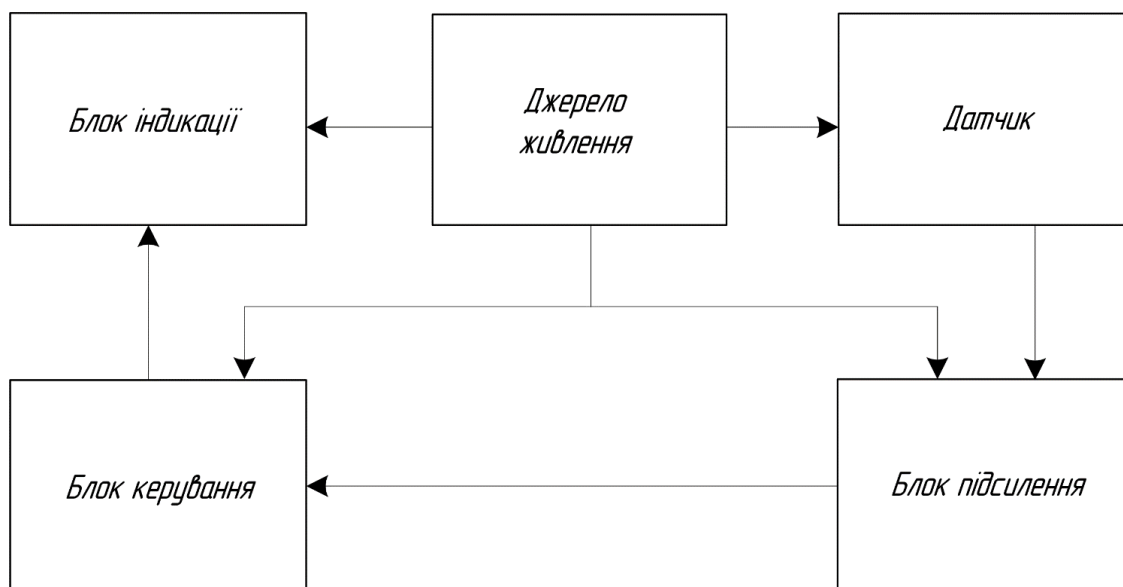


Рисунок 1 – Структурна схема безконтактного тахометру

Можливість роботи не лише від мережі, а й від акумуляторної батареї з номінальною напругою 9 В значно підвищує мобільність безконтактного тахометру.

Побудова блоку керування на базі мікроконтролера Attiny 2313, забезпечує достатньо точне визначення частоти обертання рухомих частин пристроїв, спрощує схемотехнічне рішення та реалізацію наочної цифрової індикації результатів вимірювання. Для представлення виміряної частоти в пристрої використано чотири семисегментні індикатори КИПЦ01Д червоного кольору ввімкненими за схемою із загальним катодом

### Література

1. Универсальный цифровой спидометр на PIC16F628 [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://radioparty.ru/index.php/device-pic/417-digital-speedometer-pic16f628>. – Название с экрана.
2. Бирюков А. Цифровой тахометр // Радио. — 1997. — № 11. — С.54-55.
3. Аналоговый тахомерт с цифровой индикацией [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.mopedist.ru/stati/cifrovai-tahometr.html>. Название с экрана.

**ЕЛЕКТРОННИЙ БАРОМЕТР З ЦИФРОВОЮ ІНДИКАЦІЄЮ****Клопотовський П.А., Мусієнко О. Я.**

Черкаський державний технологічний університет  
18006, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. (0472) 511570

E-mail: p.klopotovskiy@chdtu.edu.ua

Ще зовсім недавно на заяву людини, що його самопочуття погіршилося зі зміною погоди, багато б хто покрутив пальцем біля скроні. Тепер це нікого не дивує, метеочутливість – тобто вплив погодних умов на здоров'я людини, це науково встановлений і підтверджений факт. Має значення багато чого – і вологість повітря, і сила вітру, і температура. Проте найбільший вплив на самопочуття надає атмосферний тиск.[1]

Людський організм пристосований жити під певним тиском, який створює навколишнє повітряна маса, а вона не така легка, як здається. В організмі, як відомо, є кровоносні судини, і серце, яке прокачує через них кров. Вся ця система чітко відрегульована – щоб прокачати кров під певним тиском, серцевий м'яз розвиває суворо потрібну силу, і межі цієї сили досить вузькі. Підвищення атмосферного тиску викликає посилення навантаження на серце і серцевому м'язі доводиться працювати з підвищеною силою і частотою [2].

Саме тому використання малогабаритних пристроїв контролю рівня атмосферного тиску є досить актуальним та виправданим в процесі життєдіяльності сучасної людини.

Структурна схема пропонованого схемотехнічного рішення вимірювача рівня атмосферного тиску представлено на рисунку 1.

Інтегрований датчик тиску МРХ4115А реалізує пропорційне перетворення значення атмосферного тиску в вихідну напругу.

Для подальшої обробки вихідну напругу з датчика тиску підлягає перетворенню та підсиленню за допомогою блоку підсилювача, виконаного з використанням операційних підсилювачів.

Для забезпечення функціональності пристрою й реалізації цифрової індикації слугує блок перетворення. До його складу входить АЦП ICL7106 з необхідною для коректного функціонування елементною «обв'язкою» та драйвер керування роботою рідкокристалічного індикатора.

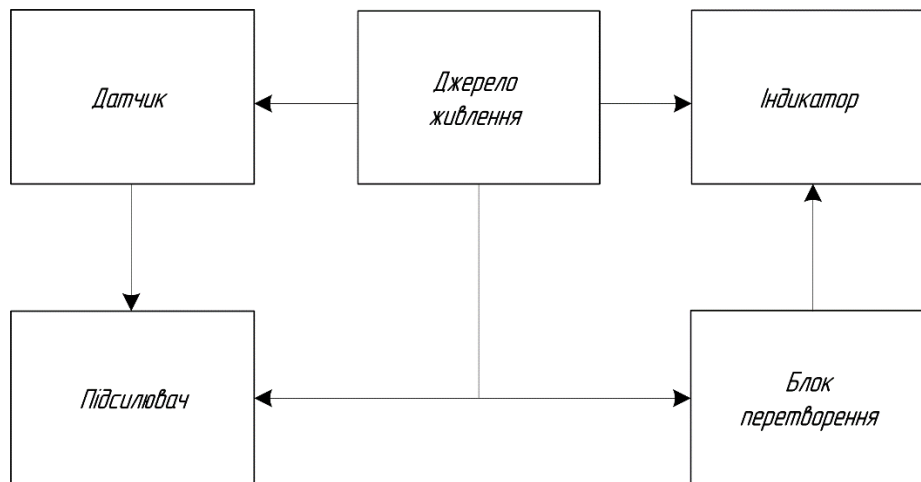


Рисунок 1 – Структурна схема електронного барометра.

Індикатор дозволяє в наглядному та інформативному вигляді відображати виміряне значення атмосферного тиску. Доцільним є виконання його з використанням рідкокристалічного індикатора, в зв'язку невисокою вартістю та достатньою функціональністю.

Живиться схема від стабільного джерела живлення, яке може бути реалізоване як за допомогою батареї живлення, так і акумуляторної батареї з відповідним рівнем вихідної напруги.

Підсумовуючи, можна зробити висновок, що запропоноване схемне рішення автономного малогабаритного барометру дозволяє достатньо точно вимірювати рівень атмосферного тиску та представляти отримане значення в мм. рт. ст. за допомогою зручної цифрової індикації.

### Література

1. Вплив погоди на самопочуття людини. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://pogoda.rovno.ua/node/52> – Назва з екрану.
2. П.Д. Астапенко. Вопросы о погоде. – Ленинград : Гидрометиздат, 1982.

## РЕАЛІЗАЦІЯ СУПУТНИКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПАРАЛЕЛЬНОГО ВОДІННЯ

Лауш А.Г.

ТОВ "КБ ЦЕНТР, "20700, Черкаська обл., м. Сміла, вул. Мазура, 21а

телефон/факс: (04733) 217-54

e-mail: kb@kbcentr.com.ua

Однією з найбільш доступних і в той же час найбільш популярних технологій точного землеробства є системи паралельного водіння. Сільськогосподарська техніка, зокрема основна «бойова» одиниця – трактор, обладнана системою паралельного водіння, дає можливість користувачу значно підвищити ефективність виконання робіт.

Використання систем паралельного водіння та автопілотів дає можливість:

- сіяти, вносити добрива та обприскувати без перекриттів та пропусків;
- вести поточний фактичний підрахунок площі виконаних робіт;
- вести польові роботи вночі, або в тумані, з тією ж ефективністю і точністю, що і вдень;

Система паралельного водіння заснована на використанні сигналу супутникової навігації. Це безкоштовний GPS-сигнал (рух сільгосптехніки по полю виконується з точністю до 30 см) або сигнал з корекцією RTK - при цьому забезпечується точність 2-5 см.

КБ Центр Автопілот для трактора забезпечує:

- значне зниження витрати ресурсів – палива, насіння, добрив за рахунок зменшення до мінімуму площі смуги подвійної обробки поля;
- збільшення інтенсивності використання техніки за рахунок можливості роботи вночі, в туман, в пилу; - значне поліпшення точності і якості виконуваних робіт (до 2 см), що дуже важливо для просапних та інших культур.

Впровадження обладнання та технологій точного землеробства, зокрема паралельного водіння, забезпечує якість робіт та дає можливість: -

зменшити витрати на паливо від 5 до 10% - зменшити витрати на насіння та добрива від 10 до 15% - знизити амортизацію техніки до 10% - скоротити термін посівних робіт до 5% - зменшити собівартість продукції до 15% (в залежності від культури). Наприклад, по даним від одного з господарств, у полі обприскувач без автопілота і без їзди по міжряддю витоптує 3-5% урожаю. Таким чином один тільки автопілот з RTK-сигналом, відпрацьований посів та внесення по міжряддю на 100-гектарному полі кукурудзи рятує урожай на 3000 \$. Другий приклад - комплексне переобладнання обприскуючих агрегатів - устаткування автопілотом трактора і забезпечення відключення секцій в причіпному обприскувачі обходилося в 17 тис. євро. В господарстві переобладнали таким чином 6 агрегатів. Економія ЗЗР склала 15%. Враховуючи, що за сезон господарство вносило ЗЗР на 20 млн. грн, переобладнання окупилося за сезон.

Склад комплекту: антена (з приймачем ГНСС) приймає супутникові сигнали та сигнали корекції RTK і видає високоточні дані позиціонування для бортового комп'ютера; курсовказівник є індикатором положення та руху трактору для водія служить для налаштування обладнання; бортовий комп'ютер обробляє дані та керує підрулюючим пристроєм; підрулюючий пристрій встановлюється на рульову колонку трактору та забезпечує автоматичне ведення по колії; подовжувач GSM сигналу для прийому сигналу RTK від мережі базових станцій.

Наявний комплект обладнання точного водіння використовує електромеханічний підрулюючий пристрій. Всі основні вузли та складові частини обладнання розроблені та виготовлені безпосередньо нашим підприємством або контрагентами під нашим контролем. Окремо слід зауважити, що в апаратурі використовуються повністю власні алгоритми та програми. Внаслідок цього ми маємо можливість постійно вдосконалювати обладнання та оперативно вносити зміни в програмне забезпечення на потребу користувача [1].



## РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТЕНТИФІКАЦІЇ ТА АВТОРИЗАЦІЇ НА БАЗІ ТОКЕНА ДОСТУПУ

**Мироненко М.Д., Палагін В.В.**

Черкаський державний технологічний університет  
18006, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. +380948811570  
e-mail: palahin@ukr.net

Щоб зменшити втрати від кіберзлочинів необхідно удосконалювати методи забезпечення безпеки користувачів. В даний час існує безліч методів автентифікації і авторизації, які допомагають реалізувати надійну стратегію безпеки, в тому числі на основі токенів. До появи токена авторизації повсюдно використовувалася система керування сесіями. Така система все ще залишається актуальною через свою простоту і доступність. Такий традиційний метод гарантує користувачам можливість отримати доступ до їх даних в будь-який час, але це не завжди ефективно.

Мета проекту полягає у створенні веб додатку з системою захисту, що не перенавантажуватиме сервер авторизації.

Система авторизації на базі токена доступу є більш гнучкою, адже тепер при авторизації сервер формує токен доступу, який вже містить необхідні для системи авторизації дані про користувача. Для переконання, що в процесі передачі токен не зміниться – він підписується на стороні сервера. Після формування токена сервер відправляє його на клієнт, де він зберігається (залежно від реалізації фронт-енд частини), або в cookies, або в local storage. Кожного разу, як клієнт робить запит на сервер, фронт-енд частина додатку повинна щоразу додавати токен авторизації, як правило, до HTTP заголовку Authorizatoin, а сервер щоразу буде забирати токен з даного заголовку та розшифровувати його. На основі даних, отриманих з нього, реалізовується рішення про авторизацію запиту.

Переваги використання токена доступу полягають в наступному:

- використання токена доступу знижує навантаження на сервер авторизації, так як зменшується кількість запитів до бази даних;

- токен доступу надає можливість делегувати автентифікацію іншим сервісам, що неможливо зробити з класичними системами автентифікації;
- токен доступу унеможливує проведення небезпечних CSRF атак, так як сесійний ключ вже не використовується, а токен відправляється лише з запитом фронт-енд клієнту, для якого передбачена така логіка.

Розроблена система відноситься до сучасних веб-додатків на базі мови java та фреймворку Spring з системою автентифікації та авторизації на основі токена доступу.

Застосування даної технології дозволяє реалізовувати додатки з використанням різних програмних архітектур. Бек-енд частина даного додатку була побудована згідно правил REST архітектури та надає програмний інтерфейс, на який можуть відправляти HTTP запити не тільки різні клієнти цього веб додатку, а і інші сервіси. Така архітектура має ряд переваг: перенаправляє навантаження за обробку рівня представлення на фронт-енд частину, що дає можливість будувати зручний для веб API, а використання токена доступу в даній системі дозволяє реалізувати систему міжсервісної автентифікації на базі протоколу OAuth 2.

Для формування токена був вибраний стандарт JWT(JSON Web Token), що є найбільш зручним. Згідно даного формату тіло токена та його заголовок шифрується алгоритмом base64. В токені передаються дані, які стосуються лише авторизації, наприклад, роль користувача. Третя частина токена містить відбиток цифрового підпису, сформований сервером з використанням секретної фрази, що зберігається на стороні самого серверу.

Для даної системи був реалізований веб клієнт з використанням сучасного javascript фреймворку React, що дозволило реалізувати власну логіку отримання та зберігання токена на стороні клієнту, а також реалізувати частину автоматичного додавання токена до запитів. В результаті був створений гнучкий для подальшої розробки та підтримки додаток з системою автентифікації та авторизації, що відкрита для розширення іншими протоколами, що працюють на основі токена доступу такими, як OAuth 2.

## РОЗРОБКА АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ПЕРЕДАЧІ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ

Мишко А.В., Гурома В.О., Палагін В.В.

Черкаський державний технологічний університет

18006, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. +380948811570

e-mail: palahin@ukr.net

Розробка системи відноситься до сучасних систем автономного віддаленого контролю (*remote control*) і надає широкі можливості щодо створення системи аналізу та автоматизації метеорологічних досліджень, що призводить до оптимізації витрат і підвищення якості збору та обробки даних. Розробка системи базується на впровадженні сучасних інформаційно-телекомунікаційних технологій, зокрема відомих як *IoT* - Інтернет речей.

*Мета проекту* полягає у розробці методів та конструктивних рішень взаємодії автономної системи контролю та моніторингу середовища з можливістю безпроводної передачі параметрів на веб-ресурси в реальному часі з подальшою статистичною обробкою і візуалізацією даних.

Розробка базується на використанні сучасної компонентної бази з використанням 32-бітного мікроконтролера STM32, що дозволяє збільшити швидкодію системи та її надійність. Система характеризується автономністю від стороннього джерела живлення та забезпечує збір таких даних, як атмосферний тиск, температура навколишнього середовища, відносна вологість повітря, швидкість та напрямок вітру. Опрацьовані дані зберігаються на SD карті пам'яті з подальшою передачею на веб-сервер за допомогою GSM каналу зв'язку. В якості додаткового сервісу передбачається наявність Bluetooth каналу для передачі даних в ближню зону.

Даний проект призначений для використання в зеленій енергетиці для збору даних про метеорологічні умови з подальшим прогнозуванням доцільності встановлення вітрогенераторів у відповідній місцевості. Проект передбачає розширення набору датчиків, що робить його можливе застосування в інших галузях людської діяльності.

## НВС ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ

**Прокопюк В.О.**

Підприємство ТОВ "НВС Телематичні Системи"

20700, Черкаська обл., м. Сміла, вул. Мазура, 24

e-mail: nvs-ts@nvs-ts.com.ua

ТОВ "Навіс-Україна" було створено 2005 року на базі Смілянського Радіоприладного заводу, загалом за 25 років на базі Радіоприладного заводу утворилось близько десяти підприємств з напрямком діяльності пов'язаним з супутниковою навігацією, чотири з яких зараз працюють в місті Сміла, інші працюють за межами України. Мало кому відомо що багато інженерів Смілянських підприємств приймали активну участь при зародженні вітчизняної супутникової навігації.

Основні напрямками діяльності нашого підприємства є:

- проведення досліджень і виконання розробок в області навігаційних технологій з використанням сигналів глобальних навігаційних супутникових систем ГЛОНАСС / GPS GALILEO / Бейдоу;
- розробка апаратури споживачів супутникових навігаційних систем ;
- виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт за договорами для підприємств та організацій за тематикою навігаційної апаратури.

Діапазон розробляємої апаратури і компонентів що розробляється підприємством включає наступні споживчі сегменти:

- навігаційні приймачі для морських, авіаційних і наземних застосувань;
- навігаційні приймачі для сільського господарства <http://nvs-ts.com.ua/parallel-driving>;
- обладнання для диференціальних сервісів <http://nvs-ts.com.ua/reference-stations>;
- технологічне обладнання імітації сигналів супутникових навігаційних систем ГЛОНАСС, GPS, GALILEO;

- апаратура часової синхронізації <http://nvs-ts.com.ua/equipment-of-synchronization>;
- обладнання кутомірної навігації СН-4724 та СН-5712 <http://nvs-ts.com.ua/satellite-compasses>;
- антенні пристрої <http://nvs-ts.com.ua/antennas>;
- програмне забезпечення (вбудоване і прикладне).

Штат ТОВ “НВС ТС” налічує близько 40 фахівців.

Основний склад колективу компанії - це провідні фахівці з більш ніж 15-ти річним досвідом роботи в області розробки апаратури споживачів супутникових радіонавігаційних систем які брали участь у створенні навігаційної апаратури споживачів усіх попередніх поколінь:

- апаратура супутникової навігації для військових і цивільних споживачів, апаратура часової синхронізації для систем зв'язку;
- апаратура імітації сигналів СНС.

Міжнародні проекти за участю ТОВ “НВС Телематичні Системи”:

В рамках проекту «GALILEO», під егідою Європейського космічного агентства, за участю фахівців ТОВ “НВС Телематичні Системи” були розроблені і виготовлені діючі прототипи мультисистемного приймача для морських застосувань і робочі екземпляри імітатора сигналів GPS / GALILEO / SBAS.

З метою переходу нашим підприємством на комерційний ринок, з літа 2018 року основним напрямком розробок нашого підприємства є агронавігація. Головним досягненням нашого підприємства останніх років є розробка, виготовлення та успішна реалізація антен для паралельного водіння серії АСН, зокрема приймач АСН-5203 (<http://asn-5203.nvs-ts.com.ua/>) який використовуються в сільському господарстві, їх розробка почалася в 2016 році, на сьогоднішній день продано більше 2000 антен.

Зараз наше підприємство веде розробку перспективних для сільського господарства - підрулюючого пристрою, автоматичного контролера секцій оприскувача та контролера висіву.

## АПАРАТНІ ЗАСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНОМУ КОНТРОЛІ

Стан С.А.

Державний університет «Одеська політехніка»

65044, Одеса, пр. Шевченка, 1, тел.. (048)-705-84-36

e-mail: kaf.ksu@opu.ua

Дослідження акустичних сигналів, які випромінюються областями пластичної деформації або зонами тріщиноутворення твердих тіл при їх механічному напруженні, та використання акустичної емісії (АЕ) для моніторингу стану і контролю міцності об'єктів машинобудування складає основу методу акустичної емісії. Метод АЕ-контролю є одним з найбільш перспективних методів не руйнуючого контролю та має низку важливих переваг. Він забезпечує визначення та реєстрацію дефектів, які розвиваються. Це означає, що незалежно від розмірів дефектів визначаються найбільш небезпечні дефекти, які мають схильність до розвитку. Метод АЕ-контролю дозволяє класифікувати дефекти не за розмірами, а за ступенем їх небезпечності. В такій класифікації може виявитися, що більші за розмірами дефекти потраплять в клас безпечних, які не потребують ремонту елементів конструкції. Метод АЕ-контролю володіє досить високою чутливістю до дефектів, які зростають, причому ця чутливість значно перевищує чутливість інших методів не руйнуючого контролю. Характерною особливістю методу є його інтегральність, яка полягає в тому, що, використовуючи тільки один або декілька датчиків АЕ, які нерухомо закріплено на поверхні об'єкта, можна контролювати весь об'єм об'єкту. Метод АЕ-контролю залежить від властивостей та структури матеріалів. Важливою проблемою, що визначає перспективність використання АЕ як фізичної основи для методів контролю та діагностування, є вибір таких ознак сигналів АЕ, які дозволяють розпізнавати вид дефекту.

Системи контролю технічних об'єктів на основі використання методу АЕ набули досить значного поширення на практиці та забезпечують розв'язування задач контролю різної складності, зокрема, дані системи

успішно застосовуються при стаціонарному контролі крупних споруд, які містять в собі різноманітні механічні елементи та конструкції. Задача такого роду контролю полягає, головним чином, у встановленні наявності дефектів певного рівня небезпеки. Більш складною задачею є контрольні випробовування з прийому виробів складної форми, крупного масштабу та високими вимогами щодо надійності, коли необхідно вирішувати задачі не тільки віднаходження дефектів, але і визначати види дефектів та рівні їх небезпеки. В такому випадку системи контролю повинні бути забезпечені достатньо складними методами та засобами обробки акустичних сигналів, які (методи та засоби) мають можливість визначення місць дефектів (локації дефектів) і, як можна точніше реєструвати форму сигналів, що дозволяє оцінювати їх (сигналів) інформативні ознаки.

При створенні систем контролю даного типу використовуються вимірювальні канали з багатоелементними датчиками, динамічні властивості яких необхідно враховувати при реєстрації і відтворенні форми сигналів. Для отримання якості обробки сигналів при цьому доцільно використовуватися надлишковість первісних експериментальних даних, враховувати динамічні властивості датчиків та вимірювальних каналів в цілому, що потребує побудови та використання відповідних математичних моделей в задачах локації, а також динамічних моделей вимірювальних каналів із застосуванням методів ідентифікації та відновлення сигналів.

Дослідження виконувалася на основі постановок задач, сформульованих та викладених у роботі [1].

### **Література**

Верлань А. Ф. Модельно-ориентированные методы технической диагностики [Текст] / А. Ф. Верлань, С. А. Положаенко. — К.: Наукова думка, 2019. — 263 с.

# Комп'ютерне моделювання



## РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО БЛОКУ ЖИВЛЕННЯ

**Воробкало Т.В.**, к.т.н., доцент, **Іванець О.М.**, студент

Черкаський державний технологічний університет

бул. Шевченка, 460, Черкаси, 18006, тел. (0472)511570

Одним зі шляхів розвитку електроніки є дослідження та випробування приладів. Кожен електронний прилад має в своєму складі блок живлення, який зменшує напругу до заданого рівня. Для проведення різних робіт з ремонту та обслуговування техніки потрібний блок живлення з фіксованою або регульованою напругою.

Для звичайного блока живлення потрібні менші вимоги, а ніж для лабораторного. Взагалі лабораторні блоки живлення повинні задовольняти особливим вимогам таким, як стабільність роботи та коефіцієнта пульсації та весь можливий захист самого блока і навантаження [1].

Метою роботи є розробка лабораторного блока живлення призначеного для живлення макетів, допомоги в ремонті приладів та живлення низьковольтних приладів при проведенні лабораторних робіт з можливістю регулювання напруги і сили струму, захистом від короткого замикання і тепловим захистом та дослідження його роботи і основних характеристик.

В роботі були розроблені структурна схема приладу (рис.1.1), електрична принципова та був виготовлений сам пристрій. Також проведено практичне дослідження основних характеристик виготовленого лабораторного блока живлення.

Одним з показників працездатності приладу є його стабільність температур при робочому стані. Нормальною температурою приладу вважається температура в 50-80 °С. Максимальна робоча температура котру було зафіксовано при дослідженні при максимальному навантаженні – 79,6 °С.

Також найважливішим параметром блока живлення являється стабільність вихідної напруги та рівень пульсацій на виході. Максимальними

пульсаціями для лабораторних блоків живлення при вихідній напрузі 30 В. є 100мВ. При дослідженні роботи розробленого блоку живлення з навантаженням пульсації вихідної напруги складають не більше 40мВ.

Точність приладів вимірювання є теж досить важливим показником при побудові регульованих блоків живлення, зазвичай допускається невелика похибка приладу в декілька відсотків. При дослідженні було визначено, що похибка розробленого блоку живлення складає майже один відсоток для виміру напруги, та два відсотки для сили струму, що досить непогано для саморобного приладу.

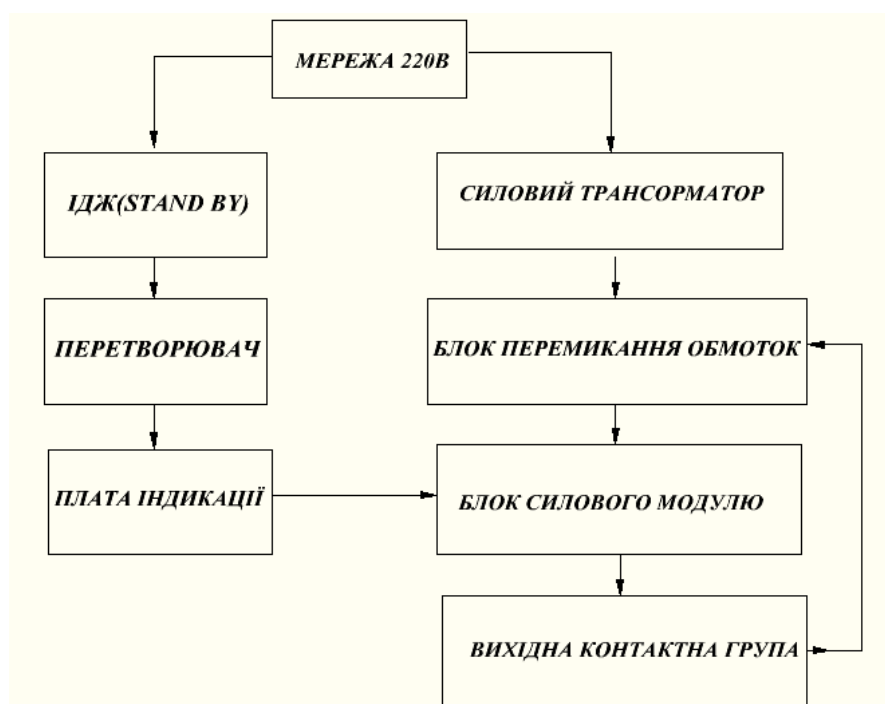


Рис.1. Структурна схема лабораторного блоку живлення

Отже розроблений лабораторний блок живлення має досить непогані параметри, і може використовуватися для живлення різноманітних схем та пристроїв, наприклад, живлення світлодіодних стрічок, зарядження свинцевих акумуляторів на 6 або 12В., живлення мікроконтролера та ін. а також для проведення різних робіт з ремонту та обслуговування техніки.

### Література

1. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование.: Пер. с англ. – К.: «МК-Пресс», 2007. – 288с.

## МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОЧАСТОТНОГО АЛГОРИТМУ МОДУЛЯЦІЇ DMT В ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ

**Воробкало Т.В.**, к.т.н., доцент, **Перцева К.О.**, студент

Черкаський державний технологічний університет

бул. Шевченка, 460, Черкаси, 18006, тел. (0472)511570

У сучасних системах зв'язку, як в дротовому, так і бездротовому сегментах, широко застосовуються цифрові системи передачі інформації, засновані на використанні багаточастотних сигналів з дискретною багатотональною модуляцією DMT (Discreet Multi-Tone Modulation) [1] і з ортогональним частотним мультиплексуванням каналів OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). популярність таких систем пов'язана з високою швидкістю передачі інформації, хорошою роботою в частотно-селективних каналах зв'язку і ефективним використанням методів швидкого перетворення Фур'є при формуванні та прийнятті багаточастотних сигналів.

Останнім часом алгоритм DMT має численні технічні реалізації і є одним з основних алгоритмів модуляції технологій ADSL і VDSL, телевізійного стандарту DVB-C 2, технології Powerline та ін..

Метою роботи є дослідження роботи алгоритму дискретної багатотональної модуляції DMT, що застосовується в дротових цифрових системах передачі інформації, шляхом проведення імітаційного моделювання в пакеті прикладних програм MATLAB/Simulink.

Принцип роботи алгоритму DMT полягає в наступному. DMT використовує не одну, а групу частот несучих коливань. При використанні цього алгоритму модуляції весь частотний діапазон лінії ділиться на певну кількість ділянок шириною по 4,3 кГц, кожна з яких ділянок використовується для організації незалежного каналу передавання даних [2].

На етапі входження в зв'язок робиться перевірка якості лінії. Після чого, передавач, виходячи з рівня перешкод в частотному діапазоні сигналу DMT, для кожного з окремих каналів вибирає відповідну схему модуляції. На ділянках з малим рівнем шумів можуть бути використані методи з великими значеннями спектральної щільності потужності, наприклад, QAM-64. На

більше зашумлених ділянках можуть бути використані прості алгоритми модуляції, наприклад, QAM-2 або PSK-4. Очевидно, що використання такого принципу регулювання швидкості передачі даних дозволяє найточніше погоджувати параметри модульованого сигналу з параметрами лінії, по якій він передаватиметься.

В роботі в середовищі MATLAB/Simulink побудовано модель цифрової системи передачі з DTM модуляцією. Блок-схема моделі представлена на рисунку 1.1.

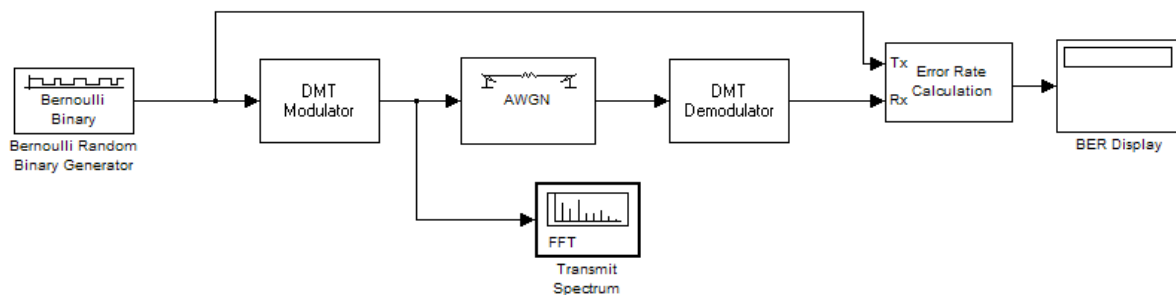


Рис. 1. Модель цифрової системи передачі з DTM модуляцією в середовищі MATLAB/Simulink

DMT модулятор та демодулятор побудовані у вигляді підсистем.

В роботі досліджено частотну характеристику каналу лінії зв'язку (рис. 3) та бітову характеристику завантаження каналу зв'язку (Рис 3).

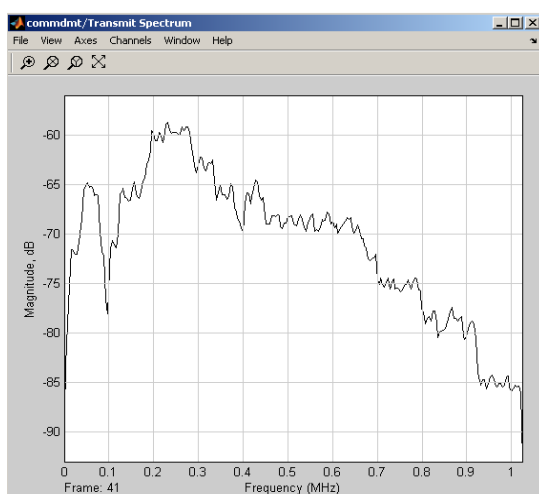


Рис.2. Графік спектральної щільності модульованого сигналу

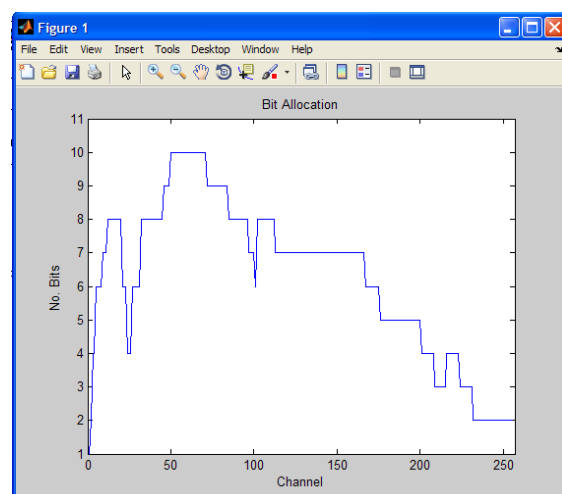


Рис.3. Графік розподілу кількості бітів

Як видно з рисунку 2 ширина спектру складає 1,1 МГц, що відповідає технології xDSL. За даною частотною характеристикою в моделі визначається розподіл бітів в кожному з 256 підканалів системи зв'язку. Як видно з графіку (рис. 3) в кожному з підканалів може передаватися від 2 до 10 біт інформації і графік відповідає отриманій частотній характеристиці каналу лінії зв'язку.

В роботі також було досліджено ймовірність появи бітової помилки, в залежності від відношення сигнал/шум в каналі зв'язку. За стандартом технології xDSL нормована ймовірність бітової помилки в каналі зв'язку, що визначає допустимий рівень помилок в каналі зв'язку при передачі мультимедійної інформації становить  $P_b=10^{-7}$ . Дане значення ймовірності досягається при відношення сигнал/шум в 17 дБ.

Отже алгоритм з дискретною багатотональною модуляцією DMT дозволяє забезпечити високу швидкість і надійність передачі даних в цифрових системах зв'язку. До додаткових переваг цього алгоритму, безумовно, відносяться можливість оперативної і точної адаптації приймально-передавальних пристроїв до характеристик лінії і практично повсюдне визнання цього алгоритму стандартизуючими організаціями (в першу чергу ANSI). Недоліками DMT-модуляції можна вважати складність і високу вартість її апаратної реалізації.

## Література

1. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновський Г.Г. Мережі зв'язку: Підручник для ВНЗ. - СПб.: БХВ - Петербург, 2010.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 751 с.

## МОДЕЛЮВАННЯ І ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СИНФАЗНИХ КОЛІНЕАРНИХ АНТЕН

Гавриш О.С., к.ф.-м.н., Керімов Н.М., Швець О.А., Строкань В.О.

Черкаський державний технологічний університет,  
18006, Черкаси, бул. Шевченко, 460, тел. (0472) 511570  
e-mail: notgeld@ukr.net

Стрімкий прогрес інформаційно-телекомунікаційних технологій призвів до повсюдного використання антен, починаючи з побутових пристроїв (мобільний телефон, роутер, бездротовий принтер) і закінчуючи пристроями в оборонній промисловості. Важливо на етапах синтезу та/або аналізу оцінити вплив конструкції антени на її параметри і розуміти шляхи можливої оптимізації. Таку можливість надають сучасні програми моделювання антен, які забезпечують високу вірогідність отриманих результатів, завдяки сучасним математичним методам, закладеним в основі їх роботи.

В даній роботі розглядаються синфазні колінеарні антени, які виконано у вигляді колінеарних Ground Plane. Для збереження кругової діаграми направленості в азимутальній площині застосовується майже виключно послідовне живлення колінеарів, які з'єднуються через фазуючі пристрої (короткозамкнені шлейфи або котушки індуктивності). Такі конструкції антен широко використовуються для радіоаматорського зв'язку, при побудові радіомережі великого радіусу дії, де необхідно забезпечити кругову направленість і максимальну дальність зв'язку. Досліджено різні типи колінеарних антен, що працюють на частоті 145 МГц, які можна розбити на два класи: антени, що живляться в максимумі струму та антени, що живляться в максимумі напруги. Особливості живлення колінеарних антен, є наслідком різних геометричних розмірів елемента, на який подається живлення. Якщо антена живиться в максимумі струму, то довжина нижнього елемента становить  $0,375\lambda$  ( $\lambda/4 + \lambda/8$ ), а якщо вона живиться в максимумі напруги, то –  $0,625\lambda$ , ( $\lambda/2 + \lambda/8$ ). Довжина верхнього елемента для обох класів антен дорівнює  $0,625\lambda$  ( $\lambda/2 + \lambda/8$ ), а проміжних –  $0,75\lambda$ , ( $\lambda/2 +$  двічі

по  $\lambda/8$ ) [1]. В роботі розглянуто 2-х, 3-х і 4-х елементні конструкції обох класів антен, а як фазуючі пристрої по чергово використовуються шлейфи і індуктивності. Результати чисельного моделювання антен в середовищі MMANA, представлені в табл.1.

Таблиця 1 – Результати дослідження різних типів колінеарних антен

Параметр	2-елементна		3-елементна		4-елементна	
	шлейф	індукт.	шлейф	індукт.	шлейф	індукт.
	живлення в максимумі струму					
Підсилення, дБі	4,29	4,17	6,33	6,23	7,66	7,57
Вхідний опір, Ом	56	49	85	74	120	98
КСХ	1,14	1,03	1,72	1,49	2,41	1,99
	живлення в максимумі напруги					
Підсилення, дБі	5,38	5,22	7,01	6,92	8,04	7,98
Вхідний опір, Ом	51	51	52	54	54	50
КСХ	1,14	1,1	1,11	1,29	1,11	1,29

З табл.1 видно, що збільшення кількості випромінюючих елементів антени приводить до збільшення підсилення, проте кожен наступний елемент дає менший приріст підсилення, оскільки енергія відбирається попередніми елементами і витрачається на випромінювання. Через втрати в котушках підсилення при фазуванні індуктивностями виходить трохи нижче, ніж при фазуванні шлейфами. Вхідний опір антен з живленням в максимумі струму збільшується, і для великої кількості елементів антени може знадобитися додаткове узгодження. Антени, що живляться в максимумі напруги, мають дещо вище підсилення порівняно з антенами, що живляться в максимумі струму. Особливості розміщення точки живлення і наявність узгоджувача пристрою (J-шлейф) забезпечують сталість вхідного опору 50 Ом і як наслідок гарне узгодження антен і фідерів.

### Література

1. Гончаренко И.В. Антенны КВ и УКВ. Часть VI. УКВ антенны. - М.: ИП РадиоСофт, 2014. – 332 с.

## ВИКОРИСТАННЯ ОНЛАЙН ЕМУЛЯТОРІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СКЛАДОВИХ ІОТ-СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПЛАТФОРМИ ARDUINO

**Клопотовський П. А.**

Черкаський державний технологічний університет  
18006, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. (0472) 511570

E-mail: [p.klopotovskiy@chdtu.edu.ua](mailto:p.klopotovskiy@chdtu.edu.ua)

Розвиток сучасних інформаційних технологій пропонує сучасній людині все більше різноманітних технічних рішень які спрощують, покращують та урізноманітнюють її життя. Яскравим представником таких рішень є сучасні системи, які реалізують концепцію «інтернету речей».

Термін «Інтернет речей» (Internet of Things, IoT) був запропонований в 1999 році Кевіном Ештоном, одним з трьох засновників Центру автоматичної ідентифікації Массачусетського університету. Існує кілька визначень цього терміну, і кожне з них недостатньо точне. Одне з них, запропоноване компанією Gartner: «Інтернет речей – це мережа фізичних об'єктів, які мають вбудовані технології, що дозволяють здійснювати взаємодію з зовнішнім середовищем, передавати відомості про свій стан і приймати дані ззовні» [1]

Побудова та фізичне втілення складових ІОТ-систем можливе при використанні найрізноманітніших сучасних мікроконтролерних систем. Платформа Arduino стала однією з затребуваних та найпопулярніших серед розробників.

Популярність Arduino обумовлена: невисоким порогом входження для новачків, зручністю програмування, наявністю безкоштовного середовища розробки Arduino IDE, сумісної з всіма видами операційних систем (Windows, Mac OS X и Linux) та великої кількості навчальних матеріалів, активним ком'юніті. Крім того на ринку присутня величезна кількість різноманітних датчиків та блоків, які дозволять втілювати в життя найрізноманітніші та функціональні мікроконтролерні системи різноманітного призначення та складності.



При вивченні особливостей використання та роботи модулів проєктованих систем, розробники витратили кошти купляючи їх, що не завжди є виправданим. Крім того, пандемія коронавірусу COVID-19 внесла суттєві корективи в звичний спосіб життя кожної людини. Вона змусила людей максимально уникати соціальних контактів та перейти на віддалений режим роботи чи навчання. Саме тому і використання онлайн емуляторів при проєктуванні складових IoT-систем стало ще більш актуальним.

В мережі Internet представлено достатньо велика кількість програмних продуктів, які дозволяють спростити та віртуалізувати процес розробки мікроконтролерних систем.

Частина з них при достатньому рівні функціональності вимагає від користувача фінансових вкладень в межах \$8 – \$652. (Arduino Simulator для PC, Yenka, PSpice, Proteus IoT Builder) та потребує встановлення на комп'ютер.

Інші дозволяють проводити віртуальне моделювання в інтерактивному режимі та потребують лише наявності браузера та інтернет з'єднання.

Одним з таких продуктів є Circuito.io – онлайн-інструмент для розробки прототипів на Arduino. Додаток Circuito дозволяє миттєво згенерувати макетну схему і код для вашого пристрою. Користувач лише обирає основні складові блоки а весь процес підключення та налаштування виконується додатком.

Додаток Circuito.io має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дозволяє за допомогою нескладних кроків генерувати цікаві проєкти простим вибором компонентів, які будуть використані в реальній схемі. При цьому додаток самостійно їх з'єднує і генерує базовий код. Крім того, перейшовши у відповідну вкладку веб-інтерфейсу, користувач має можливість отримати представлений в зручному вигляді перелік посилань на купівлю електронних компонентів згенерованої схеми.

Тому, якщо розробник застряг, розмірковуючи, над яким би проєктом на базі наборів Arduino ще попрацювати, додаток Circuito.io може виявитися

доволі корисним інструментом. Недоліком даного додатку можна вважати відсутність повноцінної онлайн емуляції роботи розробленої схеми.

Інший цікавий безкоштовний онлайн емулятор схем на основі Arduino – програмний додаток Tinkercad.com. До його переваг можна віднести:

- зручний графічний редактор для візуального побудови електронних схем;
- наявність віртуальних моделей більшості популярних електронних компонентів, відсортованих за типом;
- реалізований симулятор електронних схем, за допомогою якого можна підключити створений віртуальний пристрій до віртуального джерела живлення і простежити, як він буде працювати;
- реалізований симулятор датчиків та інструментів зовнішнього впливу, що дозволяє в реальному часу змінювати показники датчиків, спостерігаючи за тим, як на це реагує спроектована система;
- вбудований віртуальний монітор COM-порту;
- наявність на інтернет порталі готових для розгортання проектів Arduino зі схемами і кодом;
- візуальний редактор коду;
- зручний механізм поширення проектів для інших користувачів;
- можливість експортування файлу Eagle brd, для подальшої компоновки монтажної плати.

Отже, підсумовуючи викладене, можна констатувати що сучасні онлайн додатки є актуальними та затребуваними для широкого кола користувачів, при розробці та проектуванні складових ІОТ-систем на основі апаратно-програмної платформи Arduino.

### **Література**

1. Internet Of Things (iot) [Електроний ресурс]: Definition of Internet Of Things (iot) - IT Glossary Gartner – Режим доступу: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/internet-of-things>.

**МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛІНОМІАЛЬНОГО ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ  
НА ФОНІ НЕГАУСІВСЬКОГО ШУМУ ПО МОМЕНТНОМУ  
КРИТЕРІЮ ТИПУ НЕЙМАНА-ПІРСОНА В СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK**

**Лелеко С.А.**

Черкаський державний технологічний університет

Кафедра радіотехніки та інформаційно-телекомунікаційних систем

бул. Шевченко, 460 м. Черкаси, 18006

e-mail: Leleko@i.ua

Використання сучасних методів теорії статистичної обробки випадкових процесів є необхідною умовою для побудови сучасних інформаційних та вимірювальних систем які характеризуються високими вимогами до якості обробки даних. Традиційно системи виявлення сигналів побудовані на класичних ймовірнісних методах теорії перевірки статистичних гіпотез. Ці методи не накладають обмежень на використання функції, що апроксимує тип розподілу завади. [1].

На практиці ж найбільшого розповсюдження здобуло застосування гаусівського розподілу випадкової величини, що в багатьох випадках не відображає реальних фізичних явищ. [2]. Класичні методи теорії статистичної перевірки гіпотез характеризуються значним обмеженням обробки негаусівських сигналів і пов'язані зі складністю алгоритмічної реалізації і збільшенням обчислювальних ресурсів [3].

Властивості вирішальних функцій можуть бути описані з використанням інших характеристик, таких як математичне очікування і дисперсія розв'язувальних правил (РП).

В роботі проведено синтез і аналіз методів та алгоритмів виявлення сигналів в негаусівському шумі на основі моментно-кумулянтного опису випадкових величин, поліноміальних розв'язувальних правил (РП), оптимальних за новим моментним критерієм якості типу Неймана-Пірсона.

Для аналізу нових методів виявлення сигналів на фоні негаусівських завад необхідно провести моделювання отриманих алгоритмів. В цьому випадку доцільно використовувати імітаційні моделі та проведення машинного експерименту, що дає змогу перевірити теоретичні припущення та розрахунки. Суть такого моделювання полягає в у багаторазовому випробуванні побудованої імітаційної моделі на ЕОМ.

На основі розроблених моделей та методів виявлення сигналів [4] створені комп'ютерні засоби моделювання, які дозволяють провести дослідження статистичних властивостей отриманих нелінійних РП. Програмний комплекс розроблений на платформі пакета MATLAB Simulink.

Результати досліджень показують, що нелінійна обробка вибіркового значень дозволяє підвищити ефективність синтезованих РП і дає можливість їх використання при проектуванні ефективних систем обробки негаусівських процесів.

### Література

1. Van Trees, H.L. – Bell, K. L. – Tiany, Z.: Detection Estimation and Modulation Theory, 2nd Edition, Part I, Detection, Estimation, and Filtering Theory // John Wiley & Sons, 2013.
2. Tuzlukov, V.P.: Signal Processing Noise, // CRC Press LLC, 2002.
3. Kassam, S.: Signal Detection in Non-Gaussian Noise. // Springer Verlag, 1988.
4. V. Palahin, O. Palahina, V. Filipov, S. Leleko, A. Ivchenko, "Modeling of Joint Signal Detection and Parameter Estimation on Background of Non-Gaussian Noise," // Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics, issue 14 (3) , 2015, pp.87-94.

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕНЕРУВАННЯ M-ПОСЛІДОВНОСТЕЙ В XCOS

**Превисокова Н.В.**

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

76000, Івано-Франківськ, вул. Шевченка 55, тел. (0342)596086

e-mail: natvolo@rambler.ru

Сучасні цифрові системи зв'язку постійно розвиваються, що зумовлює необхідність розробки нових технологій передавання, дослідження та моделювання таких систем [1, 2]. Для передавання даних та захисту їх від завад використовуються різні методи кодування, серед яких завадозахищене кодування. У даному напрямі  $m$ -послідовності мають широке застосування в цифрових системах зв'язку як псевдовипадкові послідовності, а також серед фазоманіпульованих сигналів займають важливе місце як кодові послідовності максимальної довжини. Причому, кожний поточний елемент послідовності  $\{a_i\}$  утворюється в результаті додавання за модулем два деякої кількості попередніх елементів послідовності.

Важливим компонентом систем зв'язку є генератор  $m$ -послідовностей. Генератори  $m$ -послідовностей та їх фрагментів будуються на основі регістра зсуву та багатовходових суматорів за модулем два [1, 2]. З'єднання суматора за модулем два з розрядами регістра визначається набором коефіцієнтів  $\{c_s\}$ ,  $s=1, \dots, m$  породжуючого многочлена  $\varphi(x)$  степеня  $m$ , які є елементами множини  $c_s \in \{0, 1\}$ .

У роботі здійснено імітаційне моделювання генераторів  $m$ -послідовностей в середовищі Xcos.

Xcos – це графічний редактор для моделювання динамічних систем [3]. Xcos є у вільному доступі і поширюється разом зі Scilab. Середовище Xcos містить набір візуальних блоків.

Генератор  $m$ -послідовності з елементами  $\{a_i\}$  будується на основі регістра зсуву з ланцюгом зворотнього зв'язку і суматором за модулем два.

Для моделювання  $m$ -послідовності використано наступні блоки: таймер, регістр зсуву Shift register, елемент затримки Delay, виключаюче АБО. Розглянутий лінійний генератор, формує бінарну послідовність з періодом  $2^m - 1$  з урахуванням відсутності нульового початкового стану регістрів.

На практиці часто використовуються послідовності  $\{b_i\}$  з елементами  $+1$  і  $-1$ , одержані із  $m$ -послідовності  $\{a_i\}$  на основі перетворення

$$b_i = 1 - 2a_i.$$

З метою формування із елементів  $m$ -послідовності послідовностей такої послідовності  $\{b_i\}$  в моделі використано генератор константи 1, помножувач на число 2, блок обчислення різниці. Для візуалізації результатів генерування  $m$ -послідовності і перетвореної послідовності використано два блоки CsScope 1 і CsScope 2 відповідно.

Початковий вектор або фрагмент послідовності записується у параметрах блоку Shift register.

На рис. 1. для прикладу наведено функціональну схему проведення комп'ютерного імітаційного моделювання генератора  $m$ -послідовності, породженої многочленом  $\varphi(x) = 1 + \alpha_2 x^2 + \alpha_3 x^3$ , в середовищі Xcos.

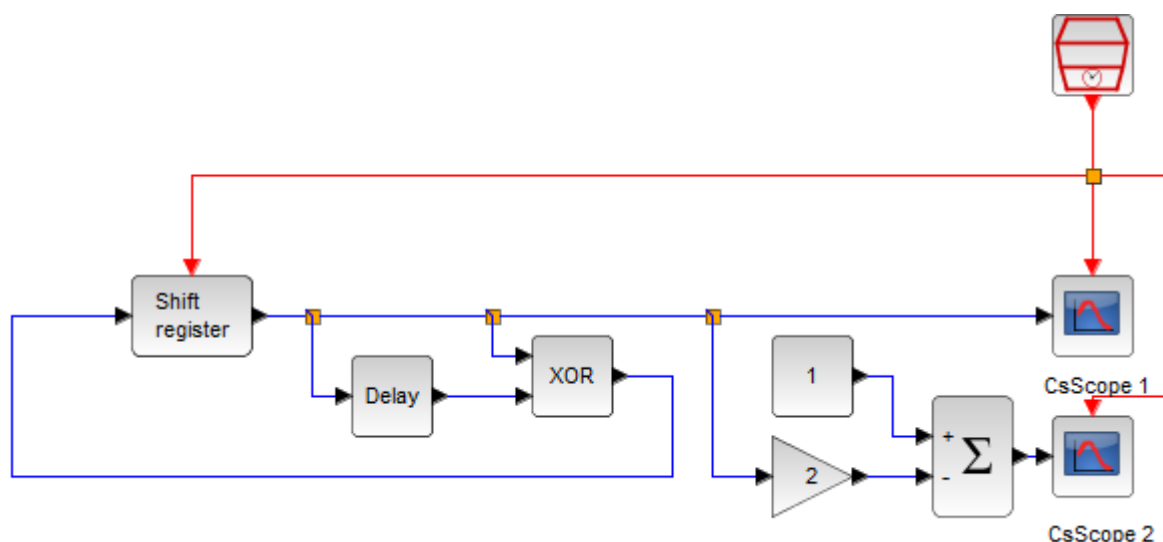


Рис. 1 – Модель генератора послідовностей з елементами  $+1$ ,  $-1$ .

На рис. 2 і рис. 3 наведено графічні результати візуалізації моделювання  $m$ -послідовності та відповідної перетвореної послідовності  $\{b_i\}$  з  $+1$  і  $-1$ .

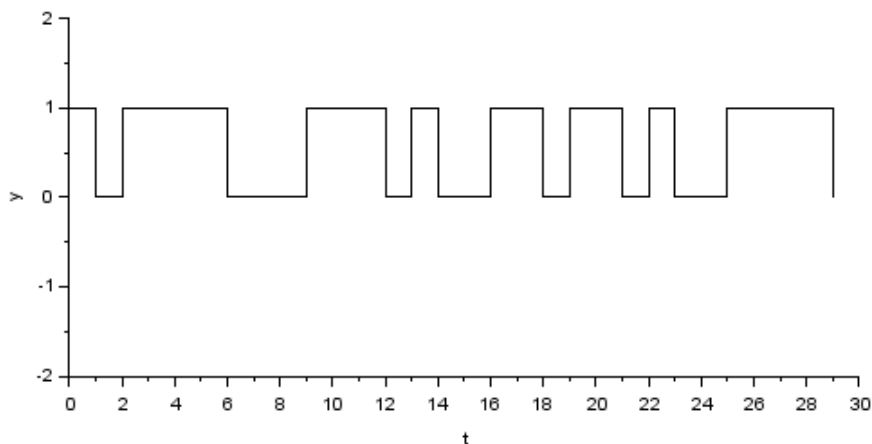


Рис. 2 – Результати моделювання m-послідовності.

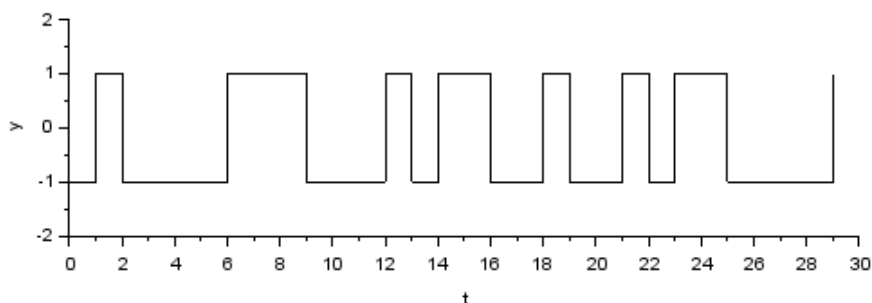


Рис. 3 – Результати моделювання послідовності з елементами +1 і -1.

Наведена імітаційна моделі дозволяє проілюструвати процес генерування та структурні властивості m-послідовностей, перетворення m-послідовностей та використати результати для моделювання складних систем.

### Література

1. Рассомахін С.Г., Гажур Д.М. Побудова псевдовипадкового коду на основі лінійних генераторів m-послідовностей // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2014. – №2(39). – С.143-146.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами . – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Verma, Arvind & Verma, Rachna. (2020). Introduction to Xcos: A Scilab Tool for Modeling Dynamical Systems. Book.

## **ВИЯВЛЕННЯ СТЕГANOГРАМ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ**

**Прогонов Д.О.**

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

030056, Київ, просп. Перемоги 37, тел. (044)2048104

e-mail: [progonov@gmail.com](mailto:progonov@gmail.com)

Сьогодні особлива увага приділяється протидії витоку конфіденційних даних (КД) державних установ і приватних підприємств при обміні повідомленнями в локальних та глобальних інформаційно-комунікаційних системах. Вирішення даної задачі ускладнюється широким використанням зловмисниками прихованих (стеганографічних) систем зв'язку (ПСЗ) для несанкціонованої передачі КД. Значна частка ПСЗ заснована на використанні адаптивних стеганографічних методів (АСМ), що дозволяють мінімізувати спотворення файлу-контейнеру, зокрема цифрового зображення (ЦЗ), при вбудовуванні повідомлень (стегоданих), тим самим суттєво знижуючи ефективність роботи сучасних стегодетекторів (СД).

Одним з методів підвищення імовірності виявлення стеганограм, сформованих згідно АСМ, є використання методів попередньої обробки (калібрування) досліджуваних ЦЗ. Дані методи спрямовані на підсилення слабких змін характеристик зображення-контейнеру (ЗК), обумовлених вбудовуванням стегоданих. Проте вибір калібруючого перетворення ЦЗ, здатного виявляти та підсилювати дані зміни для широкого спектру АСМ, наразі є невирішеною задачею. Метою даної роботи є дослідження ефективності використання методів адаптивної фільтрації при проведенні калібрування ЦЗ.

В роботі розглянуто випадок обробки стеганограм сучасними методами адаптивної фільтрації ЦЗ, зокрема згідно методів нелокального усереднення (англ. Non-Local means, NLM) та мінімізації варіативності значень яскравості пікселів ЦЗ (англ. Total Variation Regularization, TVR). Особливістю даних методів є використання оцінки дисперсії значень яскравості пікселів в зада-



ному околі (NLM-метод) або всьому зображенні (TVR-метод) при обчисленні вихідного (незашумленого) значення яскравості поточного пікселю [1].

При проведенні досліджень розглянуто випадок обробки стеганограм, сформованих згідно сучасних адаптивних стеганографічних методів S-UNIWARD та MG. Дані методи засновані на мінімізації емпіричної функції оцінки спотворень ЗК при формуванні стеганограм [2]:

$$D(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \sum_i \rho_i(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \rightarrow \min, |\mathbf{M}| = \text{const},$$

де  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}$  – відповідно, зображення-контейнер (ЗК) та сформована стеганограма;  $\mathbf{M}$  – стегодані;  $\rho_i(\cdot)$  – емпірична функція оцінки змін статистичних характеристик ЗК при вбудовуванні  $i$ -того біту стегоданих.

Дослідження ефективності застосування NLM та TVR методів при проведенні калібрування ЦЗ проводилося на тестовому пакеті ALASKA. Ступінь заповнення ЗК стегоданими варіювалася в межах від 3% до 5%, та від 10% до 50% з кроком 10%. Виявлення стеганограм проводилося з використанням СД на основі статистичної моделі SPAM [2] та ансамблевого класифікатора на основі лінійних дискримінантів Фішера [3]. Розглянуто випадок налаштування СД за умови відсутності пар контейнер-стеганограма в навчальній вибірці, що відповідає реальним випадкам проведення стегоаналізу ЦЗ [4]. Залежності загальної помилки  $P_E$  виявлення стеганограм (півсуми помилок першого та другого роду), сформованих згідно розглянутих ACM, від ступеня заповнення ЗК стегоданими при використанні NLM та TVR методів для проведення калібрування досліджуваних ЦЗ наведені на Рис. 1.

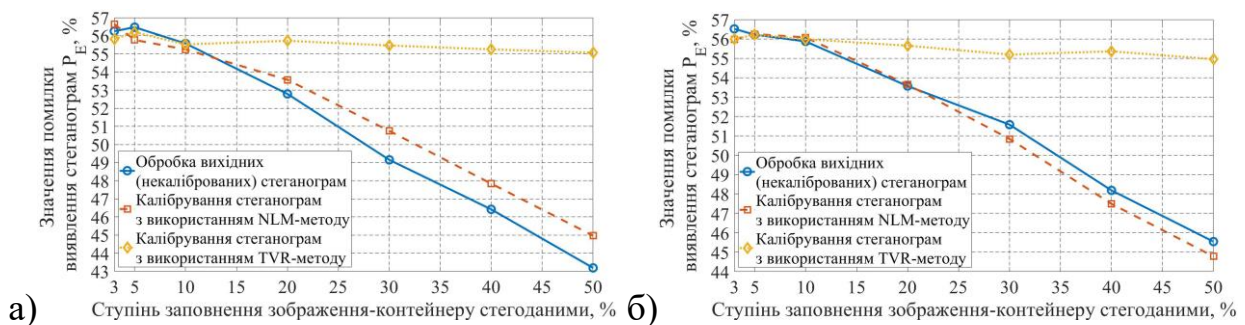


Рис. 1 – Залежності помилки виявлення стеганограм  $P_E$  від ступеня заповнення ЗК стегоданими для стеганографічних методів S-UNIWARD (а)

та MG (б) при калібруванні ЦЗ згідно NLM-методу та TVR-методу.

Використання TVR-методу призводить до суттєвих змін статистичних характеристик ЦЗ (мінімізації варіативності значень яскравості пікселів по всьому зображенню), що суттєво знижує ефективність роботи СД у порівнянні з випадком обробки вихідних (некаліброваних) зображень (Рис.1). З іншого боку, застосування NLM-методу дозволяє зменшити значення помилки  $P_E$  на 0.50% в області слабого заповнення ЗК стегоданими (менше 10%, Рис. 1а) та на 0.75%-1.00% в області середнього заповнення ЗК стегоданими (більше 20%, Рис. 1б).

За результатами аналізу отриманих даних встановлено, що використання NLM-методу при проведенні калібрування ЦЗ дозволяє зменшити на 0.5%-1.0% загальну помилку виявлення стенограм навіть у випадку слабого заповнення ЗК стегоданими, що є одним з найбільш складних випадків стегоаналізу ЦЗ. Нелокальний характер змін яскравості пікселів ЦЗ при використанні TVR-методу призводить до суттєвих змін статистичних характеристик зображення, що негативно впливає на ефективність роботи СД.

### Література

1. Gonzalez R., Woods R. Digital Image Processing / Gonzalez R., Woods R. – 4<sup>th</sup> edition. – London: Pearson, 2017. – 1192 pages. – ISBN 978-0133356724.
2. Progonov D., Lucenko V. Steganalysis of adaptive embedding methods by message re-embedding into stego images / Progonov D., Lucenko V. // Information Theories and Applications – Vol. 27, Issue 4. – 2020. – pp. 3-24.
3. Kodovský J. Ensemble Classifiers for Steganalysis of Digital Media / Kodovský J., Fridrich J., Holub V. // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – Vol. 7, No. 2. – 2012. – pp. 432-444.
4. Progonov D. Performance of Statistical Stegdetectors in Case of Small Number of Stego Images in Training Set / Progonov D. // Proceedings of IEEE International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications Science and Technology” (PIC S&T 2020). – Kharkiv, 2020.

## **ПРАКТИКА СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕКСПЕРТНИХ ПРОВАДЖЕНЬ В ЕКСПЕРТНІЙ СЛУЖБІ МВС УКРАЇНИ. АСПЕКТ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ**

**Пташкін Р.Л.**

Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС  
України, 18000, Черкаси, вул. Пастерівська 104, тел. (0472) 317 333  
e-mail: ndekc.ck@gmail.com

В сучасному світі невпинно зростає вплив цифрових технологій не тільки на повсякденне життя чи побут, а й на службову діяльність. Поступово більшість державних підрозділів різного підпорядкування впроваджують в свою діяльність та щоденно використовують всілякі системи обліку, моніторингу, аналітики, тощо. Це явище є неминучим, оскільки зберігання інформації в цифровому вигляді дозволяє більш зручно та ефективно її опрацьовувати. Наявність цифрових баз даних дозволяє проводити статистичний аналіз будь-яких відомостей з метою виконання подальших коригуючих дій. Це зручно, ефективно, а головне швидко та інформативно.

Але разом з вищезазначеними перевагами, зберігання інформації в цифровому вигляді має й деякі недоліки та обов'язково тягне за собою додаткову відповідальність, оскільки вимагає реалізації сукупності організаційних, правових та інженерно-технічних заходів спрямованих на запобігання як витоку збереженої інформації, так й її спотворенню. Тобто зберігання інформації в цифровому вигляді потребує здійснення заходів з забезпечення кіберзахисту.

Загалом поняття кіберзахисту є життєво важливим аспектом в розробці та розгортанні будь-яких систем обробки інформації. Оскільки як розробники, так й кінцеві користувачі не завжди повністю усвідомлюють, що їхня інформаційна, аналітична чи будь-яка інша система обробки інформації входить категорії критичної інформаційної інфраструктури. А такими об'єктами є й підприємства, установи чи організації діяльність яких безпосередньо пов'язана з наданням послуг, що мають велике значення для

функціонування суспільства та безпеки населення. Виток інформації з таких об'єктів має потенційну загрозу як життєво важливим національним інтересам держави так й життю чи здоров'ю громадян.

Однією з ланок забезпечення сталого, надійного та штатного режиму функціонування систем обробки інформації є закладення поняття кіберзахисту в їх основу, тобто ще на етапі проектування та первинної розробки.

Зауважимо, що інформаційна безпека передбачає боротьбу з неймовірно творчими людьми, які постійно шукають нові методи отримання неправомірного доступу до систем з метою заволодіння та маніпулювання інформацією. І в боротьбі з цією загрозою, що постійно еволюціонує, необхідно домогтися надійного рівня захисту, але в той же час створити систему, що буде зручною для користувачів. Адже невірно побудована політика безпеки змусить кінцевих користувачів обходити заходи безпеки, аби спростити виконання необхідних їм завдань.

В Черкаському науково-дослідному експертно-криміналістичному центрі МВС України на постійній основі проводиться як розробка нових інформаційних систем, так й модернізація вже існуючих. Найзручнішою технологією для створення систем збереження даних, їх автоматизованої класифікації та формування аналітичної інформації, є web. Створення додатку з використанням web-технологій нівелює вимоги до програмного чи апаратного забезпечення кінцевого користувача, по аналогії з web-ресурсами – для повноцінної роботи достатньо програми для перегляду web-сторінок, тобто браузеру.

Аналізуючи функціонування сучасних систем обробки інформації, побудованих на основі web-технологій, варто виділити декілька основних парадигм, дотримання котрих на етапах формування технічного завдання до програмного засобу та його подальшої розробки, закладе потужний фундамент забезпеченню кіберзахисту кінцевої системи.

По-перше, система має бути монолітною та мати єдину «точку входу». Більшість сучасних програмних засобів для створення web-серверу, як то

Nginx чи Apache, дозволяють передавати інтерпретатору в обробку як всі файли певного типу, так й чітко визначений перелік файлів. Якщо кількість виконуваних файлів зменшити до одного й водночас чітко регламентувати властивості цього файлу, можна відразу уникнути атак пов'язаних з завантаженням файлів.

По-друге варто конфігурувати систему активуючи мінімально необхідну кількість можливостей. Тобто, якщо в системі не використовується певні функціональні можливості, то в обробнику файлів програми варто їх деактивувати разом з пов'язаними функціями.

По-третє варто дуже відповідально ставитись до фільтрування даних, фактично єдиним допустимим принципом є «Zero Trust» – будь-які дані необхідно ретельно перевіряти та фільтрувати з мінімальним рівнем довіри до їх адекватності та походження.

В якості висновку можна зазначити, що дотримання декількох важливих парадигм розробки програмного забезпечення в результаті закладе потужний фундамент забезпеченню кіберзахисту кінцевої системи. Такий підхід є особливо важливим в сучасному світі, оскільки ми зазвичай просто не усвідомлюємо того факту, що розроблені нами програмні засоби є елементами критичної інформаційної інфраструктури.

### Література

1. Про Стратегію кібербезпеки України: Указ Президента України Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27 січня 2016 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/96/2016#Text> (дата звернення: 03.05.2021).
2. Рекомендації CERT-UA з безпеки вебресурсів URL: <https://cert.gov.ua/recommendation/19> (дата звернення: 03.05.2021)
3. Про затвердження Загальних вимог до кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури: Постанова Кабінету Міністрів України від 19 червня 2019 р. №518 URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-zagalnih-vimog-do-kiberzahistu-obyektiv-kritichnoyi-infrastrukturi-i190619> (дата звернення: 03.05.2021).

## МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

Ситник О.О.<sup>1</sup>, Кисельова Г.О.<sup>1</sup>, Кисельов В.Б.<sup>1</sup>, Бедерак Я.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Черкаський державний технологічний університет,  
18000, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. (068) 3912195  
e-mail: annakys.777@gmail.com

<sup>2</sup>Приватне акціонерне товариство «Азот» м. Черкаси  
18028, Черкаси, вул. Героїв Холодного Яру, 72

В міру ускладнення електротехнічних пристроїв (ЕП) ростуть вимоги по їх надійності [1]. При забезпеченні надійного функціонування ЕП важливу роль грають ефективні методи розрахунку їх надійності [2].

Розрахунок загальної інтенсивності відмов  $\wedge$  здійснюється за формулою

$$\wedge(\varphi) = \sum_{i=1}^m n_i \lambda_i(\varphi), \quad (1)$$

де  $n_i$  – кількість елементів кожного типу з однаковими режимами;

$\lambda_i(\varphi)$  – інтенсивності відмов елементів різних типів при відповідних режимах роботи;

$m$  – кількість груп однотипних елементів з однаковими режимами.

Основною характеристикою потоку відмов пристрою служить параметр потоку відмов  $h(t)$ , що дорівнює середньому числу відмов за одиницю часу (якщо ця одиниця мала).

Якщо пристрій працює тривалий час, тобто майже всі елементи встигають відмовити по кілька разів, то

$$\lim_{n \rightarrow \infty} h_i(t) = \frac{1}{T_i} = h_i; \quad \lim_{n \rightarrow \infty} h(t) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} = h, \quad (2)$$

де  $h_i(t)$  – параметр потоку відмов  $i$ -го елемента;

$T_i$  – середній час безвідмовної роботи  $i$ -го елемента;

$h(t)$  – параметр потоку відмов пристрою;

$n$  – кількість послідовно включених елементів (у сенсі надійності).

Тоді

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \frac{t}{T_i}}; T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i}}. \quad (3)$$

У тому випадку, коли часом відновленням не можна знехтувати, для першого режиму маємо

$$P(t) = e^{-ht} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}, T = \frac{1}{h} = \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^{-1}, \quad (4)$$

$$T_B = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{h} T_{Bi} = \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}, \quad (5)$$

$$K_r = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n h_i T_{Bi}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}, \quad (6)$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов  $i$ -го елемента;

$\mu_i$  – інтенсивність відновлення  $i$ -го елемента.

Для другого режиму значення  $P(t)$  і  $T$  збігаються з першим режимом, а середній час відновлення і коефіцієнт готовності визначаються за формулами

$$T_B = \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^{-1} \left[ \prod_{i=1}^n \left( 1 + \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right) - 1 \right], \quad K_r = \prod_{i=1}^n \left( 1 + \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right)^{-1}. \quad (7)$$

Введемо позначення:  $m_{ij}$  – кількість блоків  $i$ -го типу, що входять до складу  $j$ -ої моделі ( $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, k$ );  $\lambda_i$  – параметр потоку відмов  $i$ -го блоку  $j$ -ої моделі;  $\Lambda$  – параметр потоку відмов системи забезпечення функціонування.

Якщо вважати величини  $\lambda_i$  і  $\Lambda$  відомими, тобто отриманими експериментально або розрахованими заздалегідь будь-яким методом і прийняти, що потік відмов кожної моделі пуассонівський, то можна визначити ймовірність безвідмовної роботи  $j$ -ої моделі

$$P_{ij}(t) = \exp \left[ - \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i m_{ij} + \Lambda \right) t_j \right], \quad (8)$$

де  $t_j$  – час використання моделі, тобто відрізок часу від моменту підключення

до відключення.

Якщо ввести поняття середньої кількості використовуваних блоків у кожній моделі, яка визначається виразом  $\bar{m}_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k m_{ij}$  і середнім часом використання моделей  $\bar{t} = \sum_{j=1}^k m_j$ , то ймовірність безвідмовної роботи ЕП при

вирішенні будь-якого із завдань, можна приблизно визначити за формулою

$$\bar{P}_{ij}(t) \cong \exp \left[ - \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{m}_{ij} + \Lambda \right) \bar{t} \right]. \quad (9)$$

Для отримання наближеної оцінки надійності ЕП при вирішенні довільного завдання доцільно використовувати поняття  $q$ -мірного характеристичного вектора  $\{P_i\}$  компонентами якого є ймовірність  $P_i$  набору моделі. Тоді ймовірність безвідмовної роботи ЕП може бути оцінена формулою

$$\bar{P}_{ij}(t) \cong \exp \left[ - \left( \sum_{i=1}^a M_i P_i + \Lambda \right) \bar{t} \right], \quad (10)$$

де  $M = \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{m}_{ij}$ ,  $t$  – середній час розв'язання довільного завдання.

Інші показники надійності (напрацювання на відмову  $T_0$  і коефіцієнт готовності  $K_T$ ) у кожному з цих випадків можуть бути обчислені через відповідні імовірності безвідмовної роботи. Таким чином, за допомогою обліку особливостей ЕП можна отримати уточнення оцінки надійності.

## Література

1. Kyselov V., Kyselova A., Klyuchka K., Protasov S., Semko I. Conditions for application of reliability assessment methods of the functioning of electrical devices. *Danish scientific journal. Denmark*. 2021. Vol. 1, No. 46. P. 55–59.
2. Губаревич О. В. Надійність та діагностика електрообладнання: підручник. Сєверодонецьк : СНУ ім. В. Даля, 2016. 248 с.



**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПОЛІНОМІАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ  
ПАРАМЕТРІВ РЕГРЕСІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ  
МОДЕЛЕЙ НЕГАУСОВИХ ПОМИЛОК**

**Заболотній С.В., Ткаченко О.М., Гончаров А.В.,**

Черкаський державний бізнес-коледж

18000, Черкаси, вул. В'ячеслава Чорновола, 243, тел. (0472) 64-10-00

e-mail: zabolotniua@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет

18000, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. (0472) 730261

e-mail: tkachenko.ck@gmail.com, a.honcharov@chdtu.edu.ua

Регресійний аналіз є однією із найбільш поширених груп задач, що вирішуються в рамках сучасного прикладного напрямку розвитку комп'ютерних наук та інформаційних технологій відомого як «Наука про Дані» (Data Science). Бурхливий розвиток цього напрямку пов'язаний із неперервним і стрімким ростом даних, які генерує людство. Опрацювання таких обсягів даних не можливо вже уявити без використання обчислювальної техніки і відповідних програмних засобів, орієнтованих на комп'ютерне моделювання і статистичний аналіз. Серед них можна виділити як спеціалізовані комерційні продукти типу MATLAB, SAS, STATISTICA, так і високорівневі мови програмування, зокрема, R та Python, які орієнтовані на задачі аналізу даних. Математичним фундаментом цих програмних інструментальних засобів є різноманітні моделі та обчислювальні методи. Одним із основних критеріїв їх розробки та застосування є підвищення точності опрацювання на основі урахування специфіки реальних даних.

У роботі вирішена науково-технічна задача застосування і розвитку методів математичного та комп'ютерного моделювання процесів оцінювання параметрів регресії за умови негаусового характеру їх помилок.

Запропоновано новий підхід до адаптивного знаходження оцінок параметрів на основі використання для опису випадкової складової регресійних моделей статистик вищих порядків, що надало можливість

реалізаційно просто враховувати відхилення від гаусової ідеалізації в процесі синтезу та аналізу ефективності результуючих методів.

На основі апарату стохастичних поліномів Кунченка та отриманих із використанням моментно-кумулянтного опису модифікацій регресійних моделей здійснено синтез обчислювальних методів адаптивного оцінювання параметрів регресійних моделей лінійного, поліноміального і нелінійного типу. Показано, що загальна задача алгоритмічно може бути зведена до розв'язання системи нелінійних стохастичних рівнянь із застосуванням чисельної ітераційної процедури Ньютон-Рафсона.

Проведено аналіз властивостей поліноміальних оцінок за умови асиметричного та симетричного характеру негаусових помилок та здійснено порівняння їх ефективності із класичними оцінками методу найменших квадратів та максимальної правдоподібності. Показано, що застосування запропонованого підходу забезпечує зменшення дисперсії поліноміальних оцінок, порівняно із відомими оцінками методу найменших квадратів, а зростання точності досягається завдяки врахуванню негаусовості регресійних помилок.

Розроблений програмний комплекс, його структура та набір модулів забезпечують як безпосереднє вирішення задачі знаходження адаптивних оцінок параметрів регресійних залежностей так і реалізацією комп'ютерного статистичного моделювання на основі методу Монте-Карло і бутстреп-аналізу. Сукупність отриманих результатів статистичного моделювання підтверджує теоретично доведену ефективність поліноміальних оцінок. На прикладі моделі помилок з експоненційним степеневим розподілом показано, що при відсутності апріорної інформації про значення параметрів регресійних помилок адаптивні поліноміальні оцінки можуть бути більш точними навіть порівняно із адаптивними оцінками максимальної правдоподібності.

Наукова новизна роботи полягає у створенні методів математичного моделювання процесів оцінювання параметрів регресійних залежностей при негаусовому розподілі їх випадкових помилок на основі використання статистик вищих порядків, методу максимізації полінома (методу Кунченка),

що дозволяє зменшити дисперсію інформативних оцінок параметрів і забезпечує високу якість статистичного опрацювання в комп'ютерних системах.

Практична цінність одержаних результатів визначається тим, що отримані методи та засоби математичного і комп'ютерного моделювання дали змогу розробити методику отримання адаптивних оцінок інформативних параметрів регресійних залежностей при асиметричному і симетричному характері їх випадкових помилок, яка може бути використана для побудови нових обчислювальних алгоритмів аналізу даних. На основі використання програмного пакету MATLAB і спеціалізованої для аналізу даних мови високого рівня R розроблено програмні засоби, які можуть бути використані для вирішення задач статистичного моделювання знаходження оцінок параметрів регресійних залежностей.

У роботі із застосуванням апарату стохастичних поліномів Кунченка та моментно-кумулянтного опису вирішена важлива науково-технічна задача – розробка методів математичного і комп'ютерного моделювання процесів адаптивного оцінювання параметрів регресійних залежностей, що дозволило підвищити точність процесів оцінювання на основі урахування характеристик негаусових регресійних помилок та створити алгоритмічні основи і програмні засоби їх реалізації.

### **Література**

1. Кунченко Ю.П., Лега Ю.Г. Оценка параметров случайных величин методом максимизации полинома. – К.: Наукова думка, 1991. – 180 с.
2. Zabolotnii S., Warsza Z.L., Tkachenko O. (2018) Polynomial Estimation of Linear Regression Parameters for the Asymmetric PDF of Errors. AUTOMATION 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 743. Springer, Cham
3. Zabolotnii S.W., Warsza Z.L., Tkachenko O. (2020) Estimation of Linear Regression Parameters of Symmetric Non-Gaussian Errors by Polynomial Maximization Method. AUTOMATION 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 920. Springer, Cham

## МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ СИГНАЛІВ НА ВХОДІ НЕЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ЗА НАЯВНОСТІ ШУМОВИХ ЗАВАД

**Володимир Федорчук**, доктор технічних наук, професор

**Віталій Іванюк**, доктор технічних наук, доцент

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка,

Кам'янець-Подільський, Україна

e-mail: fedvolod@kpnu.edu.ua, wivanyuk@kpnu.edu.ua

Для розв'язування задач відновлення сигналів на вході динамічних систем для їх керування, контролю та діагностики, зазвичай, виникає необхідність розв'язування інтегральних рівнянь Вольтерри першого роду [1]:

$$\int_0^t K_1(t, \tau)x(\tau)d\tau = y(t). \quad (1)$$

де  $x(t)$ ,  $y(t)$  — відповідно вхідний і вихідний сигнали системи,  $t$  — час перехідного процесу,  $K_1(t, \tau)$  — ядро Вольтерри, яке для випадку нелінійних динамічних систем відповідає моделі Урисона або Гаммерштейна. Використання таких моделей є утрудненим, через складності їх побудови, тому доцільним є використання моделей у вигляді поліноміальних інтегральних рівнянь Вольтерри першого роду, зокрема поліноміального інтегрального рівняння Вольтерри другого роду [2, 3]:

$$\int_0^t K_1(t, \tau)x(\tau)d\tau + \int_0^t \int_0^t K_2(t, \tau_1, \tau_2)x(\tau_1)x(\tau_2)d\tau_1d\tau_2 = y(t), \quad (2)$$

де  $K_1(t, \tau)$  — одновимірне ядро, яке описує лінійну частину,  $K_2(t, \tau_1, \tau_2)$  — двовимірне ядро, яке визначає нелінійність системи (в даному випадку квадратичну).

Задача відновлення сигналу, який спотворюється нелінійним динамічним об'єктом є некоректною, а застосування класичних методів розв'язування таких задач при наявності шумових завад у сигналах, не дає змоги отримувати стійкі розв'язки із необхідною точністю. Пропонується

застосовувати диференціальний регуляризаційний оператор першого порядку  $\alpha \frac{dx}{dt}$ , де  $\alpha$  – параметр регуляризації [4]. Тоді розв'язування поліноміального рівняння Вольтерри зводиться до розв'язування наступного інтегро-диференціального рівняння:

$$\alpha \frac{dx}{dt} + \int_0^t K_1(t, \tau)x(\tau)ds + \int_0^t \int_0^t K_2(t, \tau_1, \tau_2)x(\tau_1)x(\tau_2)d\tau_1d\tau_2 = y(t). \quad (3)$$

Застосувавши до (3) різницеву формулу та метод квадратур отримується система нелінійних (квадратних) рівнянь. Для розв'язування отриманої системи ефективним є застосування ітераційних методів, зокрема простої ітерації або ланцюгових дробів [5]. Ефективність запропонованого підходу до відновлення сигналів на вході нелінійних динамічних систем досліджувалась методом обчислювальних експериментів за наявності у сигналах на виході шумових завод різного характеру.

### Список використаних джерел та літератури

1. Верлань А. Ф., Сизиков В. С. Интегральные уравнения: Методы. Алгоритмы. Программы : *справочное пособие*. Київ. Наук. думка, 1986. 548 с.
2. Солодуша С. В. Моделирование систем автоматического управления на основе полиномов Вольтерра. *Моделирование и анализ информационных систем*. 2012. № 1. С. 60–68.
3. Пупков К. А., Капалин В. И., Ющенко А. С. Функциональные ряды в теории нелинейных систем. Москва. Наука, 1976. 448 с.
4. Ivanyuk V., Ponedilok V., Sterten J. Solving inverse problems of dynamics of nonlinear objects based on the Volterra series. *Computational problems of electrical engineering*, Vol. 6, No. 1. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2016. p. 9-16.
5. Ivaniuk V., Ponedilok V. Method of restoration of input signals of nonlinear dynamic object with distributed parameters. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки*. Кам'янець-Подільський, 2018. Вип. 18. С. 65–73.

## МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ СПІЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ СИГНАЛУ ТА ДИСПЕРСІЇ НЕГАУСІВСЬКОЇ ЗАВАДИ

**Філіпов В.В.**

Черкаський державний технологічний університет  
18006, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. (0472) 730261  
e-mail: vvphilka@gmail.com

Проаналізувавши результати отримані в роботі [1], можемо побачити, що вирази спільних оцінок параметра сигналу та дисперсії негаусівської завади ускладнюються при збільшенні степеня  $s$  стохастичного полінома. Це пояснюється тим, що оцінки зазначених параметрів отримуються з системи степеневих рівнянь порядку  $s$ .

В цій роботі пропонується дослідити складність алгоритмів спільного оцінювання параметра сигналу  $\mathcal{G}$  та дисперсії завади  $\chi_2$  при степенях стохастичного полінома  $s \geq 3$ .

### Постановка задачі.

Нехай  $\epsilon$  вибірка обсягом  $n$  незалежних однаково розподілених вибіркових значень  $\vec{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  з генеральної сукупності значень випадкової величини  $\xi$ . Дана випадкова величина є адитивною сумішшю корисного сигналу та негаусівської завади:  $\xi = S(\mathcal{G}) + \eta$ . Сигнал  $S(\mathcal{G})$ , розглядається як функція від параметра  $\mathcal{G}$ . Негаусівська завада  $\eta$  описується кумулянтном другого порядку  $\chi_2$  та кумулянтними коефіцієнтами:  $\gamma_3 \div \gamma_{2s}$  (відповідно до класифікації негаусівських завад), де  $s$  – степінь стохастичного полінома. Математичне сподівання досліджуваної випадкової величини дорівнює нулю. Параметри негаусівської завади вважаються апіорно відомими.

Аналітичні вирази оцінки параметра  $\mathcal{G}$  знаходиться з рівняння:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq (c, e, \dots, l)}}^s h_{i(s)\{\eta\}\{\ell\}}(\mathcal{G}) \sum_{v=1}^n (x_v^i - m_{i\{\eta\}}(\mathcal{G})) \Big|_{\mathcal{G}=\hat{\mathcal{G}}} = 0, \quad i \neq (c, e, \dots, l), \quad (1)$$

де  $m_{i\{\eta\}}$  – моменти  $i$ -го порядку,  $\eta$  – негаусівська завада (non-Gaussian noise),  $x_v$  – незалежні і однаково розподілених вибіркові значення з досліджуваної

випадкової величини  $\xi$ ,  $n$  – обсяг вибірки  $\bar{x}$ ,  $h_{i(s)\{\eta\}\{\ell\}}(\mathcal{G})$  – оптимальні коефіцієнти  $i$ -го порядку, з параметром глибини усічення полінома  $\ell$ , знаходяться з розв'язку системи:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq (c, e, \dots, l)}}^{s-\ell} h_{j(s)\{\eta\}\{\ell\}}(\mathcal{G}) \cdot K_{i, j\{\eta\}}(\mathcal{G}) = \frac{d}{d\mathcal{G}} [m_{i\{\eta\}}(\mathcal{G})].$$

**Метою даної роботи** є дослідження складності алгоритму знаходження спільних оцінок параметра сигналу та дисперсії негаусівської завади отриманих за допомогою методу максимізації усіченого стохастичного полінома степеня  $s$ .

### Вирішення задачі.

Крім критерію точності до алгоритмів спільного оцінювання параметра сигналу  $\mathcal{G}$  та дисперсії завади  $\chi_2$  пред'являється вимога швидкості отримання результуючих виразів спільної оцінки  $\hat{\mathcal{G}}$  та  $\hat{\chi}_2$ . Швидкість зазначених алгоритмів оцінювання залежить від їх складності. Алгоритм спільного оцінювання параметра сигналу  $\mathcal{G}$  та дисперсії негаусівської завади, які ґрунтуються на методі максимізації усіченого стохастичного полінома, наведений на рис. 1.

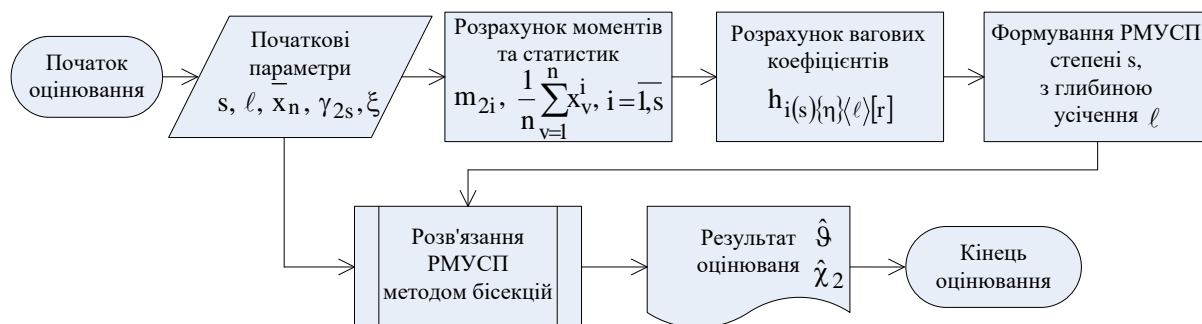


Рис.1. Алгоритм знаходження оцінки сигналу при усіченому оцінюванні дисперсії завади, з використанням методу максимізації усіченого полінома при степені  $s$  та глибині усічення  $l$

Наведений алгоритм спільного оцінювання складається з чотирьох етапів. Відповідно до заданих початкових параметрів, на першому етапі визначаються чисельні значення моментів та статистик  $k$ -го порядку, де  $k = \overline{1, s - \ell}$ .

В залежності від чисельного значення параметра глибини усічення стохастичних поліномів  $\ell$ , на другому етапі зазначеного алгоритму визначаються чисельні вирази вагових коефіцієнтів рівнянь максимізації усічених поліномів порядку  $k$ . Зазначимо, що при збільшенні параметра  $\ell$ , вирази коефіцієнтів  $h_{i(s)\{n\}\ell}[r]$ ,  $i = \overline{1, k}$ ,  $r = \overline{1, 2}$  спрощуються – містять меншу кількість елементарних математичних операцій.

На третьому етапі алгоритму відбувається формування рівнянь максимізації поліномів порядку  $k$ . Під час виконання четвертого етапу алгоритму оцінювання параметра  $\mathcal{G}$  відбувається процедура розв'язання степеневих рівнянь порядку  $k$  відносно змінних  $\mathcal{G}$  та  $\chi_2$  за допомогою запропонованого чисельного методу

Проаналізуємо час виконання кожного етапу описаного алгоритму спільного оцінювання в пакеті програм математичних обчислень Wolfram Mathematica 11.

Особливістю побудови спільного алгоритму оцінювання є багатократне виконання кожного етапу спільного оцінювання параметрів  $\mathcal{G}$ ,  $\chi_2$ . Циклічне багаторазове знаходження спільної оцінки  $\hat{\mathcal{G}}$  та  $\hat{\chi}_2$ , здійснюється для ускладнення імітаційної моделі, яке необхідне для більш детального дослідження часу виконання кожного етапу алгоритму оцінювання.

Можемо сказати, що при збільшенні степеня полінома  $s$  збільшується час, за який отримуються спільні оцінки  $\hat{\mathcal{G}}$  та  $\hat{\chi}_2$ . Зауважимо, що для степенів поліномів  $s > 6$  алгоритми оцінювання параметра постійного сигналу  $\mathcal{G}$  при усіченому оцінюванні дисперсії  $\chi_2$  ускладнюються більш, ніж 60 разів.

### Література

1. Лега Ю. Г. Оцінка параметра постійного сигналу при усіченому оцінюванні дисперсії ексцесної завади другого типу / Ю. Г. Лега, А. В. Гончаров, В. В. Філіпов // Вісник інженерної академії України, 2010. – № 1. – С. 81-86.



## ДИСПЕРСІЙНІ ЯВИЩА У ОПТИЧНИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ

Чорній А.М., к.т.н., доцент, Шлома С.В.

Черкаський державний технологічний університет,  
18006, м. Черкаси, бул. Шевченко, 460, тел. (0472)730261  
e-mail: a.chornii@chdtu.edu.ua

Оптичні системи передачі на сьогодні є найефективнішим способом передачі інформації. З ростом спектру мультимедійних послуг, зростають і вимоги до смуги пропускання системи передачі. Оптичні системи передачі, на сьогодні, здатні забезпечити необхідну пропускну здатність, як для звичайних користувачів, використовуючи, наприклад, сімейство технологій FTTx, так і на магістральних мережах.

Важливо врахувати чинники, які можуть вплинути на загальну ефективність волоконно-оптичного тракту передачі. Одним з таких чинників, є дисперсія у оптичних волокнах, яка носить негативний характер, з точки зору якості передачі. Сучасні обчислювальні ресурси та програмні продукти дозволяють на етапі проектування мережі обчислити негативний вплив дисперсії, та здійснити кроки, для його усунення або ж, мінімізації.

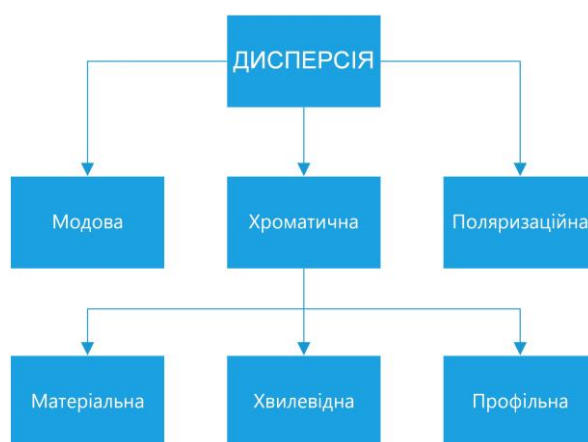


Рис. 1 – Класифікація складових дисперсії оптичного волокна

На рисунку 1 представлено класифікацію складових дисперсії оптичного волокна. Кожна її складова здійснює свій вплив на поширення оптичного сигналу по оптичному волокну, зокрема, модова, яка присутня лише у багатомодових оптичних волокнах, і зумовлена різною швидкістю поширення у оптичному волокні променів різних мод, що досягають виходу в різний час, що призводить до розширення імпульсу на виході. Чим менше діаметр оптичного волокна, тим менше мод може поширюватися, а отже, і вплив модової дисперсії буде меншим. Поляризаційна дисперсія виникає в наслідок затримки ортогонально-поляризованих світлових хвиль, і присутня лише у одномодових оптичних волокнах.

Проте, найбільший вплив на поширення оптичного сигналу здійснює хроматична дисперсія, яка призводить до зміщення фази сигналу, його амплітуди та фронту. Графічно це показано на рисунку 2.

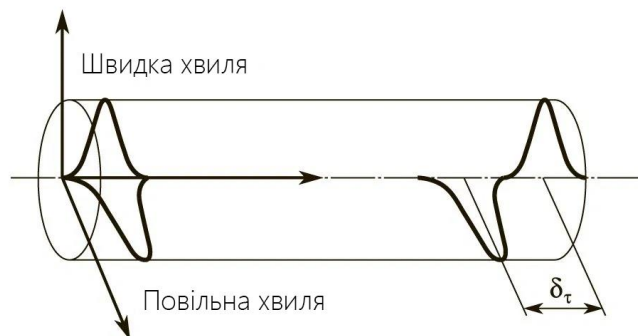


Рис. 2 – Поява поляризаційної дисперсії у волокні з не ідеальною геометрією

Поляризаційно-модова дисперсія виникає внаслідок різної швидкості поширення двох взаємно перпендикулярних поляризаційних складових моди, в основному, це зумовлено «овальністю» оптичного волокна.

Як згадувалось вище, можна обчислити вплив дисперсії на поширення оптичного сигналу. Коефіцієнт хроматичної дисперсії розраховується за формулою:

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left( \lambda_p - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right) \quad (1)$$

Також важливо розуміти, що від даних параметрів залежить затухання оптичного сигналу, і як наслідок, довжина регенераційної ділянки, яку можна обчислити наступним чином:

$$L_{\max} = \frac{EP - P_3 - 2\lambda_p + \lambda_{\text{вв}} - 2\lambda_p}{\lambda + \frac{\lambda_{\text{вв}}}{l_{\text{сд}}}} \quad (2)$$

де  $EP$ -енергетичний потенціал апаратури;  $P_3$ -запас на старіння;  $\lambda_p$ -загасання на роз'ємну;  $\lambda_{\text{вв}}$ -загасання на стику волокно – волокно;  $l_{\text{сд}}$ -будівельна довжина кабелю.

Отже, важливо розуміти природу поширення оптичного сигналу у оптичному волокні, в першу чергу для того, щоб мінізувати економічні втрати при реалізації проектів з «паперу» в «реальність».

### Література

1. Jia-Min Gong. The steady SRS analysis theory of DWDM transmission system in single-mode silica fiber / Jia-Min Gong, Xu Zuo, Yun Zhao // Optics Communications / Jia-Min Gong, Xu Zuo, Yun Zhao., 2015. – С. 257–262.
2. Salim Tariq. Stimulated raman scattering in fiber optic systems / Salim Tariq, Joseph C. Palais. // Fiber and Integrated Optics. – 1996. – №15. – С. 335–352.

# Історія науки і техніки

**СТУДЕНТСЬКА ТЕМА — НАЗАВЖДИ!****Даник В.О.**

Черкаський державний технологічний університет  
18006, Черкаси, бул. Шевченка 460, тел. 8(0472)730261  
e-mail: danyk2014@ukr.net

Можна сказати, що викладачам пощастило з аудиторією. Бо студенти — аудиторія чутлива. Аудиторія, що завжди відгукнеться і на цікаву думку, і на дотепне слово. І, мабуть, кожен з викладачів міг це відчутти сповна. А коли обстановка на занятті така, що студенти вже трохи втомилися від нелегких і вельми математизованих істин, ось тоді досить пожартувати і втома... Ну, ніби сама собою — кудись зникає! А коли викладацька діяльність поєднується з літературними зусиллями, то і виходять з-під пера жартівливі, короткоформатні, але ж, мабуть таки, змістовні творіння. Бо і студентська тема — це назавжди! І ніякі пекельні віруси цьому не стануть на заваді.

**НЕ ДАДУТЬ**

В житті... гай-гай... усього досхочу!  
То як живеться все ж викладачу?!  
Та, може, саме в тому справжня суть,  
Яка завжди квітує неповторно:  
Студенти нудьгувати не дадуть.  
Навіть коли... нудьга бере за горло!

А студентам таки — нелегко живеться! Бо стільки всього і актуального, і не дуже актуального потрібно і осягнути, і запам'ятати. Бо стільки непростих наукових фактів і украй переконливих аргументів інколи випадає на одну-однісіньку бідолашну студентську душу, що й... подумати страшно. І це мають усвідомлювати і викладачі теж.

## ЛИШЕ ОДНА

Отож і мислимо щосили  
У вирі прагнень і напруг.  
А світ — авжеж... незрозумілий!  
Як озирнутися навкруг...

Життя завжди — у стилі шторму.  
І це усе ж не дивина.  
Це ж у конспекті — стільки формул!  
А голова — дише одна...

Бо це ж завжди важливо — а які усе ж знання залишилися після нелегких зусиль і втомливих занять. Бо у знань є така вельми підступна особливість — раптом зникати... І головне, що якраз — у найпотрібніший момент!

## РАДІСТЬ Є

Викладач примовк на мить,  
Запитати квапиться:  
– Чи щось треба пояснить...  
Вам по цій тематиці?!

А життя і тут, і там  
Непростими драмами:  
– Ну, а ось питання вам,  
Друзі, до екзамену!

Кожному – щастя своє...  
Стрімко і піднесено!  
У студентів радість є:  
Це, звичайно ж, сесія.

Закінчивши вуз, я свого часу пропрацював інженером немало літ у науково-дослідному інституті. Одного разу, перебуваючи на курсах підвищення кваліфікації, мав розмову з іншим учасником цих курсів. Людиною вдумливою і цікавою. На досить несподівану тему. Інженери, певна річ, люди з усе ж немалим студентським досвідом. Мова йшла про те, що викладачі на екзамені сповідують, так би мовити, різну тактику.

Хтось з викладачів більш чи менш ретельно відслідковує, щоб студенти при підготовці до відповіді на білет не списували. А у когось підхід усе ж діаметрально протилежний: мовляв, приносьте на екзамен усе, що хочете, і користуйтеся ним. Конспекти – свої... чужі... Книги. Хоч і енциклопедію з собою беріть!

Інженер, мій співрозмовник, так аргументував другий, дещо несподіваний усе ж підхід:

- Та це і зрозуміло! Бо питання, так би мовити, можна задавати — у лоб! А можна запитувати... ну, ніби трохи збоку. Ось тоді і з'ясується, наскільки глибоко студент зміг засвоїти предмет.

Згадалося і як сусід по кімнаті у студентському гуртолажитку (а це ще минуле сторіччя... семидесяті...) розповідав. У групи, де навчався він, виникли форс-мажорні обставини. Група мала здавати екзамен. Та викладач захворів. І попросив свого друга і колегу прийняти цей екзамен.

Тому студентам було непросто, бо іспит приймала не та людина, що читала лекції. Та і викладачу не легше, бо хоч матеріал і знайомий, але ж кожне питання висвітлювати на лекціях можна по різному і у більшому чи меншому об'ємі. Мабуть, саме це і зумовило подальші дії екзаменатора, якими він студентів таки зумів подивувати.

Отож студенти зайшли до аудиторії, узяли кожен свій білет і почали готуватися. Викладач розгорнув принесену з собою газету і демонстративно почав її читати. Мовляв, хай студенти готуються, а з рівнем знань — нічого... розберемося!

Через певний час, зрозумівши, що на розгорнутій сторінці чогось цікавого більше нема і щоб не вносити зайву нервозність у процес іспиту, підкреслив:

- Увага! Перегортаю сторінку...

Отож і скажіть - як тут не поспівчувати студентам?! Бо самого уміння знайти і списати щось необхідне для відповіді - і це важко не помітити! - усе ж недостатньо.

### **ТРЕБА ЗНАТИ**

Ну, а студенту – ніколи зітхати,  
Ну, а студент завжди у вирі справ!  
Екзаменів і заліків багато:  
Це дуже добре – зміг переписати!  
Та треба знати – що переписав...

Але кожна сесія, кожен екзамен — це усе ж випробування і для викладача. Бо це відповідь на запитання — а що саме і наскільки зуміли засвоїти його студенти. Що вдалося, а що і вдалося не зовсім. І коли позитивний результат у цьому розумінні усе ж помітний, то це викладача не може не радувати.

### **НЕ УБЕРІГСЯ**

Коли студент, бач, ні бум-бум –  
Викладачу... і біль, і сум!  
А як... бумбумкає хоч трохи –  
То менші сумніви й тривоги...  
Бо добре знає – де ж той дзвін!  
Від знань... не уберегся він.

Студенти — цікава і невгамовна аудиторія! І така, що схильна до жартів, і така, що здатна поцінувати дотепне слово. Отож студентська тема ще не раз спалахне сяйливим цвітом і сузір'ям думок і у розмові, і у літературних творах.

## ЗМІСТ

### МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СИГНАЛІВ ТА СИСТЕМ

1. **Н.С. Ань, В.І. Луценко, І.В. Луценко, І.В. Попов, О.В. Соболяк, С.І. Хоменко.** Поляризаційно-спектральні сигнатури сигналів, розсіяних надводними і наземними об'єктами 5
2. **Бараннік Н.В.** Косвенное стеганографическое преобразование 8
3. **Верлань А.Ф.** Інтегральний метод в задачах лінійної фільтрації 10
4. **Верлань А.Ф., Павленко В. Д., Фомін О. О., Положаєнко С. А.** Розвиток теорії, розробка методів і засобів контролю та діагностики нелінійних динамічних систем 11
5. **Євтушенко І.О., Палагін В.В.** Модель мобільної мережі п'ятого покоління з використанням технології віртуалізації 17
6. **Карпунець О. О.** Моделі систем з розподіленими параметрами, що мають виражену інерційність, та синтез законів управління ними 20
7. **Каюмов Ш., Сагатов М.В.** Об одном методе определения пьезопроводных коэффициентов дифференциальных уравнений фильтрации в полярной системе координат 22
8. **Красильников А.И.** кумулянтный анализ случайного фототелеграфного сигнала 25
9. **Красильников А.И.** Классификация семейства распределений Субботина 28
10. **Кривенко О.В., Кривенко Є.О., Луценко В.І., Бабаков М.Ф.** Нові математичні моделі поширення вірусних інфекцій 32
11. **Кунченко – Харченко В.І., Сікора Л.С., Лиса Н.К., Ткачук Р.Л.** Інформаційні технології формування стратегій прийняття рішень та оцінка ризику в техногенних системах за умов когнітивних збоїв 35
12. **Лись Д.А.** Математична модель динамічного стану парорідинної суміші у пластових структурах 43
13. **Марюшко М.В., Пащенко Р.Е.** Моделювання сигналів відбитих від земної поверхні з використанням фрактальних недиференційованих функцій 46
14. **Machusky Eugene.** Informational entropy of quantum bit communications 49
15. **Митько Л.О., Дячук О.А.** Спосіб формування моделі процесу у задачі акустичної томографії 66
16. **Пятін І.С., Бойко Ю.М.** Дослідження низхідної лінії зв'язку 5G 68
17. **Сичик О.С.** Математичні моделі технологічних апаратів переробки сирих вуглеводнів 71



18. **Чепинога А.В., Чепинога В.В.** Застосування методу кунченка та статистичних рядів для моделей розподілів в теорії надійності 74

## МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ТА СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ

19. **Абдуллаев Н.Т., Ахмедова Х.Р.** Аналіз інформативних ознак інтервалів серцебиття для дифференціальної діагностики захворювань 77
20. **Бараннік В.В., Бабенко Ю.М., Хіменко А.М., Волошін В.А.** Підхід до збереження семантичної цілісності та часу доставки відеоресурсу 80
21. **Берегун В.С., Красильніков О.І.** Розрізнення процесів Бунімовича–Райса на основі коефіцієнтів асиметрії та ексцесу 82
22. **Ведєрніков Д.А., Івченко В.О., В.І., Палагіна О.А., Палагін В.В.** Поліноміальні методи оцінювання параметра постійного сигналу на фоні негаусових корельованих завад 85
23. **Воробкало Т.В., Подорожній А.А.** Оцінювання амплітуди радіосигналу в умовах апріорної невизначеності статистичних характеристик асиметричної завади 88
24. **Герасименко А.О., Жук С.Я.** Аналіз ефективності стеження за малорозмірним безпілотним літальним апаратом кореляційно-екстремальним алгоритмом калманівського типу 91
25. **Гончаров А.В., Могілей С.О.** Застосування методу штейнера для побудови опорних планів мультимодальних транспортних задач 94
26. **Єгоров С.А., Єгоров В.А., Єгоров А.Д., Луценко В.І.** Отримання субпіксельної роздільної здатності при реєстрації спектрів атомно-емісійного аналізу 96
27. **Єгоров С.А., Єгоров В.А., Кривенко О.В., Луценко В.І., Соболяк О.В.** Оптимальне виявлення сигналів на фоні стаціонарних негаусових завад у системах атомно-емісійного спектрального аналізу 99
28. **Заболотній С.В.** Ефективність поліноміальних оцінок параметрів авторегресійних моделей з негаусовими помилками 102
29. **Івченко О.В.** Способи визначення моментних функцій вищих порядків випадкових процесів 106
30. **Маслюк А.О., Палагін В.В.** Розробка та реалізація методу захисту документів на основі ЕЦП 111
31. **Мартиненко С.С., Гуріненко А.В.** Виявлення імпульсних сигналів поліноміальним виявлячем при неповній апріорній визначеності завади 113

32. *Мартиненко С.С., Димитренко Р.В., Коріновський В.В.* Дослідження виявляча імпульсних сигналів із випадковими параметрами, за умови дії негауссівської завади 115
33. *Обод І.І., Старокожев С.В., Свид І.В.* Оптимізація виявлення сигналів запиту в кооперативних системах спостереження 117
34. *Обод І.І., Глуценко А. О., Свид І.В.* Поєднання інформації сумісних радіолокаційних систем спостереження 120
35. *Palahina E., Kunchenko-Kharchenko V., Tonkopriad S., Push I., Smirnov D., Palahin V.* Signal detection in additive-multiplicative non-Gaussian noise 123
36. *Попова К.І., Луценко В.І., Луценко І.В., Бабаков М.Ф.* Фактори, що впливають на поширення нового типу коронавірусні інфекції Covid-19 125
37. *Продеус А.М.* Виявлення сплесків в імпульсній характеристиці приміщення шляхом обчислення коефіцієнта ексцесу 129
38. *Стахова А.П.* Спектральний аналіз сигналу вимірюваної вібрації на базі MATLAB 132

## АПАРАТНІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ ТА ДАНИХ

39. *Гаген В.А.* Критерії ефективності медичних інформаційних систем 136
40. *Гуломов Ш.Р., Сагатова Ф.М.* Аналіз методів фільтрації сетевого трафіка в інфокомунікаційних системах 140
41. *Зорін О.С., Бінецький О.С., Палагін В.В.* Smart Lock з використанням RFID і ESP32 143
42. *Каримов М.М., Сагатов М.М.* Об одном способе шифрования информации в компьютерных сетях 145
43. *Кирилюк С.О., Антонюк Г.Л., Полуденко О.С.* Оцінювання продуктивності телекомунікаційної мережі LTE 149
44. *Кирилюк С.О., Антонюк А.Л., Полуденко О.С.* Керування інформаційним захистом в телекомунікаційних радіомережах 152
45. *Кирилюк С.О., Антонюк А.Л., Полуденко О.С.* Оцінювання ефективності оптичної інформаційної мережі 155
46. *Кирилюк С.О., Антонюк А.Л., Полуденко О.С.* Динамічне керування радіоресурсом мереж LTE 158
47. *Клоповський П.А., Макаренко Р.В.* Пристрій автоматизації функціонування пташника 161
48. *Клоповський П.А., Писарєв Д.С.* Апаратна реалізація безконтактного вимірювання частоти обертання рухомих частин пристроїв 163

49. **Клопотовський П.А., Мусієнко О.Я.** Електронний барометр з цифровою індикацією 165
50. **Лауш А.Г.** Реалізація супутникових технологій для побудови систем паралельного водіння 167
51. **Мироненко М.Д., Палагін В.В.** Розробка системи автентифікації та авторизації на базі токена доступу 169
52. **Мишко А.В., Гурома В.О., Палагін В.В.** Розробка автономної системи збору та передачі метеорологічних даних 171
53. **Проконюк В.О.** НВС Телематичні системи 172
54. **Стан С.А.** Апаратні засоби реалізації систем адаптивного діагностування при акустико-емісійному контролі 174

### КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

55. **Воробкало Т.В., Іванець О.М.** Розробка та дослідження лабораторного блоку живлення 177
56. **Воробкало Т.В., Перцева К.О.** Моделювання багаточастотного алгоритму модуляції DMT в цифрових системах передачі 179
57. **Гавриш О.С., Керімов Н.М., Швець О.А., Строкань В.О.** Моделювання і порівняльний аналіз параметрів синфазних колінеарних антен 182
58. **Клопотовський П.А.** Використання онлайн емуляторів при проектуванні складових ІОТ-систем на основі платформи Arduino 184
59. **Лелеко С.А.** Моделювання поліноміального виявлення сигналів на фоні негаусівського шуму по моментному критерію типу Неймана-Пірсона в середовищі Simulink 187
60. **Превисокова Н.В.** Імітаційне моделювання генерування M-послідовностей в XCOS 189
61. **Прогонов Д.О.** Виявлення стеганограм з використанням методів адаптивної фільтрації цифрових зображень 192
62. **Пташкін Р.Л.** Практика створення системи обліку експертних проваджень в експертній службі МВС України. Аспект інформаційної безпеки 195
63. **Ситник О.О., Кисельова Г.О., Кисельов В.Б., Бедерак Я.С.** Метод оцінювання надійності функціонування електротехнічних пристроїв 198
64. **Ткаченко О.М., Заболотній С.В., Гончаров А.В.** Методи та засоби поліноміального оцінювання параметрів регресії з використанням моделей негаусових помилок 201
65. **Федорчук В.А., Іванюк В.А.** Метод відновлення сигналів на вході нелінійних динамічних систем за наявності шумових завад 204

66.	<b>Філіпов В.В.</b> Моделювання алгоритмів спільного оцінювання сигналу та дисперсії негаусівської завади	206
67.	<b>Чорній А.М., Шлома С.В.</b> Дисперсійні явища у оптичних системах передачі	209

## ІСТОРІЯ НАУКИ І ТЕХНІКИ

68.	<b>Даник В.О.</b> Студентська тема — назавжди!	212
-----	--	-----

	<b>ЗМІСТ</b> .....	216
--	--------------------	-----

Наукове електронне видання

# П Р А Ц І

VIII Міжнародної  
науково-практичної конференції

## "ОБРОБКА СИГНАЛІВ І НЕГАУСІВСЬКИХ ПРОЦЕСІВ"

*Пам'яті професора  
Ю.П. Кунченка*

25-26 травня 2021 р.,  
м. Черкаси, Україна

*В авторській редакції.*

Технічний редактор *Філіпов В.В.*

---

Гарн. Times New Roman. Обл.-вид. арк. 12,62. Зам. 17-е112.

---

Черкаський державний технологічний університет  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 896 від 16.04.2002 р.  
бульвар Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006

РTPС ЧДТУ  
osnp2021@gmail.com