

УДК 621.391:621.396.6.001.57

DOI: 10.31673/2412-9070.2022.0304346

Н. В. РУДЕНКО, канд. техн. наук, доцент;

О. І. ГОВОРУН, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В СУЧАСНИХ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

*Розглянуто системи передавання інформації в сучасних мобільних мережах. Головним завданням будь-якої системи передавання інформації є боротьба з різноманітними завадами. Тому постала потреба в розробленні адаптивних систем передавання даних, в яких адаптивні методи допомагають досягти якісного керування за відсутності достатньо повної апіорної інформації про характеристики керованого процесу або за умов невизначеності. Дослідження проводились на імітаційній моделі системи передавання даних, побудованої на основі двійкової симетрії. Пропонована адаптивна система базується на оцінюванні стану каналу передавання даних, відповідно до якого вибирається бітова швидкість переданих даних і параметри завадостійкого коду, що забезпечує певний рівень помилок на приймальному боці з урахуванням обмеженої пропускної здатності каналу зв'язку. Результати імітаційного моделювання свідчать про правильність запропонованого вирішення та дають змогу оцінити основні параметри систем передавання інформації в сучасних мобільних мережах.*

**Ключові слова:** телекомунікаційні мережі; імітаційне комп'ютерне моделювання; передавання даних; мобільні мережі; завадостійкість; пропускна здатність.

### Вступ

Сьогодні існує велика різноманітність варіантів побудови каналів передавання інформації в мобільних мережах. Одним із важливих завдань систем передавання інформації є боротьба з різними видами завад, найпоширенішим з яких є адитивний білий шум Гаусса, що утворюється, зокрема, різними електронними компонентами, такими як резистори та напівпровідникові прилади. Інші джерела завад можуть виникати поза системою, наприклад тимчасові завади від інших користувачів каналу зв'язку (якщо шум та інші завади охоплюють той самий діапазон частот, що й бажаний сигнал).

Іншим типом впливу, який заважає і виникає в інформаційному каналі передавання даних, є послаблення сигналу, спотворення фази й амплітуди сигналу, а також спотворення, зумовлені багатопроменевими хвилями, що поширюються. Усі ці види завад призводять до того, що надійність інформаційно-вимірювальної системи знижується через спотворення або втрату інформації, що передається по каналах зв'язку [1].

Різні спроби підвищити надійність каналів передавання даних спричинює подальше ускладнення інформаційно-вимірювальних систем. Отже, система передавання даних стає все більш універсальним середовищем для передавання різного роду інформації, наприклад вимірювальної. Водночас зростання рівня універсальності зумовлює посилення вимог до такої системи, тобто надійність системи має істотно підвищитися.

Варто зазначити, що сучасну тенденцію до ускладнення інформації можна розв'язати задачами та вимірювальними системами, а особливою

цієї складності слід вважати обмежену практичну можливість вивчення та опису деталей процесів, які відбуваються в об'єкті вимірювання, призводячи до розширення застосування адаптивних систем передавання даних. Із цього випливає основна особливість розвитку системи передавання інформації, яка полягає в потребі досягти якісного керування. Слід зауважити, що з ускладненням завдань, які ґрунтуються на інформаційно-вимірювальних системах, така невизначеність зростає, а отже, стає все важче заздалегідь визначити характер змін динамічних властивостей як самої системи, так і контрольованого процесу [2].

### Основна частина

Нині в адаптивних системах передавання знайшли досить ефективні шляхи подолання недоліків якості керування [3]. Отже, ефективність адаптації в адаптивних системах передавання може бути досягнута завдяки тому, що частина алгоритму отримання та оброблення відсутньої інформації про керований процес виконується самою системою під час її функціонування. Такий спосіб часткового передавання функції сприяє більш повному використанню робочої інформації в процесі формування керувальних впливів, а також дає змогу істотно знизити вплив невизначеності на якість контролю, певною мірою компенсуючи його відсутність.

Запропонована адаптивна система базується на оцінюванні стану каналу передавання даних, відповідно до якого добирається бітрейт даних, що передаються, і параметри завадостійкого коду, котрий гарантує задану ймовірність помилки на приймальному кінці, з урахуванням обмеженої

пропускної здатності каналу зв'язку. Якщо стан каналу зв'язку не дає змоги передавати дані з певним рівнем надійності, передаються лише найстаріші біти, а найновіші зберігаються в буфері та передаються пізніше.

Для моделювання в роботі було вибрано середовище Simulink, яке дає можливість будувати динамічні моделі різних типів систем [4]. У процесі передавання даних оцінюється стан каналу зв'язку і вибирається завадостійкий код із параметрами, що забезпечують задану ймовірність помилки з мінімальною надмірністю коду. Якщо стан каналу зв'язку погіршується настільки, що під час виконання заданої ймовірності передавання через канал зв'язку буде неможливе через наявне обмеження пропускної здатності, вибирається стійкий до завад код, який передаватиме номер менше бітів, ніж у вихідному інформаційному слові, але все одно досягне заданої ймовірності. Решта даних зберігається в «залишковому буфері», з якого дані будуть передаватися лише тоді, коли канал вільний для передавання даних із вищим пріоритетом або його стан не покращиться.

У статті наведено різні результати імітаційного моделювання системи передавання даних (рис. 1 – рис. 3). На графіках одне число відповідає 0,0145 с модельного часу. За основу вихідного повідомлення довільно вибрано аналоговий сигнал синусоїдної форми з амплітудою  $\lambda t$ , що дорівнює десяти, і частотою  $F$  2 Гц. Тривалість досліджуваного  $T$ -сигналу становить 5 с, що відповідає часу 350 ітерацій. Оскільки завади в каналі зв'язку є довільними, то можна припустити, що пропускної здатності каналу передавання даних буде недостатньо протягом усього розглянутого періоду для повного передавання всіх даних. Зважаючи на цю ситуацію, час симуляції було подвоєно, аби гарантовано передавати дані з буфера балансу.

Проаналізувавши результати дослідження, можна зазначити, що в момент модельного часу 1,929 с імовірність помилки в системі дорівнює  $P_{\text{пом.с}} = 0,3684$ . Інші параметри адаптивної системи в даний момент часу набувають таких значень:  $q = 16$ ,  $k = s = 26$ ,  $N = 511$ , імовірність помилки у двійковому симетричному каналі дорівнює  $P_{\text{пом.к}} = 0,5$ , а задана ймовірність системи  $P_3$  дорівнює нулю. Графік на рис. 1, 2 показує, що в розглядуваний момент спостерігається погіршення у двійковому симетричному каналі, тому відбувається зниження  $k$  до значення 19, тобто передаються тільки старші біти. Непередані частини даних із буфера залишків за цих умов починають передаватися тільки після 350-ї ітерації.

Далі (див. рис. 2) подано результати імітаційного моделювання системи передавання даних в інформаційно-вимірювальних системах з адаптацією до стану каналу зв'язку з такими заданими параметрами: перші 200 відліків  $P_{\text{пом.к}} = 0,5$ , далі йдуть 250 відліків  $P_{\text{пом.к}} = 0,3$ , при цьому задана ймовірність системи  $P_3$  дорівнює 0,3.

З рис. 2 випливає, що за період  $200 < t < 350$  яскраво виражених змін в поведінці системи не спостерігається, оскільки в цьому разі значення  $P_{\text{пом.к}}$  і  $P_3$  збігаються і дорівнюють 0,3.

Після цього наведемо (див. рис. 3) результати імітаційного моделювання системи передавання даних в інформаційно-вимірювальних системах з адаптацією до стану каналу зв'язку з такими параметрами: перші 100 відліків  $P_{\text{пом.к}} = 0,6$ , наступні 100 відліків  $P_{\text{пом.к}} = 0,1$  і останні 150 зразків  $P_{\text{пом.к}} = 0,3$ , а задана ймовірність системи  $P_3$  береться такою, що дорівнює 0,3.

Отже, з рис. 2 і 3 випливає, що розроблена імітаційна модель передавання даних ІВС забезпечує адаптацію до стану каналу зв'язку з різним рівнем завад у каналі.

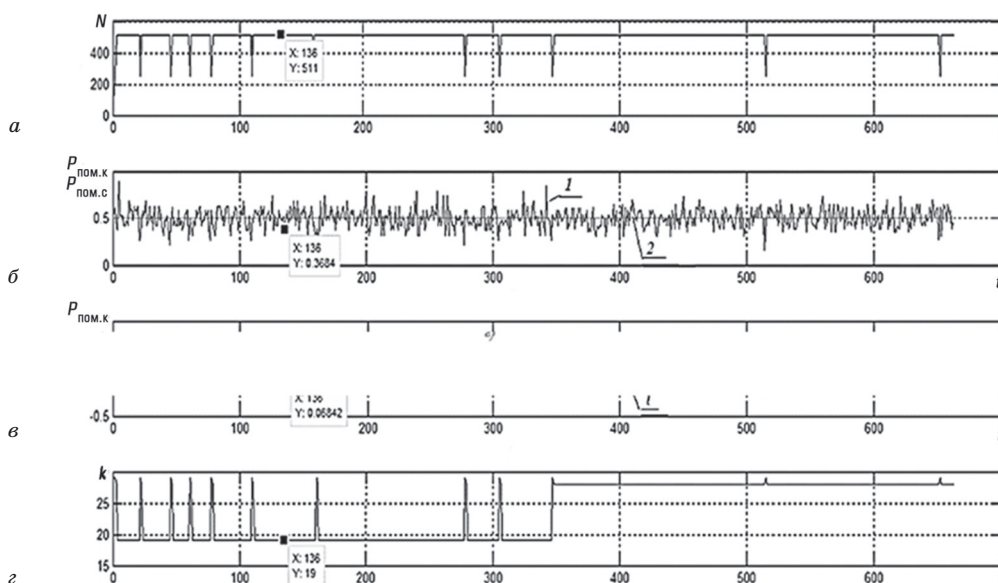


Рис. 1. Результати імітаційного моделювання

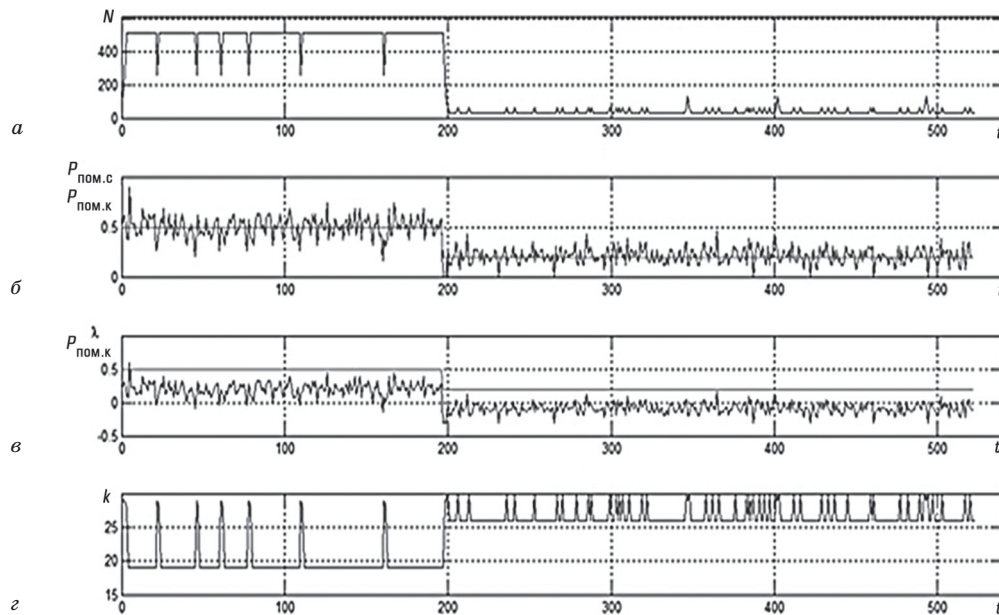


Рис. 2. Результати імітаційного моделювання з одноразовою стрибкоподібною зміною стану каналу зв'язку за час моделювання

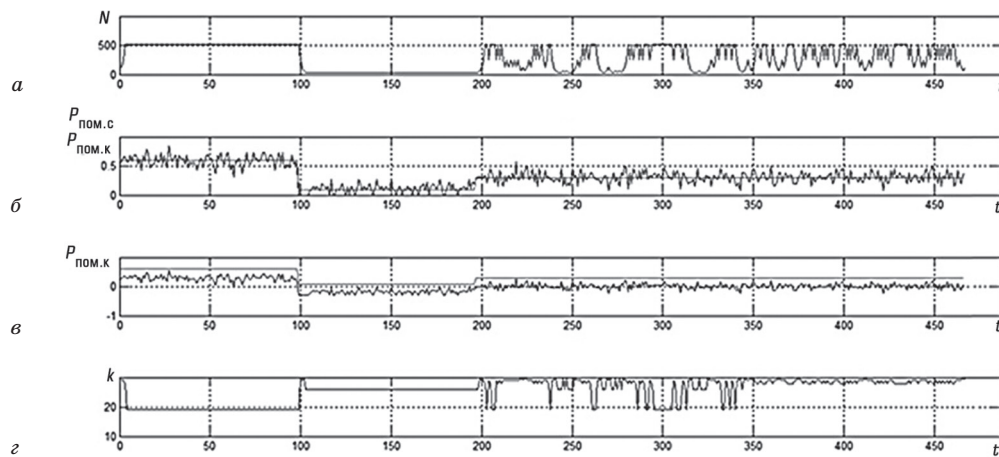


Рис. 3. Результати імітаційного моделювання в разі подвійної зміни стану каналу зв'язку

Графіки, отримані в процесі дослідження залежності кількості  $W$  неперенесених частин даних від імовірності помилки в каналі  $P_{\text{пом.к}}$  зображено на рис. 4.

Аналіз здобутих даних показує, що зі збільшенням  $P_{\text{пом.к}}$  кількість  $W$  неперенесених частин даних збільшується, і чим менше значення  $P_3$ , тим при менших значеннях  $P_{\text{пом.к}}$  починає відбуватися заповнення буфера залишку.

Також слід зазначити, що діапазон значень  $P_{\text{пом.к}}$ , при якому заповнюється буфер залишку і стабілізується максимальне значення  $Z$ , також безпосередньо залежить від значення  $P_3$ . Так, при  $P_3$ , що дорівнює 0,1, ширина цього діапазону становить приблизно 0,17, а для  $P_3 = 0,3$  ця величина збільшується майже вдвічі і досягає близько 0,36. Ці результати пояснюються тим, що з підвищенням рівня шуму в каналі передавання даних

виникає потреба перейти на більш потужні завадостійкі коди, завдяки яким досягається задана ймовірність помилки адаптивної системи передавання даних.

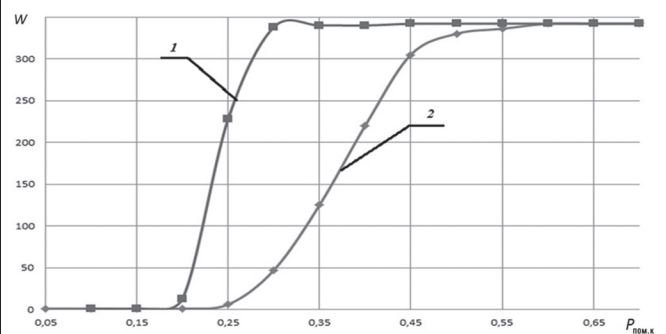


Рис. 4. Графіки залежності кількості  $W$  непереданих частин даних від  $P_{\text{пом.к}}$  (імовірність помилки в каналі зв'язку: 1 — при  $P_3 = 0,1$ ; 2 — для  $P_3 = 0,3$ )

**Висновок**

Отже, за результатами проведених експериментів можна дійти висновку, що запропонований спосіб адаптації до стану каналу зв'язку в системі передавання даних забезпечує необхідний рівень заданої надійності. Розроблена імітаційна модель дає змогу працювати з різними рівнями шуму в каналах зв'язку, причому виникнення помилки в каналі може бути як однорідним протягом передавання даних, так і випадковим.

Слід також зазначити, що розроблена модель передавання інформації з адаптацією до стану каналу зв'язку може знайти своє застосування в сучасних мережах мобільного зв'язку, телекомунікаційних та комп'ютерних системах із підвищеним рівнем вимог до якості інформації, що передається на низькій швидкості, оскільки запропоноване рішення не потребує складних розрахунків.

**Список використаної літератури**

1. Osipov N. A., Shavin A. S., Tarasov A. G. *Modeli kanalov peredachi informatsii avtomatizirovaniykh sistem podgotovki i puska raket kosmicheskogo naznacheniya v srede Simulink [Models channels transmission information the automated systems of preparation and launch space rockets in the Simulink environment]* // *Trudy MAI*, 2015. No. 83. P. 24–34.
2. Zhidkov I. A., Levenets A. V., Chye En Un. *Otsenka sostoyaniya kanala svyazi po rezul'tatam dekodirovaniya potekho-zashchishchennogo koda [Evaluation channel status communication on the results of decoding the noise immunity of the code]* // *Informatika i sistemy upravleniya – Information Science and Control Systems*. 2009. No. 3 (21). P. 72–78.
3. Шаруда В. Г. *Практикум з теорії автоматичного управління: навч. посіб.* Дніпропетровськ: Національна гірнича академія України, 2002. 414 с.
4. Шинкарук О. М., Правда В. І., Бойко Ю. М. *Приймання та оброблення сигналів: навч. посіб. для ВНЗ.* Хмельницький: ХНУ, 2013. 365 с.

N. V. Rudenko, O. I. Govorun

**MODELING OF INFORMATION TRANSMISSION SYSTEMS IN MODERN MOBILE TERMS**

*The work is dedicated to information transmission systems in modern mobile networks. The main task of any information transmission system is to combat various kinds of interference which lead to distortion or complete information loss and thus reduced communication channel reliability. Therefore, it became necessary to develop adaptive data transmission systems, in which adaptive methods help to achieve high-quality control in the absence of sufficiently complete a priori information about the characteristics of the controlled process or under conditions of uncertainty. The research was carried out on a simulation model of data transmission built on the basis of binary symmetry. The proposed adaptive system is based on the assessment of the state of the data transmission channel, according to which the bit rate of the transmitted data and the parameters of the noise-correcting code are selected, which provides a certain level of errors on the receiving side, taking into account the limited bandwidth of the communication channel. The developed simulation model of adaptation to the state of the communication channel demonstrates the required level of reliability and allows to work with different levels of noise in the communication channels, and the occurrence of an error in the channel can be either uniform during data transmission or random. The results of simulation modeling testify to the correctness of the proposed solution and allow the evaluation the main parameters of information transmission systems in mobile networks. The proposed model of information transmission with adaptation to the state of the communication channel may be applied in modern mobile networks, telecommunications and computer systems with an increased level of quality requirements for information transmitted at low speed, since the proposed solution does not require complex calculations.*

**Keywords:** telecommunication networks; simulation computer modeling; data transfer; mobile networks; noise immunity; throughput.