

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ

ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ (ATICE'2025)

ОДЕСА, УКРАЇНА, 18 ЛИПНЯ 2025 Р.

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

ОДЕСА

2025

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
INTERNATIONAL HUMANITARIAN UNIVERSITY

INTERNATIONAL CONFERENCE

ADVANCED TECHNOLOGY

IN INFORMATION AND COMMUNICATION

ENGINEERING

(ATICE'2025)

ODESA, UKRAINE, JULY 18, 2025

CONFERENCE PROCEEDINGS

ODESA

2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ
В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІЙ
ІНЖЕНЕРІЇ
МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Одеса, Україна, 18 липня 2025 р.



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
INTERNATIONAL HUMANITARIAN UNIVERSITY**

**International Conference “Advanced Technology in
Information and Communication Engineering”
(ATICE’2025)**

Odesa, Ukraine, July 18, 2025

Conference Proceedings



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Міжнародна конференція «Передові технології
в інформаційно-комунікаційній інженерії»
(ПТІКІ'2025)**

Одеса, Україна, 18 липня 2025 р.

Матеріали конференції



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

International Conference “Advanced Technology in Information and Communication Engineering” (ATICE'2025): Conference Proceedings. Odesa : International humanitarian university, 2025, 123 p.

DOI:

Міжнародна конференція «Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії» (ATICE'2025): Матеріали конференції. Міжнародний гуманітарний університет, 2025. – Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2025. – 123 с.

ISBN 978-617-554-582-9

Збірка містить праці Міжнародної конференції з інформаційних систем, технологій захисту інформації, використання сучасних інформаційних технологій в управлінні системами за різними галузями народного господарства.

Матеріали публікуються в авторській редакції.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова

КІВАЛОВ С.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

Співголови

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

Члени організаційного комітету

БЕРКМАН Л.Н. – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, м.Київ, Україна.

КЛИМАШ М.М. – д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна.

ЛЕМЕШКО А. В. – д.т.н., проф., Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна.

РОЗЕНВАССЕР Д.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

РИХЛІК А. – к.т.н., Лодзький технічний університет, м.Лодзь, Польща

СЕМЕНКО А.І. – д.т.н., проф., Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

СІМЕНС Е. – д.т.н., проф., Анхальтський університет прикладних наук, м.Кетен, Німеччина.

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СУНДУЧКОВ К.С. – д.т.н., проф., Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна.

РЕДАКЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

РОЗЕНВАССЕР Д.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

КОМІТЕТ МІЖНАРОДНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

ГЛОБА Л. С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

ГРИГОР'ЄВА Т.І. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

ТЕХНІЧНО-ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ГЛОБА Л.С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

СЕКЦІЇ

СЕКЦІЯ 1. ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

ГЛОБА Л.С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ГРИГОР'ЄВА Т.І. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 2. КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

МИРОШНИК М.А. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

РУСУ О.П. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 3. КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

ЛУНТОВСЬКИЙ А.О. – д.т.н., проф., Державна академія Саксонії «Беруфсакадемія», м. Дрезден, Німеччина.

ЙОНА Л.Г. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, Одеса, Україна.

МАНЬКО Д.Г. – д.ю.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 4. ЕЛЕКТРОННІ КОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ЛЕМЕСЬКО А.В. – д.т.н., проф., Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна.

ПЕДЯШ В.В. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 5. ІНФОРМАТИКА ТА ПРОГРАМУВАННЯ В ОСВІТІ

КУЧАЙ О.В. - д.п.н., проф., Національний університет біоресурсів і природокористування України.

ЖИГУЛІН О.А. – д.е.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, Одеса, Україна

ГОРБАЧОВ В.Е. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

Україна стикається з труднощами, як недостатній рівень автоматизації портових процесів, потреба у фінансуванні та підготовці кадрів, необхідність законодавчої підтримки цифрових трансформацій.

Висновки. Бездротові широкосмугові технології є ключовим чинником цифрової трансформації морської галузі України. Їх впровадження у рамках систем IALA сприяє автоматизації, підвищенню надійності навігаційного забезпечення, інтеграції до глобальної цифрової екосистеми мореплавства та виконанню міжнародних зобов'язань. Подальший розвиток БШД в Україні залежить від масштабування цифрових платформ, впровадження сучасних стандартів зв'язку (5G, VDES), інтеграції IoT та супутникових рішень, а також від активної участі у міжнародних ініціативах з цифровізації морських перевезень.

Література

1. Стратегія розвитку сфери електронних комунікацій України на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 4 червня 2025 р. № 546-р.
2. <https://today.ua/ru/480092-oficijnij-zapusk-5g-v-ukrayini-hto-vzhe-v-zoni-nadshvidkogo-internetu/>
3. <https://www.maritimejournal.com/accessories-and-equipment/how-lte/5g-is-disrupting-maritime-connectivity/1467054.article>
4. <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/lte-and-5g-will-enhance-seafarer-communications-66244>
5. <https://5g.in.ua/pochatok-vprovadzhennia-5g-v-ukrayini-shcho-oznachaie-dlia-korystuvachiv-ta-industrii/>
6. <https://agropereemoga.com.ua/morski-porty-ukrayiny-na-shlyakhu-do-povnoyi-tsifrovizatsiyi-intehratsiya-mytnytsi-ta-port-community-system/>
7. <https://www.rbc.ua/ukr/news/ukrayini-pochnut-zapuskati-5g-ke-misto-pidklyuchat-1747416090.html>
8. <https://www.gsma.com/5ghub/5gsea>
9. Мурад'ян А.О., Демидюков О.В. Особливості розвитку морських портів в умовах цифрових трансформацій: закордонний досвід. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 33(72). № 6. 2022. 247-252. URL: https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2022/6_2022/40.pdf.
10. https://www.yachting.com/uk-ua/news/what-is-ais-and-how-it-works?srsId=AfmBOOpRB6VPa3m881ccIk4H8FjSOWFNzW_9c3nTSpIBNdm-aVevie
11. https://hydro.gov.ua/?page_id=668
12. <https://www.sternula.com/vdes-ais-2-0/>
13. Пунченко Н.О., Цира О.В., Технологічний розвиток судноплавства, систем швартування судноплавства майбутнього, монографія./ Н.О. Пунченко, О.В.Цира // Iowa State University Digital Press, Editor-in-Chief Kotlyk S. 2022 DOI <https://doi.org/10.31274/isudp.2022.121> ISBN 978-617-7867-37-0 (Print) ISBN 978-1-958291-01-6 (e-book). Стр. 220 – 291.

УДК 519.872

*Уривський Л.О.
д.т.н., професор
КПІ ім. Ігоря Сікорського
leonid_uic@ukr.net*

*Козогор А. В.
Магістрант ІТС
КПІ ім. Ігоря Сікорського
kosogoranastasia@gmail.com*

ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ РОЗРАХУНКУ ЙМОВІРНОСТІ БІТОВОЇ ПОМИЛКИ ДЛЯ РІЗНИХ МОДУЛЯЦІЙ У КАНАЛІ ЗВ'ЯЗКУ ЗА УМОВ ЗМІННОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Анотація. У статті проведено аналіз залежностей ймовірності біткової помилки (BER) від співвідношення сигнал/шум (SNR) для чотирьох типів модуляції — BPSK, QPSK, 16-QAM та 64-QAM — у цифрових каналах зв'язку. Розрахунки виконано з використанням аналітичних формул, запропонованих Дж. Прокісом, К. Чо і Д. Юном, Л. Фінком та Л. Кантором. Особливу увагу приділено порівнянню точності моделей BER у діапазоні низьких значень SNR, де спостерігаються суттєві відмінності між результатами. Встановлено, що модель Чо і Юна забезпечує кращу відповідність фізичній сумі процесів за умов слабого сигналу, тоді як формули Прокіса схильні до переоцінки ймовірності помилки. Отримані результати дозволяють обґрунтувати вибір моделі BER при моделюванні та оптимізації телекомунікаційних систем з урахуванням умов завад та енергетичних обмежень.

Сучасні телекомунікаційні системи функціонують в умовах постійно зростаючих вимог до якості передачі інформації, зокрема - до зниження ймовірності помилок, забезпечення стабільної пропускну здатності та адаптації до нестабільного середовища передачі. Одним із ключових факторів, що впливають на надійність інформаційного обміну, є змінна енергетика сигналу в каналі зв'язку - тобто непостійне відношення сигнал/шум (SNR), яке є типовим, наприклад, для мобільного, супутникового чи бездротового зв'язку.

За останні десятиліття цифрові комунікації вступили в фазу бурхливого розвитку, яка активно продовжується і в теперішній час. Використання сигнально-кодових конструкцій (СКК) дозволяє найбільш ефективно використовувати ресурси каналу, адже одночасно можливо отримати вигравш як з енергетичної, так частотної ефективності або, у всякому разі, отримати вигравш по одному показнику, не погіршуючи інший.

Важливим інструментом вибору оптимальних варіантів СКК в каналах із різноманітними параметрами є оцінка ймовірності біткової помилки (BER), яка допомагає обрати спосіб маніпуляції та спосіб кодування для досягнення потрібних показників якості передавання інформації. Для поширених видів маніпуляції, зокрема, для квадратурної амплітудної модуляції (QAM) показник BER традиційно визначається шляхом розрахунку ймовірності помилки за допомогою відомих аналітичних залежностей наведених у Таблиці 1.

Попри високу точність аналітичних виразів при високому відношенні сигнал-шум h^2 , їх застосування при низьких значеннях h^2 може призводити до значних відхилень від точних значень BER.

У даній роботі проведено аналіз залежностей ймовірності біткової помилки від співвідношення сигнал/шум для чотирьох поширених видів модуляції: BPSK, QPSK, 16-QAM та 64-QAM. Розрахунки виконано з використанням формул, запропонованих Дж. Прокісом, К. Чо і Д. Юном, Л. Кантором та Л. Фінком. Оцінювання проводилося у широкому діапазоні значень SNR, зокрема в області низької енергетики, де традиційні моделі демонструють найбільші розбіжності.

Метою дослідження є з'ясування впливу вибору математичної моделі на точність розрахунку BER в умовах змінної енергетики каналу та різних модуляційних схем, а також

визначення доцільності використання тих чи інших формул у практичних завданнях телекомунікацій.

Для розрахунку зазначених показників використовуватимуться наступні формули:

Таблиця 1 – Формули для виконання розрахунків

Автор	Формула для BPSK/QPSK	Формула для QAM-M
Дж. Прокіс	$P_{b\ QPSK} = \frac{1}{2} \left[1 - F \left(\sqrt{2h^2 \cos \frac{\pi}{4}} \right) \right]$	$P_{b\ QAM} = \frac{4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right)}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{3}{\sqrt{M-1}} - h^2}^{\infty} \exp \left(\frac{-u^2}{2} \right) du$
К. Чо і Д. Юн	-	$P_{b\ M-QAM} \approx \frac{\sqrt{M-1}}{\sqrt{M} \log_2 \sqrt{M}} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M \cdot h^2}{2(M-1)}} \right) + \frac{\sqrt{M-2}}{\sqrt{M} \log_2 \sqrt{M}} \operatorname{erfc} \left(3 \sqrt{\frac{3 \log_2 M \cdot h^2}{2(M-1)}} \right)$
Л. Кантор	$P_{b\ M-PSK} \approx \frac{2}{M} F \left(\sqrt{h^2 \sin \frac{\pi}{2M}} \right)$	-
Л. Фінк	$P_{b\ M-PSK} = 1 - F \left(\sqrt{2h^2 \sin \frac{\pi}{M}} \right)$	-

Для доведення різниці у результатах в залежності від використаної формули для визначення ймовірності бітової помилки нижче будуть закріплені графіки залежності ймовірності бітової помилки від співвідношення сигнал/шум в умовах модуляцій BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64.

Для розрахунку значення BER було використано програмне забезпечення “Matlab” та ПЗ “Excel” для розрахунку формул для отриманих значень та побудови і дослідження графіків. На побудованих графіках залежностей (Рисунок 1 та Рисунок 2) можна побачити закономірність зростання значень SNR в залежності від виду модуляції - відповідно, чим більша позиційність модуляції, тим більші показники. Задля зручності аналізу було обрано фіксовані значення BER: 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} та 10^{-6} , для яких обчислювали відповідні значення SNR згідно з кожною з моделей. Крім того, для всіх модуляцій будувалися графіки залежності BER від SNR, що дозволило наочно порівняти точність та поведінку моделей у різних енергетичних умовах.

Особливу увагу приділено області низьких значень SNR (0–10 дБ), оскільки саме в цій області більшість аналітичних моделей демонструють найбільші розбіжності через різні припущення, закладені в математичні вирази.

Значення ймовірності бітової помилки, що використовувалися для дослідження, а також розраховані відповідні значення співвідношення сигнал/шум для кожного типу модуляції наведено в Таблиці 2. Це дозволяє простежити, як змінюється енергетична вимога для забезпечення однакової якості передавання (BER) залежно від складності модуляційної схеми. Очевидним є той факт, що зі збільшенням кількості позицій у сигнальному просторі, необхідне значення SNR зростає.

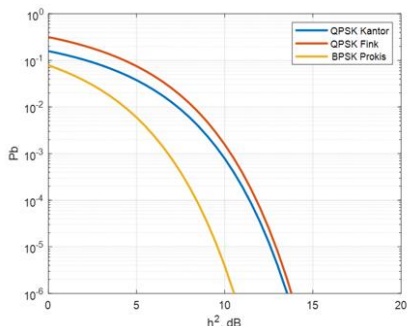


Рисунок 1 – Графік залежності ймовірності бітових помилок від SNR для сигналів бінарної BPSK та квадратурної QPSK маніпуляцій

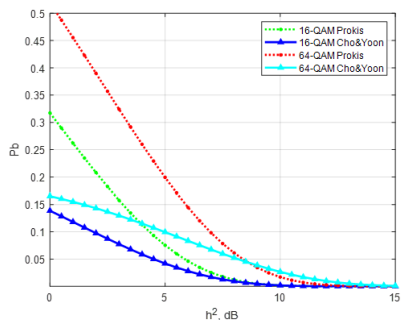


Рисунок 2 – Графік залежності ймовірності бітових помилок від SNR для багатопозиційних сигналів QAM-16 та QAM-64



Рисунок 3 – Номограма залежності ймовірності бітової помилки від SNR в дБ

Таблиця 2 – Отримані значення h^2 для кожного різновиду модуляції у випадку, якщо відома ймовірність бітової помилки

BER	BPSK	QPSK	QAM-16	QAM-64
10^{-2}	2,7378	5,4756	6,17	15,85
10^{-3}	4,805	9,61	11,22	30,2
10^{-4}	6,845	13,69	16,6	44,67
10^{-5}	8,82	17,64	22,39	60,26
10^{-6}	10,125	20,25	27,54	75,86

Загалом критерії завадостійкості сигналів бінарної та квадратурної маніпуляції визначались за формулами Дж. Прокіса, Л. Фінка та Л. Кантора, проте, наскільки ми можемо спостерігати за графіком на Рисунку 1, найбільш доствірними є результати від формули запропонованої Л. Фінком.

Залежності, які наведено на Рисунку 2 демонструють, що, за умов низької енергетики ($h^2 < 8-10$ дБ) формули Дж. Прокіса [1], використання яких дуже поширено в сучасних дослідженнях завадостійкості каналів з багатопозиційною маніпуляцією, не забезпечують достатньої точності.

При модуляції QAM-16 для $h^2 > 8$ дБ графічні залежності, отримані за виразами Дж. Прокіса і К. Чо та Д. Юна майже ідентичні. Одночасно, при $h^2 \sim 0$ ймовірність помилки за методикою Прокіса становить близько 0.32, тоді як у К. Чо і Д. Юна вона близько 0.14. Для випадку модуляції QAM-64 ситуація аналогічна, для $h^2 > 9$ дБ графічні залежності, результати майже ідентичні, але при менших значеннях h^2 результати суттєво різняться: ймовірність помилки за формулою Дж. Прокіса для QAM-M при $h^2 \sim 0$ перевищує 0.5 (що не відповідає фізичному змісту цієї помилки), а метод Cho & Yoon надає результат, близький до 0.17.

Отже, модель К. Чо і Д. Юн демонструє кращу точність при малих значеннях $h^2 < 8$ -10 дБ. При високих значеннях $h^2 > 8$ -9 дБ графіки завадостійкості сходяться, що означає, що для високої енергетики різниця між методами менш значуща.

Методика Дж. Прокіса дає перевищену оцінку ймовірності помилки на низьких значеннях h^2 , що означає знижену точність для низької енергетики.

Натомість модель К. Чо і Д. Юн є більш точною та стабільною в усьому діапазоні значень h^2 .

Висновки

Порівняння результатів різних методів оцінки бітової помилки свідчить про переваги та обмеження кожного з підходів. Аналітичні вирази є швидшими у реалізації і більш надійними для високих співвідношень сигнал/шум, але потребують корекції або розширення у разі низької енергетики чи нестандартних умов передачі. Зокрема, аналіз показав, що для модуляцій з високою позиційністю (QAM-16, QAM-64) формули Дж. Прокіса можуть суттєво переоцінювати значення ймовірності помилки при низьких значеннях SNR, що не відповідає фізичному змісту процесів у каналі зв'язку.

Натомість модель, запропонована К. Чо і Д. Юном, демонструє стабільні та точні результати як в області низької енергетики, так і при високих значеннях SNR. При цьому на високих рівнях сигналу всі методи дають схожі оцінки, а отже, відмінності між ними менш значущі. Це дозволяє зробити висновок, що точність визначення BER значною мірою залежить не лише від типу модуляції, а й від адекватності використаної математичної моделі до умов передачі.

Отримані результати доцільно враховувати при моделюванні та оптимізації цифрових систем зв'язку, особливо в умовах мобільного, супутникового чи бездротового середовища, де рівень шуму може динамічно змінюватися. Перспективним напрямом подальших досліджень є побудова адаптивних моделей розрахунку BER, які комбінують точність різних аналітичних підходів залежно від діапазону SNR. Такий гібридний підхід дозволить підвищити достовірність розрахунків без значного зростання обчислювальних витрат.

Література

1. Proakis, John G. Digital Communications. 4th ed. - New York: McGraw Hill, 2001.
2. Fink L. M. Discrete message transmission theory. - 1970. - 728 p.
3. Cho, K, and D. Yoon. "On the general BER expression of one- and two-dimensional amplitude modulations," IEEE Transactions on Communications, vol. 50, no. 7 (July 2002): 1074-1080. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2002.800818>.
4. Уривський Л.О., Шмігель Б.О. Визначення завадостійкості СКК в умовах низької енергетики. / К.: ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського, XV Міжнародна НТК «Перспективи

телекомунікацій», /Збірник матеріалів. - 2021, с.53...55.
<https://its.kpi.ua/sites/default/files/NDI%20TK%202021/Конференція%20ПТ/Збірники%20ПТ/Збірник%20матеріалів%20конференції%20ПТ%202021%20ISSN%20p.pdf>

5. Уривський Л. О., Прокопенко К. А., Наталенко А. І. Векторно-фазовий метод для визначення показників завадостійкості багатопозиційних сигналів. — Зв'язок, № 12, 2012. - с.58...63.

6. Uryvsky L., Moshynska A., Qsypshuk S., Shmihel B. Comparison of methods for determining noise immunity indicators of a multiservice transmission system. / Advances in Information and Communication Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 560. / monograph. - Springer, Cham, p.p. 167...185. (2019) https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-16770-7_8

УДК 519.872

Уривський Л.О.
д.т.н., професор
КПІ ім. Ігоря Сікорського
leonid_uic@ukr.net

Скоlecь А. В.
Магістр ІТС
КПІ ім. Ігоря Сікорського
krikliyanastya@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ QOS У СМО З УРАХУВАННЯМ САМОПОДІБНОГО ТРАФІКА: ПІДХІД НА ОСНОВІ РОЗПОДІЛУ ВЕЙБУЛЛА

Анотація. Досліджено вплив властивості самоподібності трафіка на якісні показники функціонування систем масового обслуговування (СМО). Побудовано математичну модель одноканальної СМО $M/M/1/\infty$ з найпростішим потоком та узагальнено її на випадок вхідного потоку, описаного розподілом Вейбулла, що репрезентує самоподібність (параметр Херста $H=0,6-0,8$). Порівняльний аналіз середнього часу очікування, часу перебування заявки в системі, довжини черги та кількості заявок показав збільшення цих величин у 2-8 разів при $H \rightarrow 0,8$ порівняно з пуассонівською моделлю, що доводить необхідність урахування самоподібності при проектуванні сучасних телекомунікаційних мереж.

Результати численних емпіричних досліджень показали, що інтернет-трафік має властивість самоподібності, яка проявляється у вигляді довготривалої кореляції між подіями, а також наявності важкого хвоста у розподілі інтервалів між заявками. Така поведінка відрізняється від традиційних моделей, які базуються на припущенні про найпростіший (пуассонівський) потік. Ігнорування цієї властивості призводить до значних похибок при розрахунках характеристик систем масового обслуговування. У даній роботі досліджено вплив самоподібності на СМО шляхом використання Вейбуллівського розподілу, що наближує статистичні властивості реального інтернет-трафіку.

Метою є кількісна оцінка розбіжностей між показниками СМО з пуассонівським та самоподібним (Вейбуллівським) вхідним потоком і формулювання практичних рекомендацій.

У класичній теорії СМО, зокрема в моделі $M/M/1$, використовується припущення про незалежність подій та експоненційний розподіл часу між надходженням заявок і їх