

# Інфокомунікаційні системи

УДК 656.052.46

В.В. Босько<sup>1</sup>, І.А. Березюк<sup>1</sup>, С.Г. Семенов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград

<sup>2</sup>Національний технічний університет "ХПІ", Харків

## РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДЖЕРЕЛ ПОМИЛОК В СЕГМЕНТІ МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

Поставлені завдання моделювання джерел перешкод в мобільних телекомунікаційних системах. Визначено аналітичний вираз для розрахунку імовірності помилки на біт в системах з кодовим розділенням каналів за умови впливу адитивного гаусового шуму і інтерференції інформаційних пакетів. Досліджені залежності імовірності помилки на біт від різних параметрів системи. Побудований граф переходів процесу передачі даних по його станах і складена відповідна графу система диференціальних рівнянь Колмогорова.

**Ключові слова:** імовірність появи помилок, кодування інформації, мобільний зв'язок, помилки в каналі зв'язку.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Останнім часом відмічається підвищений інтерес до інформаційних технологій практично у всіх галузях науки і техніки. Цьому сприяв розвиток комп'ютерної техніки і прагнення її все більшого використання з метою автоматизації процесів і ухвалення рішень в складних умовах. Багато в чому такий напрям розвитку науковій думці визначив широке використання математичних моделей, вихідними передумовами для яких завжди була доступна апріорна інформація. Проте застосування відомих процедур аналізу і їх модифікацій не завжди приводило до здобуття ефективного рішення через відсутність адаптивних модулів, що дозволяють враховувати особливості впливу зовнішніх чинників (перешкод) на функціонування складних систем типу «об'єкт + середовище». Особливо важливим це завдання представляється для динамічних мобільних систем зв'язку. Тому моделювання джерел перешкод в таких складних динамічних системах залишається актуальним науковим завданням.

**Аналіз літератури** [1 – 4] показав, що апріорні знання статистики перешкод в телекомунікаційних системах дозволяє рахувати імовірність помилки на елемент, кодову комбінацію, що складається з декількох кодових комбінацій. Найпростіше розрахунки виконуються для каналів зв'язку, в яких помилки можна вважати незалежними. Проте, як показали дослідження [3, 5], помилки в каналах групуються, і для їх математичного моделювання, а так само розрахунків з їх використанням потрібні складні математичні вирази. У цій ситуації настає протиріччя, коли з одного боку, до математичних моделей пред'являється вимога точного опису статистики помилки, з іншого боку – прийнятна складність математичного опису.

**Метою статті** є розробка математичної моделі джерел помилок (перешкод) в сегменті мобільної мережі зв'язку і дослідження залежності основних показників достовірності від окремих технічних характеристик.

### Основна частина

Для моделі джерела помилок, що передбачає незалежність їх появи, досить задати один параметр – імовірності помилки на елемент  $p_0$ , що дозволяє розрахувати імовірність появи помилок кратності  $n$  в елементній кодовій комбінації:

$$P_m(n) = C_m^n p_0^n (1 - p_0)^{m-n}. \quad (1)$$

Маючи інформацію про  $P_m(n)$  можна, наприклад, вибрати код, що забезпечує оптимальні показники достовірності, визначити оптимальну швидкість передачі інформації в телекомунікаційних системах із зворотним зв'язком і ін.

Не дивлячись на те, що лише деякі канали можуть бути віднесені до каналів без пам'яті, використання моделі (1) доцільне не лише для приблизних розрахунків. Це пояснюється тим, що в більшості телекомунікаційних систем використовується перемежіння. Це дозволяє зробити у ряді випадків помилки в кодовій комбінації практично незалежними. З [2, 3] відомо, що імовірність помилки на елемент  $p_0$  залежить від відношення сигнал/шум:

$$h^2 = U^2 \tau_0 / (2v^2), \quad (2)$$

де  $U$  - амплітуда сигналу;  $\tau_0$  - тривалість одиничного елементу;  $v$  - спектральна щільність шуму.

Для систем з кодовим розділенням каналів в умовах адитивного гаусового шуму і інтерференції інформаційних пакетів вираз для розрахунку імовірності помилки на біт виглядає таким чином [2, 3]:

$$P_0 = (2/3) \cdot \left( (N/(3N_c) + 2E_c/N_0)^{-0,5} \right) + (Q/6) \cdot \left( \left( (N/(3N_c) + \sqrt{3}\sigma) / N_c^2 + 2E_c/N_0 \right)^{-0,5} \right) + (Q/6) \cdot \left( \left( (N/(3N_c) - \sqrt{3}\sigma) / N_c^2 + 2E_c/N_0 \right)^{-0,5} \right), \quad (3)$$

де  $Q = (2\sqrt{2\pi})^{-1} \int_0^\infty -U^2/2 du$ ;  $N_c$  - число чипів, що

використовуються для кодування одного інформаційного біту (коефіцієнт розширення спектру);  $E_c$  – енергія сигналу;  $N$  – число станцій, використовуваних в процесі інформаційного обміну;  $N_0/2$  – двостороння спектральна щільність адитивного гаусового шуму

$$\sigma^2 = k \left( N_c \frac{23}{360} + N_c \left( \frac{1}{20} + \frac{k-1}{36} \right) - \frac{1}{20} - \frac{k-1}{36} \right), \quad k -$$

число пакетів, що інтерферують. На рис. 1. представлені залежності імовірності помилки від числа  $N$  станцій, використовуваних в процесі інформаційного обміну в умовах, коли число чипів  $N_c = 150$ , число інтерферованих пакетів  $k=200$ . Параметром сімейства кривих є відношення сигнал/шум  $h$ .

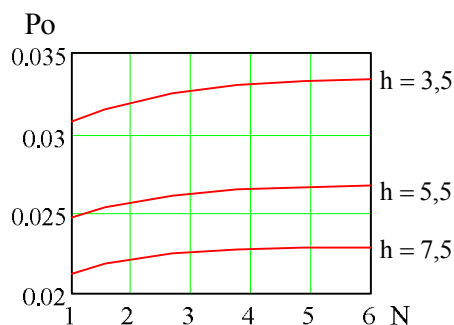


Рис. 1. Залежності імовірності помилки від числа  $N$  станцій, що використовуються в процесі інформаційного обміну

З рис. 1 видно, що збільшення числа  $N$  станцій, що використовуються в процесі інформаційного обміну наводить до незначного зростання імовірності  $P_o$  помилки на біт (збільшення  $N$  в 6 разів привело до збільшення  $P_o$  в 1,1 разу). В той же час збільшення відношення  $h$  сигнал/шум в 2 рази привело до зменшення імовірності помилки на біт в 1,7 разу. Проаналізуємо залежність імовірності  $P_o$  від числа чипів  $N_c$ , що використовуються для кодування одного біта інформації (коефіцієнта розширення спектру).

На рис. 2 представлена залежність  $P_o$  від  $N_c$  в умовах, коли число інтерферованих пакетів  $k=200$ , та відношення сигнал/шум  $h=3,5$ . Параметром сімейства кривих є число  $N$  станцій, що використовуються в процесі інформаційного обміну. З рис. 2 видно, що збільшення числа  $N_c$  чипів, використовуваних для кодування одного біта інформації спричиняє за собою незначне зменшення імовірності  $P_o$  (збільшення  $N_c$  в 6 разів наводить до зменшення  $P_o$  всього в 1,1 разу).

Отримані результати розрахунків можуть бути використані при моделюванні джерела поміх в телекомунікаційних мережах мобільного зв'язку. Дослідження показали, що залежно від структури соти, розбиття її на окремі сектори, і розподілу  $N$  активних станцій передачі даних по частотних смугах, застосовуються різні варіанти розрахунку величини  $h$  - відношення сигнал/шум. У даній моделі викори-

стані оцінки  $h$ , отримані в [4] для сектора в 3600. При цьому як допущення можна висунути гіпотезу про експоненціальне зменшення енергії сигналу, що приймається, залежно від відстані.

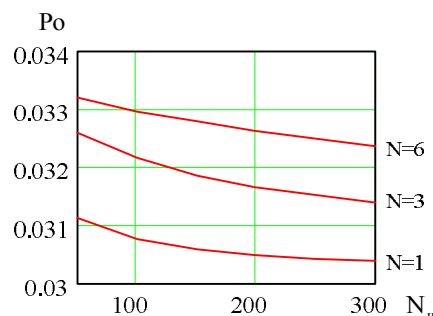


Рис. 2. Залежність імовірності  $P_o$  від  $N_c$  числа чипів, що використовуються для кодування одного біта інформації

На рис. 3 представлені результати розрахунків і залежності величини  $h$  від числа мобільних станцій в секторі  $N_c$  за умови, що відношення енергії сигналу до спектральної щільності адитивного гаусового шуму  $E_c/N_0 = 25$  дБ.

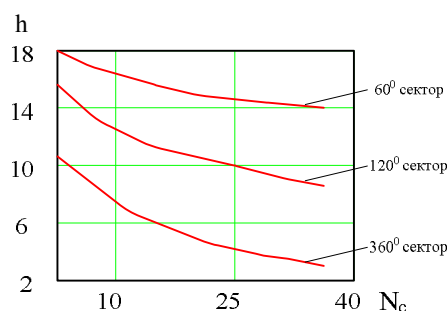


Рис. 3. Залежність величини  $h$  від числа мобільних станцій в секторі  $N_c$

Як видно з рис. 3, збільшення числа мобільних станцій в секторі  $N_c$  до 7 разів зводить до зменшення відношення сигнал/шум до 12 разів.

В той же час збільшення сектора в соте мобільної телекомунікаційної мережі до 6 разів зводить до зменшення величини  $h$  до 4,5 разу.

Поведінку розглянутої вище системи можна описати марківським процесом з інтенсивностями переходів  $\lambda(t)$  і кінцевим числом станів. Хай множина  $\mathcal{R}^\lambda = \{s_i^\lambda\}$  є простором станів процесу передачі інформації абонентом. Його елементи називатимемо елементарними станами досліджуваної системи. Як елементарний стан може бути визначений багатовимірний вектор  $\mathcal{S}^\lambda$ , розмірність якого пропорційна числу мобільних станцій, що передають дані, і елементами якого є: число пакетів в буферах мобільних станцій, номери біт пакетів мобільних станцій, що приймаються базовою станцією, індикатори правильності прийому кожного біта, що приймається, від кожної мобільної станції, і так далі В

цьому випадку потужність  $|\mathfrak{R}^\lambda|$  елементарних станів простору  $\mathfrak{R}^\lambda$  має степеневу залежність від числа  $N$  мобільних станцій. Знайти аналітичне рішення рівняння рівноваги процесу передачі даних, визначеного даним чином, не представляється можливим, а чисельне рішення його рівняння рівноваги також скрутно із-за величезної розмірності  $\mathfrak{R}^\lambda$  і із-за різномасштабних значень інтенсивностей переходу цього процесу  $\lambda(t)$  між його станами.

Для рішення цього завдання був використаний принцип декомпозиції досліджуваного фрагмента телекомунікаційної системи. Як метод декомпозиції була використана декомпозиція процесу функціонування досліджуваної системи по її агрегованих станах. В якості таких станів було вибрано наступну множину з  $(N+1)$  станів  $\bar{\mathfrak{R}} = \{\bar{\mathfrak{S}}_n, n = 0, N\}$ , де агрегований стан  $\bar{\mathfrak{S}}_n = \{\mathfrak{S}_i^\lambda, \mathfrak{S}_i^\lambda \in \mathfrak{R}^\lambda\} = N$ , визначається підмножиною простору станів  $\mathfrak{R}^\lambda$  процесу  $\lambda(t)$  таких станів, при перебуванні в яких  $N$  мобільних станцій в модельованій системі одночасно ведуть передачу своїх даних.

При настанні події мобільна система зв'язку переходить з одного агрегованого стану в інше. Агрегований стан  $\bar{\mathfrak{S}}_n, n = 0, N$ , визначається як множина всіх елементарних станів системи, при яких  $n$  каналів є зайнятими. В процесі свого функціонування система переходить з агрегованого стану  $\bar{\mathfrak{S}}_n$ , в агрегований стан  $\bar{\mathfrak{S}}_{n+1}, n = 0, N-1$ , або з агрегованого стану  $\bar{\mathfrak{S}}_n$  в агрегованих стан  $\bar{\mathfrak{S}}_{n-1}, n = 0, N$ . На рис. 4 приведена діаграма переходів процесу передачі даних по його станах.

Використовуючи граф переходів процесу, складемо систему диференціальних рівнянь Колмогорова. Оскільки гранична імовірність системи постійна, то, замінивши в диференціальних рівняннях Колмогорова відповідні похідні нульовими значеннями, отримаємо систему лінійних рівнянь алгебри, що описують стаціонарний режим системи масового обслуговування.

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИСТОЧНИКОВ ОШИБОК В СЕГМЕНТЕ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ СВЯЗИ**

В.В. Босько, И.А. Березюк, С.Г. Семенов

*Поставлены задания моделирования источников препятствий в мобильных телекоммуникационных системах. Определено аналитическое выражение для расчета вероятности ошибки на бит в системах с кодовым разделением каналов при условии влияния аддитивного гаусового шума и интерференции информационных пакетов. Построен граф переходов процесса передачи данные по его состояниям и составлена соответствующая графу система дифференциальных уравнений Колмогорова.*

**Ключевые слова:** вероятность появления ошибок, кодировки информации, мобильная связь, ошибки в канале связи.

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF CONCEPTUAL MODEL OF SOURCES OF ERRORS IN SEGMENT OF MOBILE COMMUNICATION NETWORK**

V.V. Bosko, I.A. Berezyuk, S.G. Semenov

*The tasks of design of sources of obstacles are put in the mobile telecommunication systems. Certainly analytical expression for the calculation of probability of error on a bit in the systems with the code demultiplexing on condition of influence of адитивного гаусового шума and interference of informative packages the count of transitions of process is Built transmissions given on his states and the proper a count system of differential equalizations of Kolmogorova is made.*

**Keywords:** probability of appearance of errors, code of information, mobile communication, error in the channel of connection.

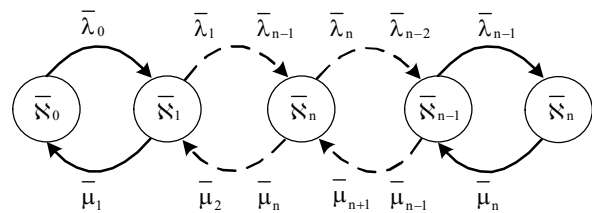


Рис. 4. Граф переходів процесу передачі даних по його станах:

$$\sum_{n=0}^N \bar{\lambda}_n = 1; -\bar{\lambda}_0 p_0 + \bar{\mu}_1 p_1 = 0, \bar{\lambda}_{n-1} p_{n-1} - \bar{\mu}_n p_n = 0; -\bar{\lambda}_{n-1} p_{n-1} - (\bar{\lambda}_n + \bar{\mu}_n) p_n + \bar{\mu}_{n+1} p_{n+1} = 0.$$

**Висновок**

Запропонований підхід до моделювання і розроблена модель дозволяє застосувати широкий спектр алгоритмів управління процесом передачі даних в телекомунікаційних мережах мобільного зв'язку і оцінити імовірнісно-часові характеристики залежно від вхідних параметрів системи.

**Литература**

1. Башарин Г.П. Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчета / Г.П. Башарин, Г.П. Бочаров, Я.А. Коган. – М.: Наука, 1989. – 336 с.
2. Величко В.В. Передача данных в сетях мобильной связи третьего поколения / В.В. Величко. – М.: Радио и связь, Горячая линия-Телеком, 2005. – 332 с.
3. Городецкий А.Я. Информационные системы. Вероятностные модели и статистические решения. Учебн. пособие / А.Я.Городецкий СПб: Изд-во СПбГПУ, 2003. 326 с.
4. Карабутов Н.Н. Структурная идентификация систем: анализ динамических структур / Н.Н.Карабутов. – М.: МГИУ, 2008. – 160 с.
5. Mayer T. Co-channel interference reduction on the forward channel of a wideband CDMA cellular system / T. Mayer, C. Robertson, T. Ha. – Proc. IEEE MILCOM, 1999, pp. 785-790, October 1999.

Надійшла до редколегії 15.02.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків.