

**ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕНЕСЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У РІКАХ**

Вербіцький В.В., Юдіна С.М.

(v.verbitskyi@onu.edu.ua, svitlana.yudina@stud.onu.edu.ua)

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (Україна)

*Побудована скінченно-різницева апроксимація початково-крайової для рівняння адвекції-дисперсії щодо моделювання перенесення забруднюючих речовин у ріках. Доведено збіжність та стійкість скінченно-різницевої апроксимації. Проведено обчислювальні експерименти, в яких числові розв'язки початково-крайової задачі співпали з відомими аналітичними розв'язками.*

Перенесення забруднюючих речовин у природних дисперсних середовищах є складною проблемою та має низку актуальних застосувань, пов'язаних з питаннями захисту навколишнього середовища та з використанням природних ресурсів. Наразі розроблено велику кількість методів математичного моделювання процесів перенесення забруднюючих речовин у природних дисперсних середовищах [1-3]. У нашій роботі розглянуто рівняння адвекції-дисперсії переносу забруднюючих речовин у поверхневих та підземних водах у наступному вигляді

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + u \frac{\partial C}{\partial x} - \mu C + \gamma, \quad (1)$$

де  $C$  – концентрація забруднюючої речовини,  $R$  – коефіцієнт запізнення,  $D_x$  – коефіцієнт поздовжньої дисперсії,  $u$  – поздовжня швидкість,  $\mu$  – коефіцієнт розпаду забруднюючої речовини,  $t$  – час,  $x$  – поздовжня координата.

Для початково-крайової задачі рівняння адвекції-дисперсії (1) побудована явна скінченно-різницева апроксимація[4]. Доведена збіжність та встановлені умови стійкості побудованої апроксимації. Мовою пакету Octave створено програмний додаток чисельного розв'язання початково-крайової задачі рівняння адвекції-дисперсії (1) за побудованою скінченно-різницевою апроксимацією. Проведено обчислювальні експерименти, в яких числові розв'язки початково-крайової задачі співпали з відомими аналітичними розв'язками. Таким чином, програмний додаток дозволяє будувати чисельні рішення, які можна використовувати для прогнозування руху шлейфів забруднюючих речовин та відновлювальних механізмів у річках та ґрунтових водах.

**Список використаної літератури**

- [1] Kundas S. P., Gishkeluk I. A. [et al.] Mathematical modeling of the processes of transfer of matter and soil moisture / Environmental Bulletin. 2007. No. 1. P. 62-72.
- [2] Fry V. A., Source John. D. and Gunter R. B., Analytical solutions of the transport equation of the solute with limited desorption rate and decay / Water Resources Research, 29(9), 1993, 3201-3208.
- [3] Logan J. Transport modeling in hydrogeochemical systems / Springer, New York. 2001. 226 p.
- [4] Knabner P., Angermann L. Numerical Methods for Elliptic and Parabolic Partial Differential Equations / Springer-Verlag, New York, 2021. 802 p.

**МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ БЕЗПРОВІДНИМИ КАНАЛАМИ ЗВ'ЯЗКУ**

Герасимов С.В., Марущенко В.В., Чернявський О.Ю. (gsvnr@ukr.net)

Національний технічний університет

"Харківський політехнічний інститут" (Україна)

*У дослідженні розглянуто результати розробки принципів функціонування автоматизованої системи передавання даних безпроводними каналами зв'язку для забезпечення захисту інформації*

*в умовах цільових (змішаних) атак з ознаками синергізму та гібридності. Розроблені принципи дозволяють забезпечити потрібний рівень безпеки передавання інформації безпровідними каналами зв'язку.*

**Постановка проблеми.** Відомі методи математичного моделювання процесу функціонування автоматизованої системи передавання даних безпровідними каналами зв'язку для оцінювання рівня захисту інформації використовують базові поняття "надійність систем з безпровідними каналами зв'язку" та "ефективність радіомоніторингу" [1, 2]. Надійність безпровідних каналів радіозв'язку є комплексом технічних і організаційних заходів, спрямованих на підвищення якості передавання даних і своєчасне виявлення каналів витоку інформації для їх закриття [3]. Під ефективністю радіомоніторингу розуміємо оцінювання ступеню досягнення мети функціонування автоматизованої системи передавання даних у заданих умовах із необхідною надійністю. Метою функціонування засобів радіомоніторингу є вирішення основної задачі – викриття реального стану, складу, положення, спроможності каналів радіозв'язку шляхом перехоплення та аналізу електромагнітного випромінювання [4, 5]. Збір інформації щодо функціонування безпровідних каналів радіозв'язку здійснюється шляхом накопичення та систематизації даних щодо перехоплення інформації, яка передавалася безпровідними каналами зв'язку. Моделювання таких процесів використовується під час побудови математичних моделей, які дозволяють оцінювати захист каналів радіозв'язку системи передавання даних [6, 7]. Вплив цільових (змішаних) атак на системи передачі даних дозволяє не тільки спрогнозувати адекватні превентивні заходи безпеки, а також визначити критичні точки самої автоматизованої системи передачі даних.

**Перелік вирішених завдань.** Актуальною науковою задачею є розробка принципів функціонування автоматизованої системи передавання даних безпровідними каналами зв'язку для забезпечення захисту інформації в умовах цільових (змішаних) атак з ознаками синергізму та гібридності. Метою дослідження є розробка принципів функціонування автоматизованої системи передавання даних безпровідними каналами зв'язку для забезпечення захисту інформації. Розроблені принципи дозволяють забезпечити потрібний рівень безпеки передавання інформації безпровідними каналами зв'язку.

**Суть дослідження.** Математичну модель функціонування автоматизованої системи передавання даних безпровідними каналами зв'язку розроблено на базі оцінювання корисного сигналу на приймачі. Для цього за приймач корисного сигналу при передаванні даних каналом радіозв'язку використано приймач засобу радіомоніторингу.

Засоби радіомоніторингу працюють в умовах апріорної невизначеності, коли ряд параметрів корисних сигналів каналів радіозв'язку апріорно невідомий. В найгіршому для радіомоніторингу випадку невідомими можуть бути всі параметри корисних сигналів. Тобто, для засобів радіомоніторингу сигнал безпровідного каналу радіозв'язку є стохастичним. Розглянуто адитивну суміш корисного сигналу та внутрішніх флуктуаційних шумів (ВФШ) приймача радіомоніторингу. З теорії статистичної радіотехніки оптимальне правило вибору про наявність корисного сигналу каналу радіозв'язку на виході приймача в такій адитивній суміші визначається [8, 9]:

$$\sum_{w=1}^W \frac{\lambda_w - 1}{\lambda_w} x_w^2 \geq 2 \ln c + \sum_{w=1}^W \ln \lambda_w, \quad (1)$$

де  $W$  – розмір вибірки реалізації стохастичної адитивної суміші корисного сигналу та ВФШ на виході приймача засобу радіомоніторингу за період спостереження  $T_{cn}$ ;

$x_w$  – некорельовані координати стохастичної адитивної суміші корисного сигналу та ВФШ, які спостерігаються на виході приймача засобу радіомоніторингу за інтервал  $(0; T_{cn})$ ;

$\lambda_w$  – ненормовані власні числа лінійного інтегрального рівняння із симетричним ядром у вигляді кореляційної функції стохастичного коливання, прийнятого засобом радіорозвідки

$$\int_0^{T_{cn}} B_c(t-y)\varphi(y)dy = (\lambda-1) \int_0^{T_{cn}} B_{вфш}(t-y)\varphi(y)dy \quad \text{при } t \leq T_{cn} \quad (B_c(t-y) -$$

кореляційна функція сигналу,  $B_{вфш}(t-y)$  – кореляційна функція ВФШ);

$c$  – константа критерію якості вибору рішення щодо наявності корисного сигналу засобу радіозв'язку на виході приймача.

Коефіцієнт інформаційної доступності засобу радіомоніторингу у загальному вигляді з урахуванням співвідношення (1) записується так:

$$RD^{unc} = \frac{\frac{d}{2Fdt} \sum_{n=1}^N \left( \frac{|rot\mathbf{A}|^2}{\mu} + \varepsilon \left| \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \right|^2 \right)}{\frac{d}{2Fdt} \sum_{n=1}^N \left( \frac{|rot\mathbf{A}|^2}{\mu} + \varepsilon \left| \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \right|^2 \right) + k_{\sigma} T_e (D_{npriim} - 1)} \sum_{w=1}^W x_w^2. \quad (2)$$

За показник внутрішньої доступності безпроводного каналу радіозв'язку пропонується використовувати такий коефіцієнт:

$$VD = \sum_{w=1}^W x_w \left| - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \right|_w. \quad (3)$$

Розглянуто векторний потенціал магнітного поля, що запізнюється, як результат роботи на передачу даних каналу радіозв'язку. Кожен із безпроводних каналів радіозв'язку автоматизованої системи передавання даних при роботі на передачу буде утворювати електромагнітне поле в деякому просторі (мережі). Розміри такого району обумовлені середовищем розповсюдження електромагнітних хвиль. Властивості цього поля із достатньою повнотою характеризуються векторним 3-потенціалом магнітного поля, що запізнюється. Саме тому, при отриманні математичної залежності для коефіцієнту інформаційної (2) і внутрішньої доступності (3) безпроводних каналів радіозв'язку, показано їх зв'язок з цим векторним 3-потенціалом, як моделлю результату роботи на передачу даних каналу радіозв'язку.

При моделюванні, в першу чергу, представляє інтерес векторний 3-потенціал у місцях знаходження інших каналів радіозв'язку системи передавання даних і у відомих (чи тих, які передбачаються) місцях знаходження засобів радіомоніторингу.

Найбільш негативним для блокування каналів радіозв'язку є випадок, коли спектр завади перекривається зі спектром інформаційного сигналу, який випромінюється антеною [2–7]. Тобто, це випадок, коли частина спектра завади попадає в область головного максимуму спектра інформаційного сигналу.

Розглянуто три можливі варіанти накладання завади для блокування безпроводного каналу радіозв'язку. Позначивши через  $\Delta\Omega$  ширину спектра завади  $G$ , а частоту головного максимуму інформаційного сигналу безпроводного каналу радіозв'язку –  $\omega_0$ , розглядаються наступні варіанти впливу завади на передавання даних інформаційним сигналом радіозв'язку: завада ширококутова ( $\Delta\Omega \gg \omega_0$ ); завада вузькосмугова ( $\Delta\Omega \ll \omega_0$ ); завада вузькосмугова та її центральна частота знаходиться поблизу частоти  $\omega_0$ .

**Висновки.** Для досягнення мети дослідження розв'язано наступні завдання:

- отримано аналітичні співвідношення для коефіцієнтів інформаційної (2) та внутрішньої доступності (3) безпроводного каналу радіозв'язку;
- оцінено вплив завад на надійність передавання даних;
- запропоновано методику оцінювання потокового стану автоматизованої системи передавання даних безпроводними каналами зв'язку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Yevseiev, S., Hryshchuk, R., Molodetska, K., et. al. (2022). Modeling of security systems for critical infrastructure facilities, *PC Technology Center*. 196. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-57-2>.
2. Shmatko, O., Herasymov, S., Lysetskyi, Y., Yevseiev, S., Sievierinov O., Voitko, T., Zakharzhevskiy, A., Makogon, H., Nesterov, A., & Bondarenko, K. (2023). Development of the automated decision-making system synthesis method in the management of information security channels, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(9) (126). 39–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293511>.
3. Herasymov, S., Tkachov, A., & Bazarnyi, S. (2024). Complex method of determining the location of social network agents in the interests of information operations, *Advanced Information Systems*, 8(1). 31–36. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.1.04>.

4. Yevseiev, S., Kuznietsov, O., Herasimov, S., et. al. (2021). Development of an optimization method for measuring the Doppler frequency of a packet taking into account the fluctuations of the initial phases of its radio pulses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 2/9 (110). 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229221>.
5. Artikula, A., Britov, D., Dzhus, V., Haibadulov, B., Haibadulova, A., Herasymov, S., Kaluhin, D., Kukobko, S., Roshchupkin, Y., & Tytarenko, R. (2021). Measurement Errors Affecting the Characteristics of Multi-Position Systems, and Ways to Reduce Them, *InterConf*. 333–346. <https://doi.org/10.51582/interconf.7-8.06.2021.035>.
6. Yevseiev, S., Herasymov, S., Kuznietsov, O., et. al. (2023). Method of assessment of frequency resolution for aircraft, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 2/9 (122). 34–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277898>.
7. Герасимов, С.В., & Гаценко, Л.В. (2022). Моделювання генерації сигналів спеціальної форми для контролю технічного стану радіоелектронного обладнання, *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2022): матеріали тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції*. Чернігів: НУ "Чернігівська політехніка". Т. 2. 176.
8. Herasimov, S., & Roshchupkin, E. (2023). Control of the serviceability of the radio electronic equipment of the communication system, *Міжнародна науково-практична конференція "Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку" (м. Харків, Національна академія національної гвардії України, 15 березня 2023 р.)*. 39–40.
9. Герасимов, С.В., & Чернявський, О.Ю. (2023). Моделювання траєкторій руху безпілотного летального апарату при дистанційному зондуванні землі, *КЗЯТПС – 2023: матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р.)*. Чернігів: НУ "Чернігівська політехніка". Т. 2. С. 129–130. URL: <https://conference-chernihiv-polytechnik.com/wp-content/uploads/2023/06/Tezy-2023-Part-2.pdf>.

УДК 623.618.51

## РОЗРОБЛЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ КОЛІС БРОНЬОВАНИХ МАШИН

Давиденко В.В., Ковтунов Ю.О., Колмиков О.І. (gsvnr@ukr.net)  
Національний технічний університет  
"Харківський політехнічний інститут" (Україна)

*Дослідження присвячено розробці та дослідженню імітаційної моделі управління індивідуальним електроприводом колісних броньованих машин. Дана модель включає в себе комплексний аналіз існуючих підходів і технічних рішень у цій галузі, розробку деталізованих математичних моделей колісного рушія та руху колісних броньованих машин із урахуванням особливостей взаємодії коліс із дорогою, а також створення та верифікацію імітаційної моделі з використанням сучасних методів моделювання та симуляції.*

**Постановка проблеми.** Результати ведення бойових дій на сьогодні свідчать про актуальність обґрунтування та розробки ефективних і інноваційних рішень, які дозволяють не лише підвищити бойові можливості техніки, але й забезпечити її живучість [1 – 9]. Одним із можливих перспективних напрямків є застосування індивідуальних регульованих електроприладів коліс броньованих машин [3, 4]. Ця технологія відкриває нові горизонти для оптимізації руху та управління колісних броньованих машин, часто в складних і непередбачуваних умовах експлуатації [5, 6].

Застосування індивідуальних електроприладів дозволяє досягти значного підвищення маневреності та прохідності колісних броньованих машин, особливо при русі пересічною місцевості та в умовах обмеженого огляду. Завдяки можливості незалежного керування кожним колесом, можна реалізовувати різноманітні режими руху, такі як поворот на місці, рух "крабом" або "змією", що значно розширює технічні можливості колісних броньованих машин.