

ГІПОТЕЗА І ФОРМАЛЬНА МОДЕЛЬ СИНГУЛЯРНОЇ ДИНАМІКИ ІНЦИДЕНТІВ КІБЕРНЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

О.М. Герєга¹, С.О. Гнатюк², В.Г. Кононович³, І.В. Кононович¹

¹Одеська національна академія харчових технологій
вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна; e-mail: kononovich@mail.ru

²Національний авіаційний університет,
просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03680, Україна; e-mail: s.gnatyuk@nau.edu.ua

³Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченко, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: vl_kononovich@ukr.net

Статистика свідчить про високі темпи зростання кількості деструктивних інцидентів інформаційної безпеки. Але чинники, що спричиняють це явище, досліджені недостатньо. Вони не охоплюють широкий спектр характеристик і не розкривають повний формальний та системний підхід до вирішення задач кібербезпеки. У зв'язку з цим, сформульована гіпотеза щодо сингулярності динаміки інформаційного потоку з деструктивними та корисними характеристиками. Розроблена проста математична модель багатоступеневої обробки та фільтрації інформаційного потоку із зворотними зв'язками для забезпечення кібербезпеки. Проведене дослідження чотирьох-ступеневої динамічної системи показало, що в ній можуть виникати стаціонарні, квазіперіодичні коливання та динамічний хаос. У перехідний період можливі турбулентність та сингулярність. Використання механічних аналогій сприяло більш точному розумінню результатів дослідження. Зроблено висновок щодо об'єктивності турбулентних та сингулярних явищ перехідного періоду та щодо необхідних позасистемних заходів забезпечення кібербезпеки.

Ключові слова: кібернетична безпека, модель динамічної системи, турбулентність, сингулярність, біфуркації, інциденти кібербезпеки

Вступ

Одночасно із бурхливим розвитком інформаційних та інших технологій фіксуються високі темпи зростання кількості інцидентів інформаційної та кібернетичної безпеки (кібербезпеки). Серед теоретичних методів досліджень таких явищ важливе місце займають математичне моделювання і математичні методи інформаційної та кібернетичної безпеки. Проблемою є розуміння причин та пошук засобів припинення зростання кількості інцидентів кібернетичної безпеки.

Аналіз існуючих досліджень. Статика процесів забезпечення кібербезпеки, моделі загроз, моделі порушників, моделі захисту, статичні моделі ризиків тощо досліджені досить глибоко [1, 2]. Що стосується динаміки процесів кібербезпеки, то розроблені аналітичні моделі розповсюдження вірусів і мережевих черв'яків [3, 4], авторами цієї роботи та іншими дослідниками розпочато застосування біологічних моделей в сфері динаміки процесів забезпечення інформаційної безпеки [5], оцінки впливу затримки в реагуванні на інциденти кібербезпеки [6]. У цілому, подібних робіт поки що мало і систематичних досліджень не проводиться. Як правило, моделі динамічних систем аналізуються в усталених режимах. Перехідні процеси, які цікавлять авторів, часто ігноруються. Крім того, недостатньо детальних статистичних даних.

Сучасна епоха характеризується збігом у найближчому майбутньому кризових прискорень декількох загально планетарних процесів. Серед таких процесів, що несуть загрозу всьому людству, є прискорення зростання кількості інцидентів кібербезпеки.

На рис.1(а) представлено динаміку деструктивних інцидентів щодо державних інформаційних ресурсів в Україні [2], а рис.1(б) містить зростання інцидентів за даними державного відомства США. У нашій державі відсутня загальна статистика інцидентів кібербезпеки, а реагування на них покладено на єдиний у державі спеціалізований центр CERT-UA. Темпи зростання кількості інцидентів складають мінімум 30-40 % на рік, за іншими даними – 400 %. До того ж, більшість приватних компаній не схильні до розголошення фінансових втрат від інцидентів, оскільки іміджеві втрати теж можуть бути значними.

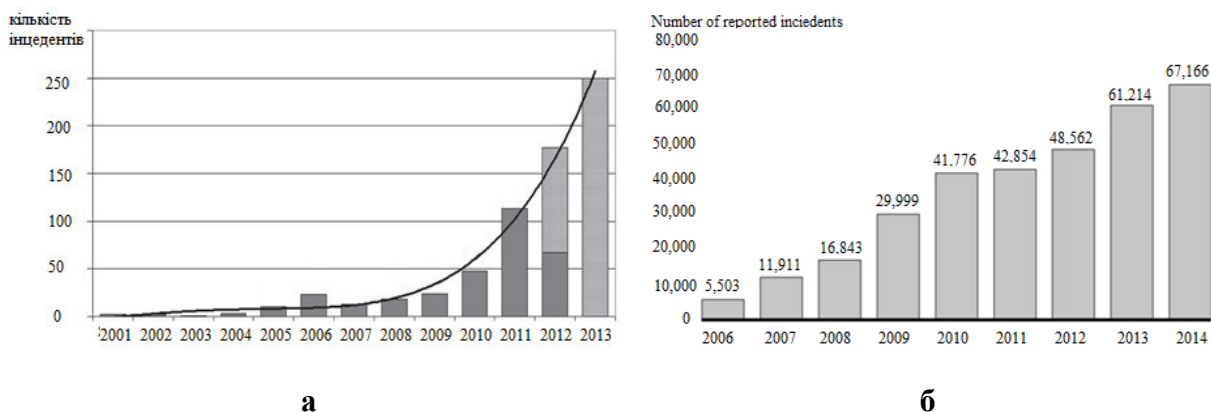


Рис. 1. Статистика інцидентів кібербезпеки: а - пов'язаних з державними інформаційними ресурсами України; б - за даними U.S. Government Accountability Office

Приймаючи до уваги цю статистику, можна висловити гіпотезу щодо сингулярного характеру динаміки кількості інцидентів кібербезпеки. Представляє інтерес дослідження цієї динаміки окіл точок сингулярності та після сингулярного періоду. Тому необхідна розробка відповідної адекватної моделі. Актуальність проблеми обумовлена успішним застосуванням якісних методів дослідження нелінійної динаміки у техніці, системах кібербезпеки, «радіоелектроніці, медицині, біофізиці, хімічних технологіях, психології та ще у десятиох інших областях [8]».

Метою роботи є обґрунтування гіпотези щодо сингулярного характеру динаміки кількості інцидентів кібербезпеки, розроблення та дослідження математичної моделі циклічного поетапного процесу обробки інформаційного потоку з включеними до нього етапами забезпечення кібербезпеки, а також пошук методів забезпечення кібербезпеки.

Математична модель циклічного інформаційного процесу управління з включеними до нього етапами забезпечення кібербезпеки

Ця задача виходить далеко за межі систем забезпечення кібербезпеки і досліджувалась авторами стосовно циклічного управління кібербезпекою в [9] і стосовно управління колективною та індивідуальною свідомістю громадян у [10]. Тут розглянемо найпростішу модель циклового інформаційного процесу управління узагальненим інформаційним виробництвом у високотехнологічному суспільстві.

«Інформація на сьогодні набуває характер стратегічного ресурсу сучасних розвинутих суспільств. Основою цього являється той факт, що будь-який речовинний процес, який підлягає контролю та управлінню, має своє ізоморфне відображення... Ефективність людської дії здебільшого залежить від правильного управлінського рішення, що, у свою чергу, залежить від інформаційного моделювання ситуації, від пошуку потрібної інформації та її переробки. Лавиноподібне зростання інформаційних

потоків, у яких змішувались потрібна і непотрібна інформація («інформаційні шуми»). У значній мірі утруднив поведінку людини та висунув на передній план вибірковий пошук потрібної інформації з наступною її редукцією для прийняття тих чи інших рішень [11]». Нехай цикл управління інформаційним потоком складається із чотирьох етапів: фільтрація вхідного інформаційного потоку – x_{in} засобами забезпечення кібербезпеки; аналіз інформаційного потоку (відбір потрібної інформації, редукція, консолідація, переробка); прийняття рішень (формування управлінського рішення); обробка вихідного інформаційного потоку для забезпечення кібербезпеки перед видачею управлінського рішення – x_{out} . Тоді, математична модель динамічної системи буде мати такий вигляд:

$$\Phi(x, y, z, w) = \begin{cases} x_{n+1} = x_n - k_{xy} p x_n^2 + k_{yx} q y_n^2 + x_{in} \\ y_{n+1} = y_n + k_{xy} p x_n^2 - (k_{yx} + k_{yz}) q y_n^2 + k_{zy} r z_n^2 \\ z_{n+1} = z_n + k_{yz} q y_n^2 - (k_{zy} + k_{zw}) r z_n^2 + k_{wz} s w_n^2 \\ w_{n+1} = w_n + k_{zw} r z_n^2 - (k_{wz} + k_{out}) s w_n^2 \end{cases} \quad (1)$$

де x, y, z, w – динамічні змінні, які визначають інтенсивність інформаційних елементів потоку на етапах обробки інформації; k_{ij} – перехідні коефіцієнти, що характеризують динамічну взаємодію етапів обробки інформації; p, q, r, s – розподільчі коефіцієнти, x_{in} – інтенсивність інформаційних елементів потоку, що поступають на перший етап обробки; причому, k_{ij} и $p, q, r, s \in (0,1)$, $x, y, z, w \in R$, $x_{in} = const \in R^+$.

Наявність у системі двох груп коефіцієнтів (k_{ij} та p, q, r, s) має конкретну фізичну інтерпретацію: коефіцієнти k_{ij} описують відносну величину редукції і консолідації інформації за синтаксичними ознаками, наприклад, форматами відомостей і повідомлень, та задають долю інформаційного потоку, який переходить з одного етапу на сусідній. Частина інформаційного потоку переходить на попередній етап обробки для виправлення неточностей, врахування зауважень тощо. Коефіцієнти p, q, r, s описують розподіл елементів інформаційного потоку за їх видами по семантичним ознакам, наприклад, по змісту. Перехід між етапами обробки визначається добутком коефіцієнтів обох груп.

Слідуючи методам відпрацьованій в теорії нелінійної динаміки досліджень, знайдемо нерухомі точки системи та проаналізуємо їх стійкість. При цьому, буде продемонстровано метод графічного відображення проєкцій об'єктів чотирьохмірного простору на двохмірний та трьохмірний простір. Для знаходження нерухомих точок необхідно й достатньо розв'язати систему рівнянь, які отримуються із системи (1) при $x_{n+1}^* = x_n^*$, $y_{n+1}^* = y_n^*$, $z_{n+1}^* = z_n^*$, $w_{n+1}^* = w_n^*$. Маємо систему рівнянь

$$\Phi^*(x, y, z, w) = \begin{cases} -k_{xy} p x_n^2 + k_{yx} q y_n^2 + x_{in} = 0 \\ k_{xy} p x_n^2 - (k_{yx} + k_{yz}) q y_n^2 + k_{zy} r z_n^2 = 0 \\ k_{yz} q y_n^2 - (k_{zy} + k_{zw}) r z_n^2 + k_{wz} s w_n^2 = 0 \\ k_{zw} r z_n^2 - (k_{wz} + k_{out}) s w_n^2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

яка шляхом заміни змінних перетворюється в систему рівнянь зі змінними у першій степені. Система рівнянь (2) має тривіальний нульовий розв'язок: $x_0^* = 0$; $y_0^* = 0$; $z_0^* = 0$; $w_0^* = 0$. Для аналізу стійкості нульового розв'язку використовуємо метод першого наближення. Розкладемо змінні рівняння (2) в ряд

Тейлора та відкинемо члени другого порядку малості. Тоді отримуємо сукупність частинних похідних типу $\mu = f'(x_0^*)$, які називаються у випадку дискретних відображень мультиплікаторами. Із частинних похідних складається матриця Якобі, знаходиться визначник матриці (якобіан) у нульовій нерухомій точці і корені характеристичного рівняння. Для цього розв'язуємо матричне рівняння виду $\det(A - \mu E) = 0$ і знаходимо, що чотири корені характеристичного рівняння і якобіан у нульовій нерухомій точці дорівнюють одиниці, $J=1$. Усі корені є дійсними. Таким чином, у нульовій нерухомій точці система (1) консервативна, не стискає і не розширює фазовий простір. Для визначення стійкості нульової нерухомої точки необхідні додаткові дослідження.

У загальному випадку, для знаходження нерухомих точок системи (1) необхідно знайти корені системи (2). Розв'язання може бути знайдено чисельним способом, наприклад, за допомогою алгоритму Ньютона-Рафсона [12]. У нашому випадку розв'язання знаходимо аналітичним методом. Враховуючи симетричний характер взаємодії етапів, отримуємо вирази для координат нерухомих точок:

$$w_0 = \pm \sqrt{\frac{x_{in}}{k_{out}s}}, \quad z_0 = \pm \sqrt{\frac{x_{in}}{k_{zw}r}} L, \quad y_0 = \pm \sqrt{\frac{x_{in}}{k_{yz}q}} M, \quad x_0 = \pm \sqrt{\frac{x_{in}}{k_{xy}p}} N, \quad (3)$$

$$\text{де } L = \left(\frac{k_{wz}}{k_{out}} + 1 \right), \quad M = \left(\frac{k_{zy}}{k_{zw}} L + 1 \right), \quad N = \left(\frac{k_{yx}}{k_{yz}} M + 1 \right).$$

Координати (3) за умов, наприклад, коли коефіцієнти $k_{xy} = 0.5; k_{yx} = 0.4; k_{yz} = 0.3; k_{zy} = 0.3; k_{zw} = 0.5; k_{wz} = 0.5; k_{out} = 0.4; i$
 $p = 0.08; q = 0.02; r = 0.015; s = 0.015; x_{in} = 5.0$ приймають значення:
 $x_0 = \pm 22.7303; y_0 = \pm 44.2531; z_0 = \pm 38.7298; w_0 = \pm 28.8675$.

Маємо 16 коренів, а значить 16 нерухомих точок. Усі корені (3) системи рівнянь (2) дійсні. Координати рухомих точок залежать від параметрів системи. Розташування нерухомих точок у чотирьохвимірному просторі можна оцінити за допомогою проєкцій цих координат на координатні площини та проєкції на трьохвимірний простір. Об'єкт чотирьохвимірного простору повністю визначають його проєкції на чотири трьохвимірні простори (з чотирьох «сторін») або його проєкції на відповідні чотири координатні площини. Для прикладу, на рис.2(а) показано рух від центра до периферії проєкцій координат нерухомих точок на площині Oxy (Oab), коли параметр x_{in} приймає значення, відповідно, 1, 2, ... 8. На рис.2(б) представлені проєкції тих же точок на трьохвмірний простір $Oxyz$ ($Oauv$).

У кожному з чотирьох квадрантів координатних площин є по одній проєкції нерухомих точок. У кожному з восьми октантів трьохвимірних просторів є по одній проєкції нерухомих точок. У кожному з шістнадцяти седетантів чотирьохвимірного простору є також по одній нерухомій точці. Стійкість нерухомих точок перевірялась шляхом обчислення якобіану матриці збурення. Матриця збурення складена із відповідних частинних похідних правих частин системи рівнянь (1). Маємо додатний якобіан для восьми відповідних нерухомих точок і від'ємний для інших восьми точок. «Якобіан, обчислений у нерухомій точці, визначає еволюцію малого елемента площі при дії відображення. При $|J| < 1$ цей елемент стискається, і відображення буде дисипативним [13, 14]». У іншому випадку система стає консервативною ($J = 1$), або ця нерухома точка нестійка.

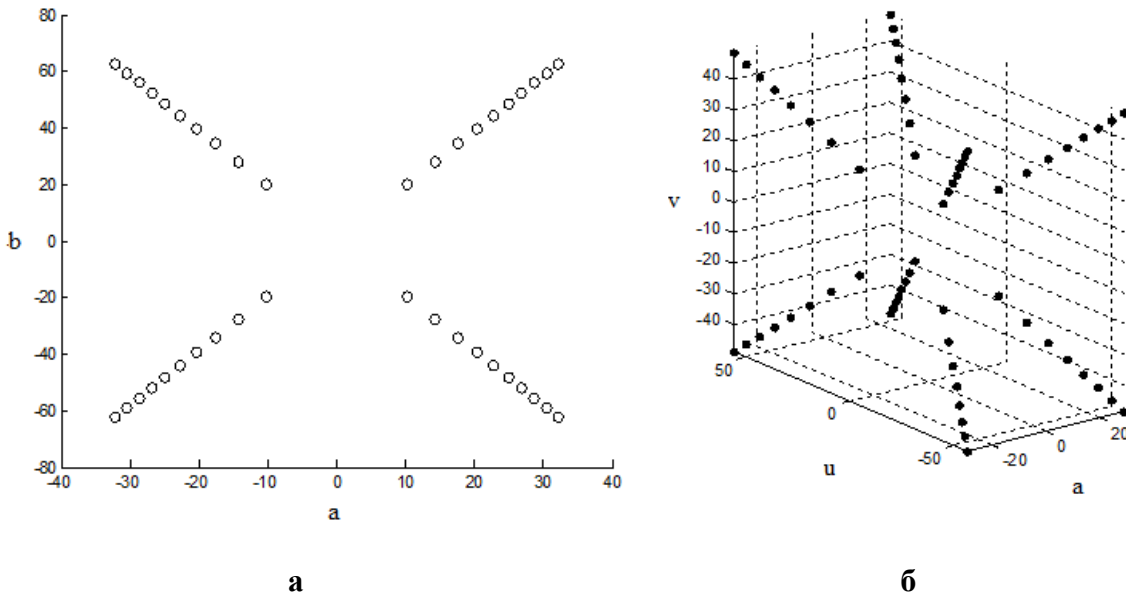


Рис. 2. Проекції координат нерухомих точок на: а - координатну площину; б - трьохвимірний простір

Аналіз рівнянь руху та виникаючої турбулентності

Процедури аналізу динамічних систем включають перевірку всіх траєкторій на стійкість та виявлення початкових умов, за яких траєкторії потрапляють в околиці кожної з нерухомих точок. У наслідок складності представлення об'єктів у чотирьохвимірному просторі та великої кількості варіантів, у даному випадку доцільно встановлювати початкові умови, виходячи із практичних міркувань, – на початку моделювання на всіх етапах обробки інформації руху немає і здійснюється включення вхідного потоку заданої інтенсивності. Тому для відображення рівнянь руху чисельно вирішуємо систему рівнянь (1) при початкових умовах: $x_0 = 0$; $y_0 = 0$; $z_0 = 0$; $w_0 = 0$. Графіки рівнянь руху у вигляді проекцій на площини $0xt$, $0yt$, $0zt$, $0wt$ при тих же значеннях коефіцієнтів системи рівнянь (1), інтенсивності вхідного потоку $x_{in} = 4.94$ показані на рис.3.

Рішення мають три характерні ділянки: початкова, турбулентна і усталена (при заданих значеннях параметрів – квазіперіодична). Початкова ділянка (модельний час t у проміжку від 0 до 30 одиниць) відрізняється плавним зростанням величини інтенсивності потоку. Початкова ділянка тим довша, чим менша інтенсивність вхідного потоку. Турбулентна ділянка на графіках рис.3 триває у проміжку від 30 до 70 модельних одиниць, характеризується хаотичними коливаннями, викиди досягають великих значень і при збільшенні інтенсивності вхідного потоку прямують до нескінченності. Сингулярності у цій моделі, за даних параметрів виникають при $x_{in} > 4.94$. Але якщо сингулярність не досягається, то поступово хаотичні коливання затухають і замінюються стаціонарними квазіперіодичними коливаннями. В усталеній ділянці, в залежності від величин параметрів системи, відбуваються біфуркації подвоєння періоду Фейгенбаума. Періодичні коливання змінюються на квазіперіодичні а потім – динамічним хаосом [12].

Причиною виникнення коливань і турбулентності є зворотні зв'язки у кожному з етапів обробки інформації та перехідні процеси при включенні потоку. Потік не може вирости миттєво і наростає плавно. На рис.4 показано, як проходить взаємодія потоків на межі двох етапів обробки інформаційного потоку.

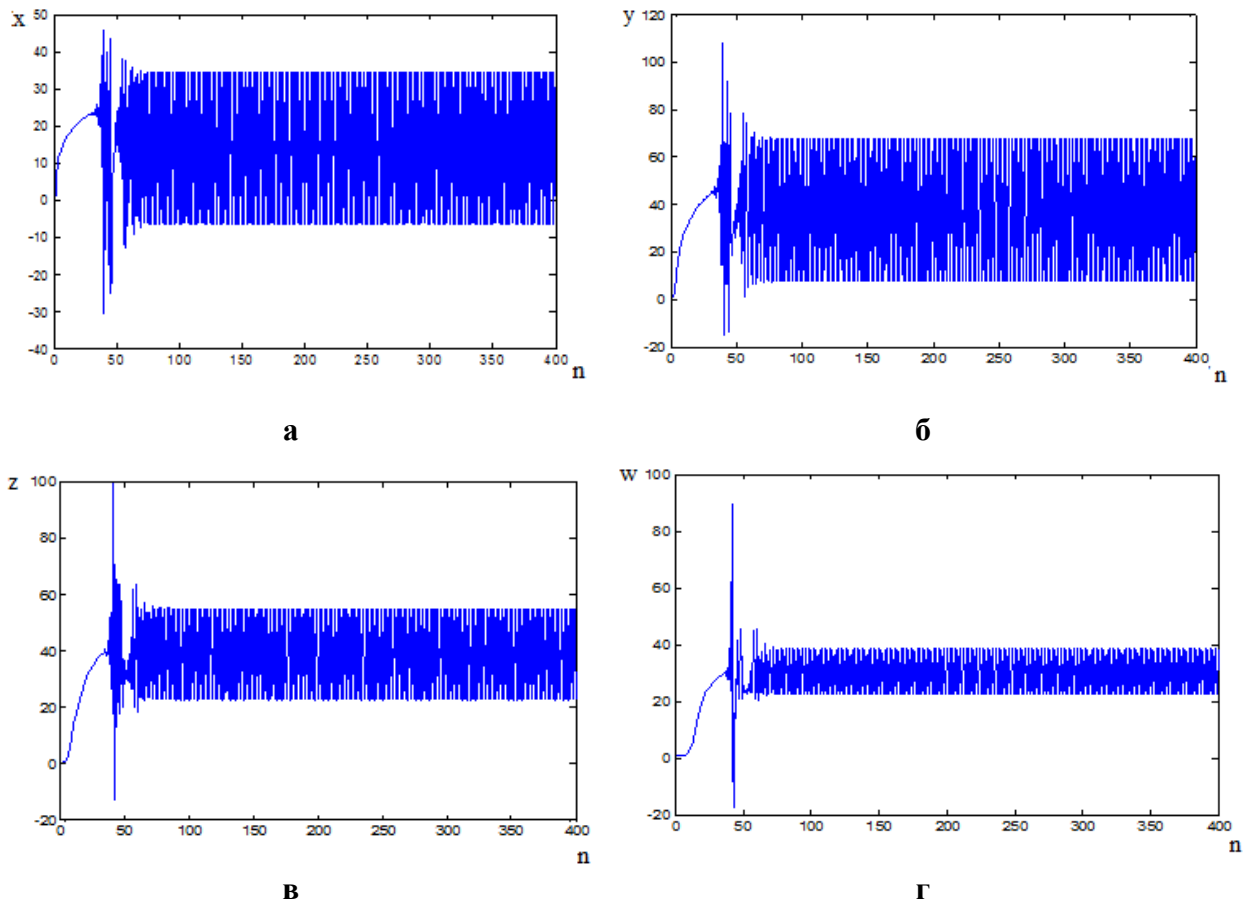


Рис. 3. Графіки рівнянь руху в проекціях на площини: а - Oxy ; б - Oyz ; в - Ozw ; г - Owx

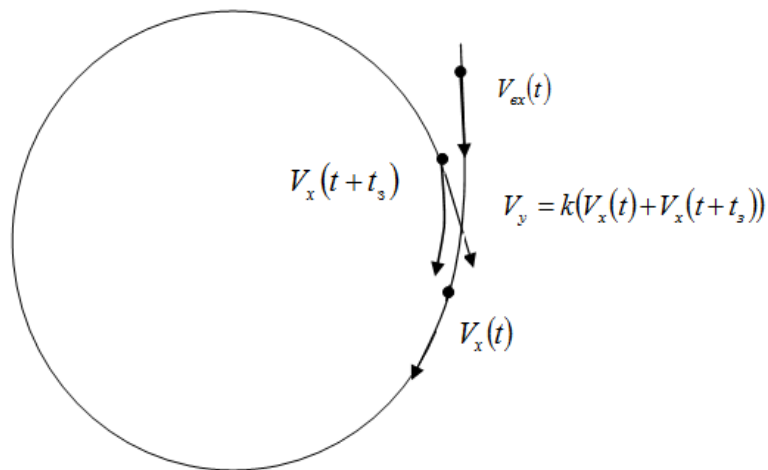


Рис. 4. Векторна діаграма швидкостей потоку на границі двох етапів обробки

Кожен етап обробки інформаційного потоку у загальному вигляді можна вважати циркуляційним процесом. Інформаційні елементи циркулюють «по колу» і приймають участь у різних операціях обробки інформації. Вхідний потік поступає на циркуляцію із миттєвою швидкістю $V_{BX}(t)$. Проїшовши за час t_s по колу послідовні операції обробки інформації на стику етапів, інформаційний потік розділяється. Частина потоку поступає до наступного етапу обробки з інтенсивністю $V_y = k(V_x(t) + V_x(t+t_s))/2$, а інша частина продовжує циркуляцію, змішуючись із вхідним потоком, який має більшу миттєву швидкість внаслідок перехідного процесу. Швидкі інформаційні елементи у спільному

поточі уповільнюються, а повільні пришвидшуються. Наявність інерційних ефектів сприяє виникненню коливань.

Фізичні аналогії

Для більш повного розуміння процесів корисно застосувати метод фізичних аналогій, порівнявши цю модель, наприклад, з математичною моделлю повітряного відцентрового фільтру. Таку модель запропонував О. Герєга в [15] і її адекватність підтверджена експериментально. Повітряний фільтр моделюється як трьох- або чотирьох рівнева динамічна дисипативна система із суміжно взаємодіючими рівнями. У моделі вивчається динаміка газового потоку (аналог інформаційного потоку) з пилом (аналог деструктивної інформації) у повітряних фільтрах зі зворотними зв'язками між сусідніми рівнями (аналог багатоетапної обробки інформації). Комп'ютерна модель фільтра описується як система (1). Фізична інтерпретація коефіцієнтів системи (1) інша. «Коефіцієнти k_{ij} описують відносну величину зміщення послідовних криволінійних каналів (труб) інженерної конструкції та задають долю потоку, які переходять з одного каналу в інший. Коефіцієнти p, q, r, s описують розподіл часток по ширині каналу конструкції. Перехід між каналами також визначається добутком коефіцієнтів обох груп (див. [15])». Виникнення коливань і турбулентності в моделі повітряного фільтру можна пояснити за допомогою рис.4.

Вхідний потік поступає на циркуляцію с миттєвою швидкістю потоку $V_{ex}(t)$. Пройшовши за інтервал часу t_s шлях у криволінійному (коловому) каналі, на стику фаз потік поділяється. Високо орбітальна частина потоку з важкими частками пилу поступає до наступної фази очистки, а низькоорбітальна частина продовжує свій шлях у криволінійному каналі, змішуючись із вхідним потоком. В один потік потрапляють частки пилу и газу, які рухаються з різною швидкістю: $V_x(t) > V_x(t+t_s)$. За повільними частками виникає згущення потоку, а за швидкими – розрідження. Тим самим у середовищі пружного газу виникають сили прискорення й уповільнення, а значить виникають коливання швидкості навколо деякого середнього значення. Стійкі коливання виникають за певного співвідношення фаз

$$\varphi_{зд} = \arcsin\left(\frac{a}{A}\right) - \omega_0 t_{зп} \pmod{2\pi}, \quad (4)$$

де ω_0 – кутова частота коливань (резонансна частота); a – поточна швидкість потоку; A – амплітуда коливань.

Кутова частота повинна бути такою, щоб потоки зустрічались у протилежних фазах. Тоді на швидкі частки діють сили уповільнення, а на повільні – сила прискорення. Коливання повздовжні та не приводять до перемішування орбіт, тобто не заважають роботі повітряного фільтру. Наведені міркування пояснюють результати моделювання і можуть бути перенесені на обробку інформаційного потоку. На рис.5(а) і рис.5(б) показані спектри коливань у стаціонарному режимі, які отримані за допомогою одномірного швидкого дискретного перетворення Фур'є:

$$X(k) = \sum_{n=1}^N x(n) e^{-j2\pi(k-1)(n-1)/N}, \quad (5)$$

де $1 \leq k \leq N$; N – довжина аналізованої часової послідовності, яка генерується системою (1).

Графіки отримані при наступних параметрах моделі: $q = 0,032 q$; x_{in} змінювалось в інтервалі від 4,5 до 4,7. Частота несучої 1500 у.о. відповідає несучому коливанню на

атракторі, яке визначається властивостями відображення (1). Модулюючі частоти (рис.5(a)) відповідають резонансам у колових каналах повітряного фільтру. Ці частоти змінюються стрибками, у залежності від того, скільки цілих періодів модулюючого коливання вкладається в інтервал часу затримки t_s . З результатів моделювання слідує, що в стаціонарному режимі усі змінні коливаються з однаковою частотою і фазою, представляючи собою єдину хвилю.

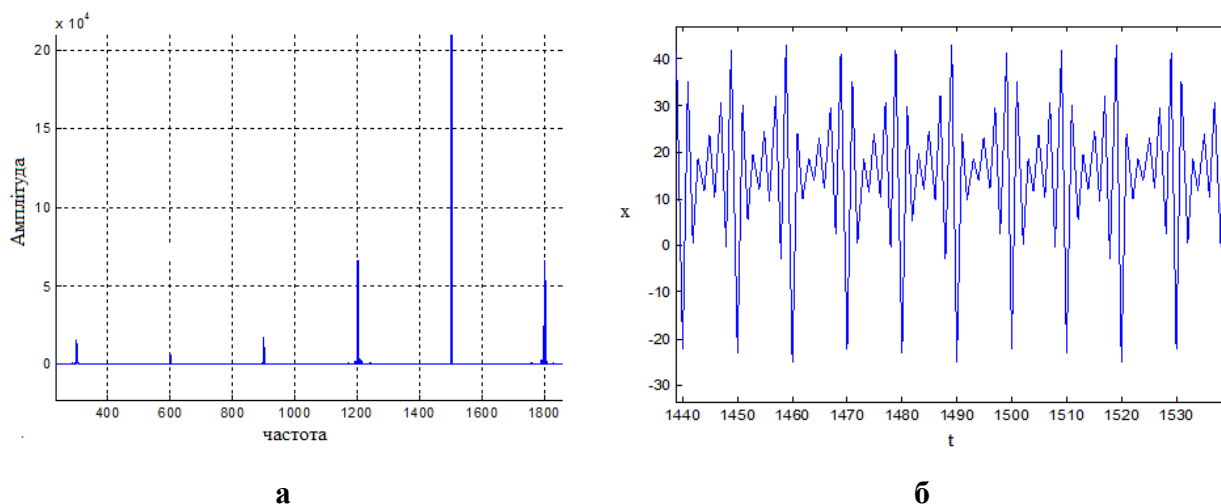


Рис. 5. Коливання в стаціонарному режимі при $N = 3000$: а - спектр для змінної x ; б - графік часової залежності змінної x

Зауважимо що співвідношення (5) не визначає явну частоту коливань. Частота дана відносно розподілів вектора вхідного сигналу й вимірюється в безрозмірних умовних одиницях, зворотних тривалості одного такту моделювання, яка, у свою чергу, у цьому дослідженні не співвідноситься з реальним часом процесу. Таким чином, розглянута динамічна система об'єднує в собі, у крайньому випадку в межах загального модельного часу, глобальну стійкість із локальною нестійкістю.

Турбулентні перехідні процеси

Коливальний характер процесів системи (1) тісно пов'язаний з турбулентними явищами перехідного періоду. Ці явища мають в своїй основі одну причину – наявність у системі позитивних зворотних зв'язків. Для більш детального аналізу турбулентної ділянки процесу обробки інформаційного потоку в системі (1) розглянемо фазовий портрет системи у перехідному і стаціонарному режимах. Значення коефіцієнтів системи та початкові умови залишаються тими ж. На рис.6(a) представлена проекція багатовимірний фазового портрета на площину $0xy$, а на рис.6(б) – його проекція на трьохвимірний простір $0xyt$. Останнє дозволяє прослідкувати еволюцію траєкторії до атрактору.

У турбулентному режимі спостерігаються хаотичні траєкторії. У стаціонарному режимі маємо атрактор. Згідно попередніх досліджень [15] мають місце дивні атрактори у вигляді тонкого сильно витягнутого еліпсоїдного тора.

Розглянемо структурну стійкість системи. Для дослідження структурної стійкості системи вивчені біфуркаційні діаграми, приклад яких показано на рис.7. Перша біфуркація співпадає з виникненням турбулентності. Навколо стійкої і нестійкої гілок біфуркації виникають хаотичні коливання (так звані «чубчик»).

Деякі траєкторії мають сингулярність. Координати точок сингулярної траєкторії спрямовуються до нескінченності. У моделі вони досягають – NaN або +NaN (мінус і

плюс машинної нескінченності). Такі траєкторії в моделі «гинуть». Траєкторії, що вижили, можуть існувати і при другій біфуркації подвоєння періоду. Але при збільшенні інтенсивності вхідного потоку траєкторій, які вижили, стає все менше. Тому дослідження другої біфуркації у цій моделі, з наявними комп'ютерними ресурсами, практично неможливо. Можна припустити, що друга біфуркація також супроводжується турбулентністю. На рис.7(б) видно залишки «чубчика» на другій біфуркації.

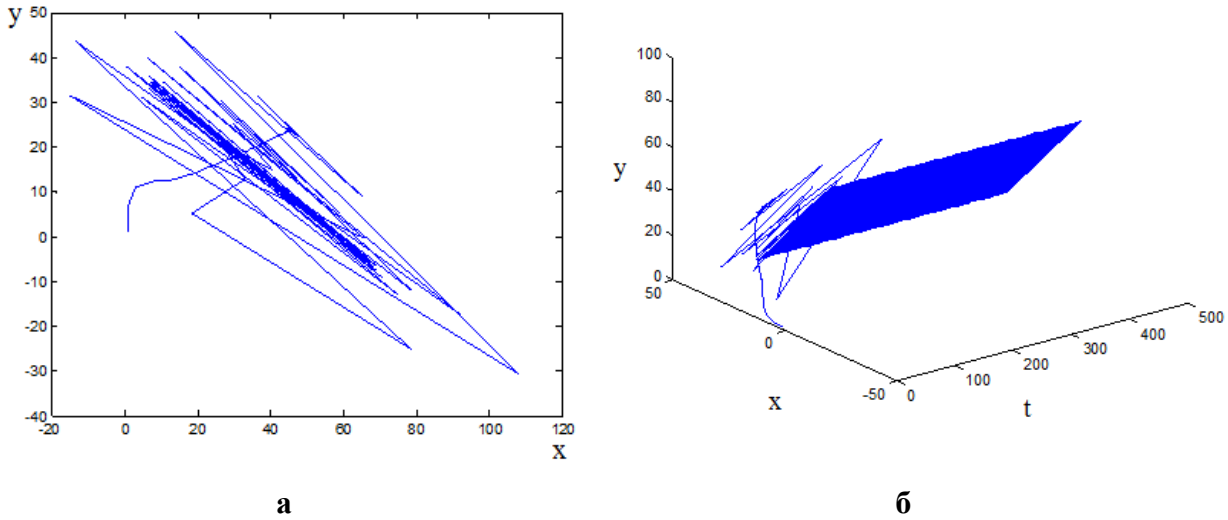


Рис. 6. Перехідний процес і атрактор системи (а) та його еволюція (б)

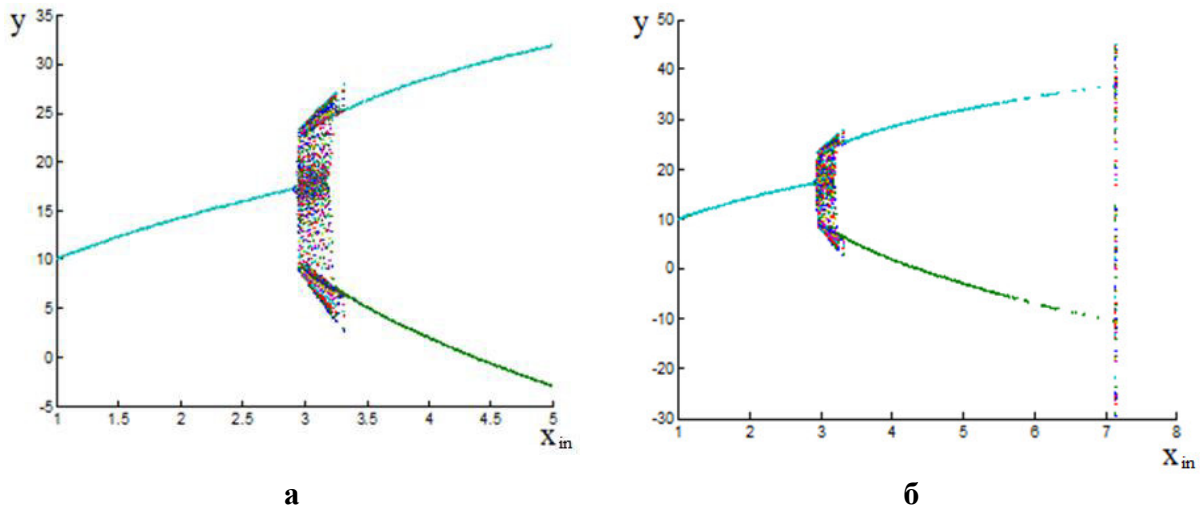


Рис. 7. Біфуркаційна діаграма: а - при x_{in} в інтервалі $[1, 5]$; б - при x_{in} в інтервалі $[1, 8]$

Таким чином, турбулентність і сингулярність динамічних систем типу системи (1), для яких характерна наявність позитивних зворотних зв'язків, визначаються природними властивостями цих систем. Турбулентність виникає як при включенні вхідного інформаційного потоку, так і при його виключенні. Управління вхідним потоком не змінює якісний характер турбулентності, який визначається властивостями системи (1), але дозволяє зменшити величину викидів та сингулярності.

Отримані в даній роботі результати, застосовні у багатьох областях. Наприклад, силова установка автомобіля на холостих обертах може викликати сильні коливання корпусу автомобіля, навіть якщо він стоїть на місці. Під час руху збільшуються потужність і обороти двигуна, а трясіння корпусу зникає і далі залежить лише від

нерівностей дороги. Процеси виводу на повну потужність крупних енергетичних агрегатів, атомних реакторів тощо та їх зупинка також проявляють ознаки нестійкості.

Формулювання гіпотези сингулярності динаміки інцидентів кібербезпеки

Сфера забезпечення кібербезпеки, технології і техніки її забезпечення в історичному сенсі є молодими, але вже складними системами. Вони, як і сфера інформаційних технологій, а також як інформаційне суспільство, знаходяться в стадії становлення, ще не завершили свого етапу бурхливого розвитку. Більшість процедур руху, обробки й використання інформаційних потоків є циклічними. Як і в будь-якій складній системі з позитивними зворотними зв'язками, процеси обробки інформації та забезпечення кібербезпеки можуть мати області нестійкості, в них можуть мати місце турбулентність і сингулярність.

Гіпотеза обґрунтована завдяки створенню моделі процесу циклічної обробки інформаційного потоку системою, складеною із послідовності етапів обробки, пов'язаних прямими й зворотними взаємозв'язками, і кожен з етапів виконується циклічним повторенням операцій обробки інформаційного потоку. Гіпотеза підтверджується характером перехідного процесу від моменту включення на вході інформаційного потоку до встановлення стаціонарного режиму. На протязі перехідного процесу при певних параметрах моделі виникають біфуркації, турбулентності і сингулярність. Сингулярність є природною властивістю такого роду систем.

Для усунення сингулярності вирішальне значення мають методи управління перехідним процесом, методи обмеження інтенсивності інформаційних потоків в їх деструктивній частині та методи планування продуктивності систем обробки інформаційних потоків. Що стосується систем кібербезпеки, вказані методи лежать не лише в технічній і технологічних сферах, а в значній мірі в організаційній, соціальній та психологічних сферах.

Висновки

Гіпотеза щодо сингулярного характеру динаміки кількості інцидентів кібербезпеки обґрунтована завдяки застосуванню математичної моделі циклічного поетапного процесу обробки інформаційного потоку з включеними до нього етапами забезпечення кібербезпеки. Проведене дослідження моделі динамічних систем з чотирьохрівневим потоком показало, що в них можуть виникати стаціонарні квазіперіодичні коливання, біфуркації, а в перехідний період можливі турбулентність і сингулярність. Для усунення впливу сингулярностей необхідні додаткові позасистемні заходи, зокрема в організаційній, соціальній та психологічних сферах.

Список літератури

1. Обзор кибербезопасности / Рекомендация МСЭ-Т X.1205 // Безопасность электросвязи. – Женева: 2008. – 56 с.
2. Бурачок, В.Л. Інформаційна та кібербезпека: соціотехнічний аспект: підручник / В.Л. Бурачок, В. Б. Толубко, В. О. Хорошко, С. В. Толюпа, за заг. ред. д-ра техн. наук, професора В. Б. Толубка. – К.: ДУТ, 2015. – 288 с.
3. Захарченко, А.А. Черводинамика: причины и следствия / А.А. Захарченко // Защита информации. Конфидент. – 2004. – № 2. – С. 50 – 55.
4. Котенко, И.В. Аналитические модели распространения сетевых червей / И.В. Котенко, В.В. Воронцов // Труды СПИИРАН. – СПб.: Наука, 2007. – Вып. 4 – С. 208-224. – Режим доступа: <http://www.proceedings.spiras.nw.ru/data/src/2007/04/00/spyproc-2007-04-00-15.pdf>.
5. Кононович, І.В. Динаміка кількості інцидентів інформаційної безпеки / І.В. Кононович // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2014. – Т.3. – №3. – С. 35 - 43.

6. Кононович, В.Г. Вплив затримки прийняття заходів із захисту інформації на ризики інформаційної безпеки / В.Г. Кононович, І.В. Кононович, Ю.В. Копитін, С.В. Стайкуца // *Безпека інформації*. – 2014. – Том 20. – № 1. – С. 83 - 91.
7. The UK Cyber Security Strategy. Protecting and promoting the UK in a digital world: [Електронний ресурс] // Cabinet Office 22 Whitehall London SW1A 2WH. Режим доступу: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/60961/uk-cyber-security-strategy-final.pdf
8. Малинецкий, Г.Г. Нелинейная динамика и хаос. Основные понятия: Учебное пособие. / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов. – М.: КомКнига, 2006. – 240 с.
9. Кононович, В.Г. Нелінійні моделі циклічного управління кібербезпекою / В.Г. Кононович, І.В. Кононович, А.І. Міхова // *Інформаційні управляючі системи та технології*. – 2015. – С. 171 – 173.
10. Кононович, В.Г. Модель системы информационной безопасности консолидированной информации при информационном противоборстве (Раздел 16) / В.Г. Кононович, И.В. Кононович // *Информационные технологии и защита информации в информационно-коммуникационных системах : монография / под редакцией В.С. Пономаренко*. – Х.: Вид-во ТОВ «Щедра садиба плюс», 2015. – С. 220 – 233.
11. Кузнецов, Н.А. Информационная безопасность системы организационного управления. Теоретические основы : в 2 т. / Н.А. Кузнецов, В.В. Кульба, Е.А. Микрин и др.; [отв. ред. Н.А. Кузнецов, В.В. Кульба]; Ин-т проблем передачи информ. РАН. – М.: Наука, 2006. – Т.1 – 495 с.
12. Табор, М. Хаос и интегрируемость в нелинейных системах / М. Табор . Пер. с англ. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 320 с.
13. Кузнецов, А.П. Введение в физику нелинейных отображений / А.П. Кузнецов, А.В. Савин, Л.В. Тюркина. – Саратов: изд-во «Научная книга», 2010. – 134 с.
14. Постнов, Д.Э. Методы нелинейной динамики: Учеб. Пособие для студ. физ. фак. / Д.Э. Постнов, А.Н. Павлов, С.В. Астахов. – Саратов, 2008. – 120 с.
15. Гергега, А.Н. Моделирование самоорганизации динамических дисперсных систем. Спонтанная организация двухфазного потока / А.Н. Гергега, Т.Л. Лозовский // *Электронное моделирование*. – 2008. – № 3. – Т. 30. – С. 3 - 12.

ГИПОТЕЗА И ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИНГУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ИНЦИДЕНТОВ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А.Н. Гергега¹, С.А. Гнатюк², В.Г. Кононович³, И.В. Кононович¹

¹Одесская национальная академия пищевых технологий
ул. Канатная, 112, м. Одесса, 65039, Украина; e-mail: kononovich@mail.ru

²Национальный авиационный университет
просп. Космонавта Комарова, 1, м Київ, 03680, Україна; e-mail: s.gnatyuk@nau.edu.ua

³Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: vl_kononovich@ukr.net

Статистика свидетельствует о высоких темпах роста количества деструктивных инцидентов информационной безопасности. Но факторы, вызывающие это явление, исследованы недостаточно. Они не охватывают широкий спектр характеристик и не раскрывают полного формального и системного подхода к решению задач кибербезопасности. В связи с этим, сформулирована гипотеза относительно сингулярности динамики информационного потока с деструктивными и полезными характеристиками. Разработана простая математическая модель многоступенчатой обработки и фильтрации информационного потока с обратными связями для обеспечения кибербезопасности. Проведенное исследование четырех ступенчатой динамической системы показало, что в них могут возникать стационарные, квазипериодические колебания и динамический хаос. В переходной период могут возникать турбулентность и сингулярность. Использование механических аналогий способствовало более точному пониманию результатов исследования. Сделан вывод относительно объективности турбулентных и сингулярных явлений переходного периода и относительно необходимых внесистемных мероприятий обеспечения кибербезопасности.

Ключевые слова: кибернетическая безопасность, модель динамической системы, турбулентность, сингулярность, бифуркации, инциденты кибербезопасности

HYPOTHESIS AND FORMAL MODEL FOR SINGULAR DYNAMIC OF CYBERSECURITY INCIDENTS

O.M.Herega¹, S.O. Gnatyuk², V.G. Kononovich³, I.V. Kononovich¹

¹Odessa National Academy of Food Technologies

112, Kanatna Str, Odessa, 65039, Ukraine; e-mail: kononovich@mail.ru

²National Aviation University

1, Kosmonavta Komarova Ave, 03680 Kyiv, Ukraine; e-mail: s.gnatyuk@nau.edu.ua

³Odessa National Polytechnic University,

1, Shevchenko Str, Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: konrac1993@gmail.com

Statistics show high rates of increase in the number of destructive information security incidents. But the factors that cause this phenomenon, investigated enough. They cover a wide range of characteristics and do not reveal the full formal and system approach to solving cyber security tasks. Accordingly, a hypothesis on the dynamics of information flow singularity of destructive and beneficial characteristics was formulated. A simple mathematical model of multi-processing and filtering the information flow with feedback to ensure cybersecurity was developed. The study of four-stage dynamic system showed that it may have fixed quasi-periodic oscillations and dynamic chaos. In the transition period turbulence and singularity are possible. The use of mechanical analogies contributed to a more accurate understanding of research results. The conclusion was made about objectivity and singularity phenomena of turbulent transition and exogenous on the necessary measures to ensure cybersecurity.

Keywords: cybernetic security, model of dynamic system, turbulent, singularly, bifurcation, cybersecurity incident