

ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ОПТИМАЛЬНОСТІ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ НАПАДУ НА ІНФОРМАЦІЮ Р-ПЕРЕТВОРЕННЯМИ

Нагальна потреба в розв'язанні все більш складних задач захисту інформації в інформаційно-комунікаційних системах (ІКС), в першу чергу обумовлена динамічними властивостями процесів нападу на інформацію і, як наслідок, відсутністю чітко формалізованих математичних моделей, що описують такі процеси. Тому розробка математичних моделей процесу нападу на інформацію є актуальною науковою задачею, яка має важливе прикладне значення.

З аналізу доступної літератури [1-5] можна зробити висновок, що на сьогоднішній день відомі моделі процесу нападу на інформацію є або суто абстрактними [1, 2], або стаціонарними [3-5]. Як стверджується у [1] абстрактні моделі широкого практичного використання не знайшли. Моделі другої групи [3-5] можуть використовуватися лише у частинних випадках, чим значно звужується область їх застосування, а відповідно і практична цінність.

У статті [6] авторами вперше запропоновано подати інформаційний конфлікт в ІКС у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена, що найбільш адекватно описує природу інформаційного протистояння суб'єктів інформаційного конфлікту – сторони, що атакує і сторони, яка захищається. Але нестационарна природа поведінки суб'єктів щодо розподілу наявних інформаційних ресурсів, які виділяються для несанкціонованого доступу (НСД) до інформації або її захисту відповідно, вимагає розробки принципово нової моделі процесу нападу на інформацію, відмінної від [6]. Аналіз літературних джерел з даного питання показав відсутність аналогів, що зумовлює актуальність даних досліджень.

Метою статті є розробка нової моделі процесу нападу на інформацію, що описуватиме його імовірнісну природу, нестационарну поведінку суб'єктів інформаційного конфлікту в процесі розподілу інформаційних ресурсів і, при цьому, характеризуватиметься динамічними властивостями на заданому часовому інтервалі моделювання.

Постановка задачі. Нехай тривалість інформаційного конфлікту T обмежується тривалістю реалізації НСД до технічного об'єкта (ТО), тобто

$$t \in [0, T]. \quad (1)$$

Найпростіша графова модель процесу нападу на інформацію з нестационарною природою поведінки суб'єктів інформаційного конфлікту, що описує можливі стани ТО на інтервалі (1), має вигляд рис. 1.

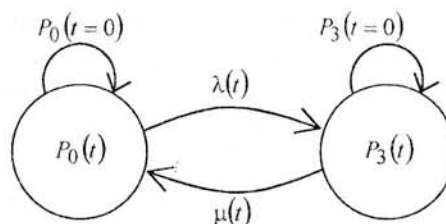


Рис. 1. Графова модель процесу нападу на інформацію
з нестационарною зміною інтенсивностей інформаційних потоків

У подальшому для переходу до диференціально-ігрового базису в задачі, що розв'язується суб'єктів інформаційного конфлікту називатимемо гравцями, а правила розподілу їх інформаційних ресурсів – стратегіями [7].

Під впливом стратегії гравця, що захищається

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \lambda_1 t, \quad (2)$$

або гравця, що атакує

$$\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 t \quad (3)$$

ТО може перебувати у одному з двох типових станів (див. рис. 1) – під впливом методів НСД, з ймовірністю $P_0(t)$ або – під впливом методів захисту інформації (МЗІ), з ймовірністю $P_3(t)$.

На стратегії гравців, як інформаційні ресурси, накладаються обмеження загального вигляду

$$\lambda_{0 \min} \leq \lambda_0 \leq \lambda_{0 \max}, \quad (4)$$

$$\lambda_{1 \min} \leq \lambda_1 \leq \lambda_{1 \max}, \quad (5)$$

$$\mu_{0 \min} \leq \mu_0 \leq \mu_{0 \max}, \quad (6)$$

$$\mu_{1 \min} \leq \mu_1 \leq \mu_{1 \max}, \quad (7)$$

де $\lambda_{0 \min}$, $\lambda_{1 \min}$ і $\mu_{0 \min}$, $\mu_{1 \min}$ – мінімальні, а $\lambda_{0 \max}$, $\lambda_{1 \max}$ і $\mu_{0 \max}$, $\mu_{1 \max}$ – максимальні інтенсивності потоків захисних дій та інформаційних атак, відповідно.

З урахуванням (2) та (3) на інтервалі (1) динамічні властивості процесу інформаційного конфлікту описуються з використанням загальновідомого правила [8].

У результаті складається система диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена вигляду

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -(\lambda_0 + \lambda_1 t)P_0(t) + (\mu_0 + \mu_1 t)P_3(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = (\lambda_0 + \lambda_1 t)P_0(t) - (\mu_0 + \mu_1 t)P_3(t). \end{cases} \quad (8)$$

Початкові умови приймаються рівними

$$P_0(t=0) = 1, \quad P_3(t=0) = 0. \quad (9)$$

Для будь-якого моменту часу t , в межах (1), сума всіх ймовірностей дорівнюватиме одиниці (умова нормування), тобто

$$P_0(t) + P_3(t) = 1. \quad (10)$$

Антагонізм інтересів гравців у даній диференціальній грі призводить до необхідності знаходження такого рішення $P_0^{opt}(t)$ з множини можливих рішень $P_0(t)$, що складається з векторів $P_0(t) = \{P_{0_i}(t)\}_{i=1}^n$ n -мірного евклідового простору, де $P_0^{opt}(t) \in P_0(t)$, яке при заданих умовах (1)-(3) і обмеженнях (4)-(7) оптимізує рішення системи (8).

Плата I_0 , що виступає критерієм якості рішення системи (8), у загальному вигляді може бути подана сукупністю частинних критеріїв (критеріїв оптимізації), заданих функціоналами [9, 10]

$$I_j = \Phi_j[\lambda_0, \lambda_1, \mu_0, \mu_1, T, P_0(t)], \quad (11)$$

де $j=1, 2, 3, \dots, r$; Φ_j – функції, що мають неперервні частинні похідні по $\lambda_0, \lambda_1, \mu_0, \mu_1$. Частинні критерії (11) є компонентами r -мірного векторного критерію $I_0^* = (I_1, I_2, \dots, I_r)$. Вектор частинних критеріїв обмежений допустимою областю $I \in M$.

У роботі [11] запропоновано багатокритеріальні моделі оптимізації динамічних процесів, що описуються системами диференціальних рівнянь. Так, згідно багатокритеріальної моделі інтегральної оптимальності на основі частинних критеріїв (11) багатокритеріальна задача зводиться до мінімізації лінійної форми компонент скалярного критерію з постійними ваговими коефіцієнтами α_j [9-11]

$$I_0 = \sum_{j=1}^r \alpha_j I_j, \quad (12)$$

де $\alpha_j > 0$, $\sum_{j=1}^r \alpha_j = 1$.

Подамо частинні критерії разом з їх обмеженнями.

Перший критерій I_1 є усередненою, на інтервалі моделювання $[0, T]$, ймовірністю перебування ТО під впливом методів НСД

$$I_1 = \alpha_1 \int_0^T P_0(t) dt, \quad (13)$$

де $\alpha_1 = \frac{1}{T}$, з обмеженням

$$0 \leq I_1 \leq I_{1max}, \quad (14)$$

де $I_{1max} = 1$.

Другий частинний критерій I_2 відповідає за витрати ресурсів, які виділено на захист інформації, гравцеві, що захищається

$$I_2 = \alpha_2 \int_0^T \lambda^2(t) dt, \quad (15)$$

з обмеженнями

$$0 \leq I_2 \leq I_{2max}. \quad (16)$$

Третій частинний I_3 обрано виходячи з умов антагонізму інтересів гравців [7, 12]

$$I_3 = -\alpha_3 \int_0^T \mu^2(t) dt, \quad (17)$$

з обмеженнями

$$0 \leq I_3 \leq I_{3max}. \quad (18)$$

Застосування моделі (12) дозволяє подати плату I_0 інтегральною моделлю вигляду

$$I_0 = \alpha_1 \int_0^T P_0(t) dt + \alpha_2 \int_0^T \lambda^2(t) dt - \alpha_3 \int_0^T \mu^2(t) dt. \quad (19)$$

Нормалізація частинних критеріїв (13), (15) та (17) потребує приведення їх до безрозмірної форми, шляхом виконання умов нормування

$$\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3 = 1. \quad (20)$$

Єдиною гарантованою стратегією поведінки гравців в умовах антагонізму є дотримання ними принципу мінімаксу [7, 12]. Тобто першому гравцеві, що захищається, доцільно дотримуватися стратегії $\lambda(t)$, що мінімізує плату $I_0^*(\lambda(t), \mu(t))$

$$I_0^*(\lambda(t), \mu(t)) = \min_{\lambda(t) \in E_\lambda} \max_{\mu(t) \in E_\mu} I_0, \quad (21)$$

де E_λ , E_μ - замкнені обмежені у евклідових просторах R_λ і R_μ множини, що визначають можливі стратегії гравців, а другому – стратегії $\mu(t)$, що максимізує плату $I_0^*(\lambda(t), \mu(t))$, за умови мінімізації плати першим гравцем

$$I_0^*(\lambda(t), \mu(t)) = \max_{\mu(t) \in E_\mu} \min_{\lambda(t) \in E_\lambda} I_0. \quad (22)$$

При виборі гравцями оптимальних стратегій $\lambda^{opt}(t)$ і $\mu^{opt}(t)$ та виконанні співвідношення

$$I_0^*(\lambda^{opt}(t), \mu^{opt}(t)) = \min_{\lambda(t) \in E_\lambda} \max_{\mu(t) \in E_\mu} I_0 = \max_{\mu(t) \in E_\mu} \min_{\lambda(t) \in E_\lambda} I_0 \quad (23)$$

існує сідлова точка гри [7]. Існування сідлової точки свідчить про недоцільність відхилення гравцями від оптимальних стратегій, оскільки будь-яке відхилення від оптимальної стратегії одним з гравців призводить до втрат в платі, при умові вибору оптимальної стратегії іншим гравцем [7, 12]

$$I_0^*(\lambda(t), \mu^{opt}(t)) \geq \min_{\lambda(t) \in E_\lambda} I_0(\lambda(t), \mu^{opt}(t)), \quad (24)$$

$$I_0^*(\lambda^{opt}(t), \mu(t)) \leq \max_{\mu(t) \in E_\mu} I_0(\lambda^{opt}(t), \mu(t)). \quad (25)$$

При одночасному виборі гравцями оптимальних стратегій палата (23) називається ціною гри.

Для отримання аналітичного рішення системи (8) застосуємо P -перетворення (диференціально-тейлорівські перетворення, ДТ-перетворення) [13, 14], які знайшли широке застосування для розв'язання багатьох прикладних задач, що описуються диференціальними рівняннями: наприклад в задачах знаходження оптимальних процесів управління. За допомогою P -перетворень диференціальні рівняння зводяться до систем кінцевих рівнянь, які розв'язуються одним із відомих методів [13, 14].

На відміну від відомих інтегральних перетворень Лапласа і Фур'є у P -перетвореннях перехід від оригіналів до зображень здійснюється з використанням операції диференціювання [13]. P -перетвореннями називаються функціональні перетворення вигляду [14]

$$X(k) = \underline{x}(k) = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k x(t)}{dt^k} \right]_{t=0} \cdot x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^k X(k), \quad (26)$$

де $x(t)$ - оригінал, що являє собою безперервну, що диференціюється нескінченне число разів і обмежену разом із всіма своїми похідними, функцію дійсного аргументу t ; $X(k)$ і $\underline{x}(k)$ рівноцінні позначення диференціального зображення оригіналу, що представляє дискретну (гратчасту) функцію цілочисельного аргументу $k = 0, 1, 2, \dots$; H - масштабна стала, яка має розмірність аргументу t і часто обирається рівною відрізка $0 \leq t \leq H$, на якому розглядається функція $x(t)$; $\cdot$ - символ відповідності між оригіналом $x(t)$ і його диференціальним зображенням $X(k) = \underline{x}(k)$.

У перетвореннях (26) зліва від символу $\cdot$ стоїть пряме перетворення, що дозволяє за оригіналом $x(t)$ знайти зображення $X(k)$, а праворуч – зворотне перетворення, що дозволяє за зображенням $X(k)$ отримати оригінал $x(t)$ у формі степеневого ряду, який є ні чим іншим, як інакше записаним рядом Тейлора з центром у точці $t = 0$ [13]. Диференціальні зображення $X(k)$ називаються диференціальними Т-спектрами, а значення Т-функції $X(k)$, при конкретних значеннях аргументу k , називаються дискретами [13].

З системи диференціальних рівнянь (8), з урахуванням умови нормування (10), в області оригіналів подамо модель процесу нападу на інформацію

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda_0 P_0(t) - \lambda_1 t P_0(t) + \mu_0 + \mu_1 t - \mu_0 P_0(t) - \mu_1 t P_0(t), \quad (27)$$

яка в області P -зображень при $H = T$ матиме вигляд

$$P_0(k+1) = \frac{T}{k+1} (-\lambda_0 P_0(k) - \lambda_1 T P_0(k-1) + \mu_0 T(k) + \mu_1 T(k-1) - \mu_0 P_0(k) - \mu_1 T P_0(k-1)), \quad (28)$$

де

$$\frac{dP_0(t)}{dt} \cdot D P_0(k) = \frac{k+1}{T} P_0(k+1), \quad (29)$$

де D - символ Т-диференціювання [13]

$$- \lambda_0 P_0(t) \cdot - \lambda_0 P_0(k), \quad (30)$$

$$-\lambda_1 t P_0(t) = -\lambda_1 T P_0(k-1) = \begin{cases} -\lambda_1 T P_0(k-1), & k \geq 1, \\ 0, & k < 1, \end{cases} \quad (31)$$

$$\mu_0 = \mu_0 v(k) = \begin{cases} \mu_0, & k = 0, \\ 0, & k \geq 1, \end{cases} \quad (32)$$

де $v(k)$ - теда [13], $v(k) = \begin{cases} 1, & k = 0, \\ 0, & k \geq 1, \end{cases}$

$$\mu_1 t = \mu_1 T v(k-1) = \begin{cases} \mu_1 T v(k-1), & k = 1, \\ 0, & k \neq 1, \end{cases} \quad (33)$$

$$-\mu_0 P_0(t) = -\mu_0 P_0(k), \quad (34)$$

$$-\mu_1 t P_0(t) = -\mu_1 T P_0(k-1). \quad (35)$$

Присвоївши послідовно цілочисельні значення аргументу $k = 0, 1, 2$, дискрети диференціального спектра (28) дорівнюватимуть

$$P_0(0) = 1, \quad (36)$$

$$P_0(1) = -\lambda_0 T, \quad (37)$$

$$P_0(2) = \frac{1}{2} (\lambda_0^2 - \lambda_1 + \lambda_0 \mu_0) T^2, \quad (38)$$

$$P_0(3) = -\frac{1}{6} (\lambda_0^3 - 3\lambda_0 \lambda_1 + 2\lambda_0^2 \mu_0 - \lambda_1 \mu_0 + \lambda_0 \mu_0^2 - 2\lambda_0 \mu_1) T^3. \quad (39)$$

Позначимо

$$u(t) = \lambda^2(t) = (\lambda_0 + \lambda_1 t)^2 = \lambda_0^2 + 2\lambda_0 \lambda_1 t + \lambda_1^2 t^2, \quad (40)$$

$$v(t) = \mu^2(t) = (\mu_0 + \mu_1 t)^2 = \mu_0^2 + 2\mu_0 \mu_1 t + \mu_1^2 t^2. \quad (41)$$

P -зображення $u(t)$ (40) і $v(t)$ (41) мають наступний вигляд

$$U(k) = \lambda_0^2 v(k) + 2\lambda_0 \lambda_1 T v(k-1) + \lambda_1^2 T^2 v(k-2), \quad (42)$$

$$V(k) = \mu_0^2 v(k) + 2\mu_0 \mu_1 T v(k-1) + \mu_1^2 T^2 v(k-2). \quad (43)$$

Тоді дискрети визначаються як

$$U(0) = \lambda_0^2, \quad (44)$$

$$U(1) = 2\lambda_0 \lambda_1 T, \quad (45)$$

$$U(2) = \lambda_1^2 T^2, \quad (46)$$

$$V(0) = \mu_0^2, \quad (47)$$

$$V(1) = 2\mu_0 \mu_1 T, \quad (48)$$

$$V(2) = \mu_1^2 T^2, \quad (49)$$

де $U(k \geq 3) = 0$, $V(k \geq 3) = 0$.

У області P -зображень плата (19) матиме вигляд [13, 14]

$$I_0 = \sum_{k=0}^{k=\infty} \frac{P_0(k)}{k+1} + \alpha_2 T \sum_{k=0}^{k=\infty} \frac{U(k)}{k+1} - \alpha_3 T \sum_{k=0}^{k=\infty} \frac{V(k)}{k+1}, \quad (50)$$

яка після підстановки відповідних дискрет (36)-(38) і (44)-(49) набуває вигляду функціонала

$$I_0^*(\lambda(t), \mu(t)) = 1 - \frac{1}{2} \lambda_0 T + \frac{1}{6} (\lambda_0^2 - \lambda_1 + \lambda_0 \mu_0) T^2 + \alpha_1 \lambda_0^2 T + \alpha_1 \lambda_0 \lambda_1 T^2 + \frac{1}{3} \alpha_1 \lambda_1^2 T^3 - \\ - \alpha_2 \mu_0^2 T - \alpha_2 \mu_0 \mu_1 T^2 - \frac{1}{3} \alpha_2 \mu_1^2 T^3. \quad (51)$$

Дослідження функціонала (51) на екстремум згідно виразу

$$\begin{cases} \frac{\partial I_0^*(\lambda(t), \mu(t))}{\partial \lambda_0} = 0; \\ \frac{\partial I_0^*(\lambda(t), \mu(t))}{\partial \lambda_1} = 0; \\ \frac{\partial I_0^*(\lambda(t), \mu(t))}{\partial \mu_0} = 0; \\ \frac{\partial I_0^*(\lambda(t), \mu(t))}{\partial \mu_1} = 0, \end{cases} \quad (52)$$

зводиться до системи лінійних алгебраїчних рівнянь вигляду

$$\begin{cases} -\frac{1}{2} + \frac{1}{6}(2\lambda_0 + \mu_0)T + 2\alpha_2\lambda_0 + \alpha_2\lambda_1T = 0; \\ -\frac{1}{6} + \alpha_2\lambda_0 + \frac{2}{3}\alpha_2\lambda_1T = 0; \\ \frac{1}{6}\lambda_0T - 2\alpha_3\mu_0 - \alpha_3\mu_1T = 0; \\ -\alpha_3\mu_0 - \frac{2}{3}\alpha_3\mu_1T = 0. \end{cases} \quad (53)$$

Рішення системи (53) дозволяє визначити відповідні оптимальні стратегії $\lambda^{opt}(t)$ і $\mu^{opt}(t)$

$$\lambda^{opt}(t) = \lambda_0^{opt} + \lambda_1^{opt}t = -\frac{9\alpha_3}{2(6\alpha_3T + 9\alpha_2\alpha_3 + T^2)} + \frac{6\alpha_3T - 18\alpha_2\alpha_3 + T^2}{4\alpha_2(6\alpha_3T + 9\alpha_2\alpha_3 + T^2)}t, \quad (54)$$

$$\mu^{opt}(t) = \mu_0^{opt} + \mu_1^{opt}t = \frac{3T}{2(6\alpha_3T + 9\alpha_2\alpha_3 + T^2)} - \frac{9}{4(6\alpha_3T + 9\alpha_2\alpha_3 + T^2)}t. \quad (55)$$

Виконання достатніх умов

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 I_0^*(\lambda(t), \mu(t))}{\partial \lambda_0^2} > 0; \\ \frac{\partial^2 I_0^*(\lambda(t), \mu(t))}{\partial \lambda_1^2} > 0; \\ \frac{\partial^2 I_0^*(\lambda(t), \mu(t))}{\partial \mu_0^2} < 0; \\ \frac{\partial^2 I_0^*(\lambda(t), \mu(t))}{\partial \mu_1^2} < 0, \end{cases} \quad (56)$$

свідчить про існування у даній грі сідлової точки.

При виконанні достатніх умов (56), з урахуванням (54) і (55), визначається ціна гри (23), що дорівнює

$$\begin{aligned}
 I_0^*(\lambda^{opt}(t), \mu^{opt}(t)) = & 1 - \frac{9\alpha_3 T}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)} + \frac{1}{6} \left(\frac{81\alpha_3^2}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} - \right. \\
 & \left. - \frac{6\alpha_3 T - 18\alpha_2 \alpha_3 + T^2}{4\alpha_2(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)} T + \frac{27\alpha_3 T}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} \right) T^2 + \frac{81\alpha_2 \alpha_3^2 T}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} + \\
 & + \frac{9\alpha_3(6\alpha_3 T - 18\alpha_2 \alpha_3 + T^2)T}{8(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} + \frac{(6\alpha_3 T - 18\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2 T}{48\alpha_2(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} - \frac{9\alpha_3 T^3}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} + \\
 & + \frac{27\alpha_3 T^3}{(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)(24\alpha_3 T + 36\alpha_2 \alpha_3 + 4T^2)} - \frac{27\alpha_3 T^3}{(24\alpha_3 T + 36\alpha_2 \alpha_3 + 4T^2)^2}.
 \end{aligned} \quad (57)$$

Оптимальна траєкторія $P_0^{opt}(t)$, що є моделлю процесу нападу на інформацію в області оригіналів, визначається через дискрети (36)-(39) аналітичною моделлю вигляду

$$\begin{aligned}
 P_0^{opt}(t) = & 1 - \frac{9\alpha_3}{2(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)} t + \frac{1}{2T} \left(\frac{81\alpha_3^2 T}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} - \right. \\
 & \left. - \frac{6\alpha_3 T - 18\alpha_2 \alpha_3 + T^2}{4\alpha_2(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)} + \frac{27\alpha_3 T^2}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} \right) t^2 - \frac{1}{3T^2} \left(\frac{9}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)} \times \right. \\
 & \times \left(\alpha_3 T \left(\frac{81}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} (\alpha_3^2 T) - \frac{6\alpha_3 T - 18\alpha_2 \alpha_3 + T^2}{4\alpha_2(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)} + \frac{27\alpha_3 T^2}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} \right) \right) - \\
 & - \frac{9\alpha_3(6\alpha_3 T - 18\alpha_2 \alpha_3 + T^2)T}{8\alpha_2(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} + \frac{3}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)} \left(T^2 \left(\frac{81}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} (\alpha_3^2 T) - \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{6\alpha_3 T - 18\alpha_2 \alpha_3 + T^2}{4\alpha_2(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)} + \frac{27\alpha_3 T^2}{4(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)^2} \right) \right) + \frac{81\alpha_3 T^2}{2(24\alpha_3 T + 36\alpha_2 \alpha_3 + 4T^2)} \times \\
 & \left. + \frac{1}{(6\alpha_3 T + 9\alpha_2 \alpha_3 + T^2)} \right) t^3.
 \end{aligned} \quad (58)$$

При відхиленні гравців від оптимальних стратегій $\lambda^{opt}(t)$ (54) і $\mu^{opt}(t)$ (55) траєкторія гри в області оригіналів матиме вигляд

$$P_0(t) = 1 - \lambda_0 t - \frac{1}{2} (\lambda_0^2 - \lambda_1 + \lambda_0 \mu_0) t^2 - \frac{1}{6} (\lambda_0^3 - 3\lambda_0 \lambda_1 + 2\lambda_0^2 \mu_0 - \lambda_1 \mu_0 + \lambda_0 \mu_0^2 - 2\lambda_0 \mu_1) t^3. \quad (59)$$

Таким чином, диференціальна гра вирішена повністю, оскільки знайдено оптимальні стратегії (54), (55), ціну гри (57) та оптимальну траєкторію гри (58).

Приклад. Нехай НСД на ТО триває 1 сек. ($T=1$), $\alpha_2 = \frac{1}{T} = 1$, виходячи з виразу (20) $\alpha_3 = 1$. Тоді рішенням диференціальної гри будуть

оптимальні стратегії, що матимуть вигляд

$$\lambda^{opt}(t) = \frac{9}{32} - \frac{11}{64}t, \quad (60)$$

$$\mu^{opt}(t) = \frac{3}{32} - \frac{9}{64}t, \quad (61)$$

ціна гри, яка дорівнює

$$I_0^*(\lambda^{opt}(t), \mu^{opt}(t)) = \frac{725}{768} \approx 0.944 \quad (62)$$

і оптимальна траєкторія

$$P_0^{opt}(t) = 1 - \frac{9}{32}t - \frac{71}{512}t^2 + \frac{191}{4096}t^3. \quad (63)$$

На рис. 2 приведено результати моделювання диференціальної гри при застосуванні багатокритеріальної моделі інтегральної оптимальності за отриманими результатами (60)-(63). Вихідні дані, що використано для побудови графіків (рис. 2), подано у таблиці.

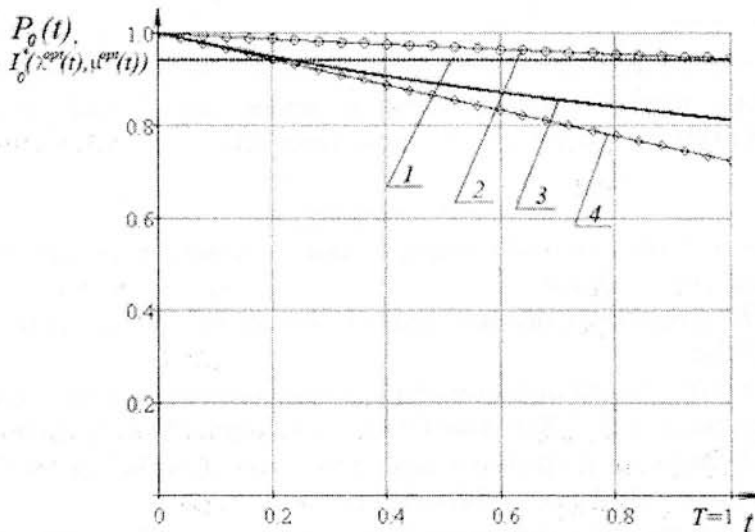


Рис. 2. Дослідження поведінки моделі процесу нападу на інформацію

при різних стратегіях гравців: 1 – ціна гри $I_0^*(\lambda^{opt}(t), \mu^{opt}(t))$;

2 – $P_0(t)$ при $\lambda(t) < \lambda^{opt}(t)$, $\mu^{opt}(t)$; 3 – $P_0^{opt}(t)$; 4 – $P_0(t)$ при $\lambda^{opt}(t)$, $\mu(t) < \mu^{opt}(t)$

Аналіз результатів моделювання (див. рис. 2) показує, що гравцям доцільно дотримуватися оптимальних стратегій поведінки (60) і (61). Відхилення хоча б одного з гравців від його оптимальної стратегії призведе до програшу ним у платі і, відповідно, виграшу другого гравця (див. табл.).

Висновки: вперше для моделювання процесів нападу на інформацію P -перетвореннями застосовано багатокритеріальну модель інтегральної оптимальності, що дозволило в аналітичній формі отримати рішення диференціальної гри, в якій природа розподілу інформаційних ресурсів носить нестационарний характер.

Таблиця
Вхідні дані для моделювання

Умови	$\lambda^{opt}(t), \mu^{opt}(t),$ $P_0^{opt}(t)$	$\lambda^{opt}(t), \mu(t) < \mu^{opt}(t),$ $P_0(t) < P_0^{opt}(t)$	$\lambda(t) < \lambda^{opt}(t), \mu^{opt}(t),$ $P_0(t) > P_0^{opt}(t)$
T , сек.	1		
$\alpha_1 = \frac{1}{T}$	1		
$\alpha_2 = \frac{1}{T}$	1		
$\alpha_3 = 1 + \alpha_1 - \alpha_2$	1		
$\lambda(t)$	$\frac{9}{32} - \frac{11}{64}t$	$\frac{9}{32} - \frac{11}{64}t$	$\frac{1}{16} - \frac{1}{64}t$
$\mu(t)$	$\frac{3}{32} - \frac{9}{64}t$	$\frac{1}{320} - t$	$\frac{3}{32} - \frac{9}{64}t$
$P_0(t)$	$1 - \frac{9}{32}t - \frac{71}{512}t^2 + \frac{191}{4096}t^3$	$1 - \frac{9}{32}t - \frac{2579}{20480}t^2 + \frac{2394689}{19660800}t^3$	$1 - \frac{1}{16}t - \frac{13}{1024}t^2 + \frac{385}{98304}t^3$
$t_0^*(\lambda(t), \mu(t))$	0.944	0.612	0.974

У подальшому планується отримати рішення даної диференціальної гри із застосуванням інших схем багатокритеріальної оптимізації.

Список літератури

1. Мельников В.В. Безопасность информации в автоматизированных системах. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 368 с.
2. Бабак В.П. Теоретичні основи захисту інформації: Підручник. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2008 – 752 с.
3. Поповский В.В. Защита информации в телекоммуникационных системах: Учебник / Поповский В.В., Персиков А.В. – Харьков: ООО "Компания СМИТ", 2006. – 238 с.
4. Ленков С.В. Методы и средства защиты информации: в 2-х т / С.В. Ленков, Д.А. Перегудов, В.А. Хорошко – К.: Арий, 2008. – 464 с.
5. Стратегія управління інформаційною безпекою / В.І. Андрєєв, В.Д. Козюра, Л.М. Скачек, В.О. Хорошко. – К.: ДУІКТ, 2007. – 272 с.
6. Ігнатов В.О. Динаміка інформаційних конфліктів в інтелектуальних системах / Ігнатов В.О., Гузій М.М. // Проблеми інформатизації та управління. – К.: НАУ, 2005. – Вип. 15. – С. 88-92.
7. Васильев В.В. Моделирование задач оптимизации и дифференциальных игр / В.В. Васильев, В.Л. Баранов. – К.: Наукова думка, 1989. – 286 с.
8. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 208 с.
9. Воронин А.Н. Многокритериальный синтез динамических систем. – К.: Наук. думка, 1992. – 160.
10. Засядько А.А. Многокритериальная модель процесса восстановления сигналов // Электронное моделирование. – 2004. – Т. 26 (№4). – С. 13-20.
11. Баранов В.Л. Квазианалоговые многокритериальные модели оптимизации динамических процессов / В.Л. Баранов, Н.С. Залогин, О.С. Урусский и др. // Электронное моделирование. – 1996. – Т. 18 (№5). – С. 3-9.

12. Вайсборд Э.М. Введение в дифференциальные игры нескольких лиц и их приложения / Э.М. Вайсборд, В.И. Жуковский. – М.: Советское радио, 1980. – 304 с.
13. Пухов Г.Е. Дифференциальные спектры и их модели. – К.: Наук. думка, 1990. – 184 с.
14. Р-моделивання складних динамічних систем / [Г.Л. Баранов, М.М. Браїловський, А.А. Засядько та ін.]; за ред. проф. Г.Л. Баранова та проф. В.О. Хорошко. – К.: ДУІКТ, 2008 – 132 с.

Надійшла 23.01.2009

УДК 004.056.5:519.17

Баранов В.Л., Мартынова О.П.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ

От методов маршрутизации зависит эффективность функционирования компьютерной сети, качество обслуживания и информационная безопасность её пользователей. Современные информационные технологии требуют комплексного решения задач повышения эффективности передачи информации и обеспечения информационной безопасности пользователей компьютерных сетей.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что обычно эти задачи рассматриваются раздельно без учета их тесной взаимосвязи. Задача повышения качества обслуживания в компьютерных сетях решается путем выполнения ряда требований, которые должны выполняться при передаче пакетов от источника адресату [1]. Качество обслуживания оценивается набором параметров, которые количественно характеризуют требования:

- к пропускной способности;
- к задержкам передачи информации;
- к изменению задержек между прибытием двух последовательных пакетов адресату;
- к надежности поступления пакетов адресату;
- к загруженности узлов сети.

Если ввести количественную оценку выполнения каждого требования в виде частного критерия качества, то задача повышения качества обслуживания пользователей компьютерных сетей относится к классу задач многокритериальной оптимизации.

С другой стороны, если рассматривать только задачу повышения информационной безопасности пользователей компьютерных сетей без учета качества их обслуживания, то задача также сводится к задаче многокритериальной оптимизации, но с другим набором частных критериев качества [2]. Действительно, угрозы противника можно характеризовать количеством атак на канал передачи информации. Другим частным критерием качества можно оценивать риски потери информации и её модификации. Третьим частным критерием качества можно учитывать внешние воздействия на канал передачи информации. Следует отметить, что частный критерий качества, оценивающий надежность передачи информации по каналам связи, влияет как на качество обслуживания сети, так и информационную безопасность её пользователей. Поэтому надежность передачи информации может учитываться четвертым частным критерием качества.

Характеристика надежности передачи информации показывает взаимосвязь задач повышения качества обслуживания сети и информационной безопасности её пользователей.