УДК 517.9: 519.6

В.М. БУЛАВАЦЬКИЙ
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: *v_bulav@ukr.net*.

В.О. БОГАЄНКО
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: *sevab@ukr.net*.

МОДЕЛЮВАННЯ ДРОБОВО-ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ДИНАМІКИ ПОШИРЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ВІРУСІВ НА ОСНОВІ ДИФУЗІЙНОЇ ЕПІДЕМІОЛОГІЧНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Анотація. Розглянуто двовимірну нелокальну за часом дифузійну математичну модель епідеміологічної динаміки комп'ютерних вірусів, яка є узагальненням SIES моделі. Модельна система з похідними Капуто кусково сталого порядку складається з рівнянь відносно трьох невідомих функцій, дві з яких визначаються у замкненому вигляді, як розв'язки відповідних лінійних крайових задач. Виконано якісний аналіз нелінійної крайової задачі відносно третьої невідомої функції — кількості інфікованих вузлів. Наведено методику числового розв'язання задачі та деякі результати комп'ютерного моделювання дробової динаміки поширення вірусів у мережі.

Ключові слова: математичне моделювання, динаміка комп'ютерних вірусів, дробово-диференціальна дифузійна модель, двовимірна нелінійна крайова задача, якісний аналіз, комп'ютерне моделювання.

ВСТУП

Побудова ефективних систем антивірусного захисту комп'ютерних мереж є важливою та нагальною науково-технічною задачею. Водночас відомо, що використання антивірусного програмного забезпечення, як основного способу захисту від вірусів, далеко не завжди сприяє розв'язанню проблем захисту комп'ютерних мереж, оскільки не дає змоги передбачити еволюцію вірусів у часі. У цьому контексті набуває актуальності проблема побудови ефективних систем антивірусного захисту комп'ютерних мереж, які ґрунтуються на результатах математичного та комп'ютерного моделювання динамічних процесів поширення комп'ютерних вірусів у мережі [1].

Глибока аналогія між поведінкою комп'ютерних вірусів та їхніх біологічних аналогів, відзначена Коеном [2] та Мюрреєм [3], дала змогу використати для дослідження особливостей динаміки комп'ютерних вірусів у мережі методи та інструменти моделювання, розроблені в галузі епідеміологічної динаміки інфекційних захворювань. Зазначимо, що опис першої відомої епідеміологічної моделі динаміки комп'ютерних вірусів опубліковано у праці [4]. Пізніше багатьма дослідниками було запропоновано багато математичних моделей епідеміологічної динаміки комп'ютерних вірусів (див. наприклад [5–10]), що зумовило створення нового наукового напряму — епідеміологічної динаміки комп'ютерних вірусів, у межах якого вивчають та аналізують поширення комп'ютерних вірусів у мережах [11–29].

Нагадаємо, що для моделювання динаміки комп'ютерних вірусів нерідко використовують математичні моделі епідеміологічної динаміки типу SIR, SEIR, SIES тощо [5–15]. Зокрема, у SIR моделі [5] розглядають три стани: S — susceptible (схильний до інфікування), $\mathfrak{I}$ — infected (інфікований), R — recovered (той, що одужав). Модель SEIR (Susceptible-Exposed-Infected-Removed) є модифікацією SIR-моделі. У ній враховано можливу наявність деякого «інкубаційного періоду», під час якого вірус не завдає шкоди інфікованому вузлу. Протя-