

ДИНАМІЧНИЙ ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ ЗАГРОЗ НА РІВЕНЬ ЗАХИЩЕНОСТІ ОБ'ЄКТА КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Ольга Салієва, Юрій Яремчук

Порушення функціонування об'єктів критичної інфраструктури (КІ) може призвести до розвитку надзвичайних ситуацій, які матимуть масштабні негативні наслідки для життєдіяльності як окремих міст, так і усієї держави у цілому. У зв'язку з цим важливу роль відіграє своєчасне виявлення загроз та визначення їхнього впливу на рівень захищеності об'єкта КІ. Беручи до уваги вагомість даного питання, у роботі пропонується провести динамічний часовий аналіз впливу факторів загроз на рівень захищеності об'єкта КІ, використовуючи апарат динамічної каузальної алгебри. Для досягнення поставленої мети було задано вектор порогів вершин, який не залежить від часу і відмежовує усі незначні впливи між концептами, та вектор стану вершин, у якого досліджувана вершина активізується ззовні та залишається активною протягом усього процесу. Встановлено момент часу стабілізації процесу. Визначено μ -хвилю, що породжує процес активізації вершин та відповідних шляхів. Обчислено впливи вздовж усіх активізованих шляхів від досліджуваних концептів до цільового, на основі отриманих значень визначено сумарні впливи кожного з концептів на захищеність КІ. Відповідні рівні впливу у конкретні моменти часу відображено графічно. Для автоматизації динамічного моделювання аналізу впливу концептів розроблено програмний засіб, який надає змогу зменшити час на опрацювання даних та збільшити швидкість їхньої обробки. Отримані результати надають можливість прогнозувати стан захищеності об'єкта КІ у часі, що, у свою чергу, сприятиме його стійкому та безпечному функціонуванню.

Ключові слова: інформаційна безпека, критична інфраструктура, когнітивне моделювання, нечітка когнітивна карта, динамічна каузальна алгебра.

ВСТУП

Динамічний розвиток та невпинне зростання різного роду інформаційних загроз викликає безліч ризиків, пов'язаних із надійним, безперебійним функціонуванням об'єктів КІ, що забезпечують функції та послуги, порушення яких призведе до найсерйозніших негативних наслідків для життєдіяльності суспільства, соціально-економічного розвитку країни та забезпечення національної безпеки [1].

До об'єктів КІ, як правило, відносять енергетичні та транспортні магістральні мережі, нафто- та газопроводи, морські порти, канали швидкісного та урядового зв'язку, системи життєзабезпечення (водо- та теплопостачання) мегаполісів, утилізації відходів, служби екстреної допомоги населенню та служби реагування на надзвичайні ситуації, високотехнологічні підприємства та підприємства військово-промислового комплексу, а також центральні органи влади [2].

Враховуючи різноманітність об'єктів КІ та широкий спектр потенційних загроз, варто звернути особливу увагу на забезпечення захищеності досліджуваних об'єктів. Дослідженню даного питання присвячено безліч наукових праць.

Так, у роботі [3] визначено задачі вдосконалення інформаційної та кібернетичної безпеки об'єктів КІ, для вирішення яких використовують

комплексний підхід та відповідну методологічну базу.

Автори праці [4] розробили основні концептуальні підходи до проведення процедур забезпечення аудиту та контролю системи ризиків, а також ефективності функціонування комплексів інформаційної безпеки на об'єктах КІ.

У роботі [5] запропонована методологія оцінювання суми ризиків кібербезпеки інформаційної системи об'єктів КІ, доведено її актуальність. Показано, що економічна доцільність застосування і вибір тих чи інших заходів з обробки ризику, включно як організаційні, так і технічні, визначається оцінювальним порівнянням вартості таких заходів з максимальною величиною збитків у результаті дії декількох ризиків.

Для дослідження рівня захищеності об'єкта КІ автори роботи [6] запропонували використати когнітивний підхід, який надає можливість використовувати доступну експертну інформацію без збору і обробки статистичних даних, покращити наочність представлення даних, будувати гнучкі, конструктивні моделі, які адекватно реагують на зміни. У результаті було побудовано когнітивну модель, яка дозволяє визначити найвагоміші загрози й за допомогою сценарного моделювання знайти їх вплив на рівень захищеності об'єкта КІ. Однак, сценарний аналіз не надає можливість

прослідкувати зміну рівня захищеності даного об'єкта у часі.

У зв'язку з цим, варто звернути увагу на апарат динамічної каузальної алгебри [7], який дозволяє отримати прогноз розвитку ситуації у конкретні моменти часу.

Таким чином, актуальним є проведення динамічного часового аналізу впливу факторів загроз на рівень захищеності об'єкта КІ.

МЕТА РОБОТИ

Провести динамічний часовий аналіз впливу факторів загроз на рівень захищеності об'єкта КІ.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- задати вектор порогів вершин, який не залежить від часу та відмежовує усі незначні впливи між ними;
- задати вектор стану вершин;
- визначити μ -хвилю, що породжує процес активізації вершин та відповідних шляхів;
- використовуючи усі активізовані шляхи, визначити значення непрямих впливів досліджуваних концептів на захищеність КІ;
- визначити сумарний вплив кожного з досліджуваних концептів на захищеність КІ у різні моменти часу;
- отримані результати відобразити графічно.

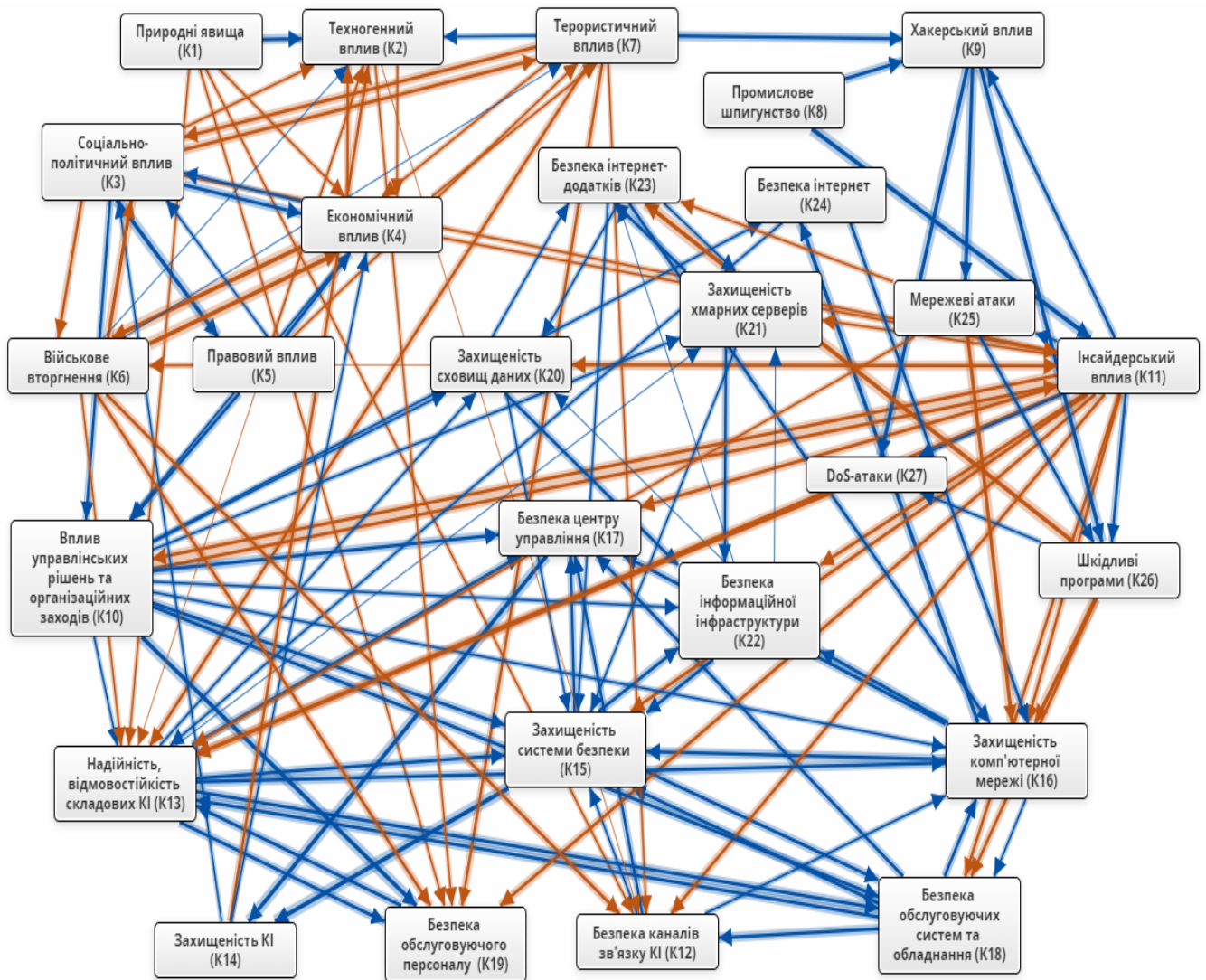


Рис. 1. Когнітивна модель для дослідження рівня захищеності об'єкта КІ

Динамічний аналіз впливу найвагоміших концептів на рівень захищеності об'єкта КІ. У роботі [6] запропоновано когнітивну модель для дослідження рівня захищеності об'єкта КІ (рис. 1),

який відноситься до класу об'єктів, що передбачає доступ до мережі Інтернет відображає максимальне представлення структурних складових. Дослідимо подальший розвиток даної когнітив-

ної моделі, визначивши вплив встановлених найвагоміших концептів досліджуваної системи: K_{15} – захищеність системи безпеки та K_{16} – захищеність комп'ютерної мережі на K_{14} – захищеність КІ, за допомогою динамічної каузальної алгебри [7].

У даному випадку обчислення впливу складається із двох паралельних «хвиль»: μ - хвиля, яка активізує шляхи (вважається, що шлях активізовано, якщо активні всі його вершини) та $I - T$ - хвиля, що визначає вплив за активізованими шляхами.

Динаміка виражається у введенні умовного часу: припускається, що до $t - z_0$ моменту часу хвиля проходить шлях довжини t .

Крім матриці взаємовпливів концептів W [6], що визначає розроблену модель, розглянемо три векторні параметри:

– вектор стану вершин $\Psi(t) = (\Psi_1(t), \Psi_2(t), \dots, \Psi_n(t))$, де $\Psi_i(t)$ – стан вершини i в момент часу t , $i = 1, \dots, n$;

– вектор вхідних впливів $(\mu_1(t), \dots, \mu_n(t))$;

– вектор порогів вершин $Q = (q_1, \dots, q_n)$, який не залежить від часу.

Врахувавши вищезазначені формули, отримаємо: Стан вершини приймає одне із двох значень 0 або 1 і являється показником її активності. У даному випадку пороги задаються таким

вектором: $Q = (0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 2; 1; 0; 0; 0; 1; 0; 0; 3; 0; 0; 2; 0; 1; 1; 2; 1)$.

Насамперед, дослідимо вплив концепту K_{15} – захищеність системи безпеки на K_{14} – захищеність КІ. Зауважимо, що вершина K_{15} активізується ззовні та залишається активною протягом усього процесу, тобто $\Psi_{15}(t) = 1$ для будь-якого t .

Задамо початковий вектор стану вершин:

$$\Psi_{\Omega}(0) = (0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

Визначимо μ -хвилю, що породжує процес активізації вершин та відповідних шляхів за допомогою матричної операції:

$$(\mu_1, \dots, \mu_n) = \Psi(t) \times W \quad (1)$$

та вектор станів у момент $t + 1$:

$$\Psi(t + 1) = f_Q(\Psi(t) \times W) = (f_{q_1}(\mu_1), \dots, f_{q_n}(\mu_n)) \quad (2)$$

де $f_{q_i}(\mu_i)$ – порогова функція у вершині i [8]:

$$f_{q_i}(\mu_i) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } |\mu_i| \geq q_i, \\ 0, & \text{якщо } |\mu_i| < q_i. \end{cases} \quad (3)$$

Від вершини K_{15} до K_{14} існують шляхи через K_{15} (оскільки у досліджуваній когнітивній моделі наявні петлі) та K_{17} , тому множина вершин безпосередньо зв'язаних з вершиною K_{14} матиме вигляд: $N^-(K_{14}) = \{K_{15}, K_{17}\}$.

$$\begin{aligned} \Psi_{\Omega}(0) \times W_{\Omega} &= (0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0.95; 0; 0; 0.8; 0.6; 0; 0; 0; 0.6; 0; 0; 0; 0), \\ \Psi_{\Omega}(1) &= (1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 0; 0; 1; 1; 1; 0; 1; 1; 1; 1; 1; 0; 1; 0; 0; 0; 0), \\ \Psi_{\Omega}(1) \times W_{\Omega} &= (0; -0,4; -0,65; -0,6; 0,85; -2; -1,2; 0; 2,3; 1,3; 0,25; -1; -0,35; 0,95; 2,6; 1,6; 2,6; 1; -2; -0,1; -0,1; 1,9; 1,2; 0,85; 0,3; 0,5; 0,2), \\ \Psi_{\Omega}(2) &= (1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 0; 1; 1; 0; 1; 1; 1; 0; 1; 0; 0; 0; 0), \\ \Psi_{\Omega}(2) \times W_{\Omega} &= (0; -0,4; -0,65; -0,6; 0,85; -2; -1,2; 0; 2,3; 1,3; -0,45; -1; -0,15; 0,95; 3,3; 2; 3,3; 1,6; -1,1; 0,3; 0; 1; 2,1; 1,2; 1,3; 1,2; 1,4; 1,1), \\ \Psi_{\Omega}(3) &= (1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 0; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 0; 0; 1), \\ \Psi_{\Omega}(3) \times W_{\Omega} &= (0; -0,4; -0,65; -0,6; 0,85; -2; -1,2; 0; 2,3; 1,3; -0,45; -1; -0,6; 1,9; 3,9; 1,9; 3,3; 1,6; -1,1; 0,45; 0,2; 2,1; 1,1; 1,3; 1,2; 2,1; 1,1), \\ \Psi_{\Omega}(4) &= (1; 1), \\ \Psi_{\Omega}(4) \times W_{\Omega} &= (0; -1; -0,3; -0,2; 0,85; -2; -1,2; 0; 2,3; 1,3; -0,45; -1; -0,6; 1,9; 3,9; 0,95; 3,3; 0,95; -1,1; 0,45; 0,2; 2,1; 0,2; 1,3; 1,2; 2,1; 1,3), \\ \Psi_{\Omega}(5) &= (1; 1). \end{aligned}$$

Визначимо вплив вздовж усіх активізованих шляхів, врахувавши, що непрямий вплив вершини i на вершину j на шляху P в момент часу t визначається із співвідношення:

$$I_P(t) = \prod_{(k,l) \in E(P)} \psi_k(t) \cdot w_{kl}, \quad (4)$$

де $E(P)$ – множина ребер P ,

$\psi_k(t)$ – стан вершини k в момент часу t ,

w_{kl} – вага ребра (k, l) шляху P .

Розраховані значення I_P для конкретних шляхів у різні моменти часу занесено у табл.1-2.

Таблиця 1.

Значення непрямих впливів вершини K_{15} на вершину K_{14}

$P(K_{15}, K_{14})$	$I_P(0)$	$I_P(1)$	$I_P(2)$	$I_P(3)$	$I_P(4)$
$(K_{15}, K_{22}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,342	0,342
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,05	0,05
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{20}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,004	0,004
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,002	0,002
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{21}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,0004	0,0004
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{21}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,003	0,003
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{21}, K_{23}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,003	0,003
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{23}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,003	0,003
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{23}, K_{20}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{23}, K_{21}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,02	0,02
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,002	0,002
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{21}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{21}, K_{22}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{21}, K_{23}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{21}, K_{23}, K_{20}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,0003	0,0003
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,01	0,01
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{16}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,01	0,01
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{16}, K_{18}, K_{12}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,003	0,003
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{16}, K_{18}, K_{13}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,003	0,003
$(K_{15}, K_{22}, K_{23}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,023	0,023
$(K_{15}, K_{22}, K_{23}, K_{21}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,004	0,004
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,03	0,03
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{22}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,192	0,192
$(K_{15}, K_{22}, K_{23}, K_{20}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,006	0,006
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,008	0,008
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{21}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,075	0,075
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,009	0,009

$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{22}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,013	0,013
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{23}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,004	0,004
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{22}, K_{21}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{22}, K_{21}, K_{23}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{22}, K_{23}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{22}, K_{23}, K_{21}, K_{15}, K_{14})$	0	0	0	0,0002	0,0002
$(K_{15}, K_{18}, K_{15}, K_{14})$	0	0,456	0,456	0,456	0,456
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{15}, K_{14})$	0	0,160	0,160	0,160	0,160
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{15}, K_{14})$	0	0,06	0,06	0,06	0,06
$(K_{15}, K_{18}, K_{13}, K_{15}, K_{14})$	0	0,157	0,157	0,157	0,157
$(K_{15}, K_{18}, K_{13}, K_{16}, K_{15}, K_{14})$	0	0,078	0,078	0,078	0,078
$(K_{15}, K_{18}, K_{13}, K_{21}, K_{15}, K_{14})$	0	0,01	0,01	0,01	0,01
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{15}, K_{14})$	0	0,228	0,228	0,228	0,228

Таблиця 2.

Значення непрямих впливів вершини K_{15} на вершину K_{14} через вершину K_{17}

$P(K_{15}, K_{14})$	$I_P(0)$	$I_P(1)$	$I_P(2)$	$I_P(3)$	$I_P(4)$
(K_{15}, K_{17}, K_{14})	0	0	0	0,76	0,76
$(K_{15}, K_{22}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,274	0,274
$(K_{15}, K_{18}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,456	0,456
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,259	0,259
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,128	0,128
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,072	0,072
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,048	0,048
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,04	0,04
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{20}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,004	0,004
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,002	0,002
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{21}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,0003	0,0003
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{21}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,002	0,002
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{21}, K_{23}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,002	0,002
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{23}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,003	0,003
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{23}, K_{20}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{22}, K_{23}, K_{21}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,016	0,016
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,02	0,02
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,002	0,002
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{21}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{21}, K_{22}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{21}, K_{23}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001

$(K_{15}, K_{18}, K_{12}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{21}, K_{23}, K_{20}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,0002	0,0002
$(K_{15}, K_{18}, K_{13}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,125	0,125
$(K_{15}, K_{18}, K_{13}, K_{16}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,063	0,063
$(K_{15}, K_{18}, K_{13}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,157	0,157
$(K_{15}, K_{18}, K_{13}, K_{21}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,008	0,008
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,024	0,024
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,011	0,011
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{16}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,01	0,01
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{16}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,015	0,015
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{16}, K_{18}, K_{12}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,002	0,002
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{16}, K_{18}, K_{12}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,005	0,005
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{16}, K_{18}, K_{13}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,002	0,002
$(K_{15}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{16}, K_{18}, K_{13}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,003	0,003
$(K_{15}, K_{22}, K_{23}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,018	0,018
$(K_{15}, K_{22}, K_{23}, K_{21}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,003	0,003
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,182	0,182
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,274	0,274
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{22}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,153	0,153
$(K_{15}, K_{22}, K_{23}, K_{20}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,005	0,005
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,006	0,006
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{22}, K_{20}, K_{23}, K_{21}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,06	0,06
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,075	0,075
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,008	0,008
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{22}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,01	0,01
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{23}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,003	0,003
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{22}, K_{21}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{22}, K_{21}, K_{23}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{22}, K_{23}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,001	0,001
$(K_{15}, K_{18}, K_{16}, K_{24}, K_{13}, K_{20}, K_{22}, K_{23}, K_{21}, K_{15}, K_{17}, K_{14})$	0	0	0	0,0001	0,0001

Знайдемо сумарний вплив $T_{(K_{15}, K_{14})}$ вершини K_{15} на вершину K_{14} з врахуванням впливу усіх шляхів, скориставшись рекурсивною формулою:

$$T_{(i,j)}(t) = \sum_{k \in N^-(j)} \max_{P \in P(i,k,j)} I_P(t). \quad (5)$$

Таким чином, отримуємо:

$$T_{(K_{15}, K_{14})}(t) = \max_{P \in P(K_{15}, K_{18}, K_{15}, K_{14})} I_P(t) + \max_{P \in P(K_{15}, K_{17}, K_{14})} I_P(t) = (0; 0,456; 0,456; 0,456; 0,456) +$$

$$(0; 0; 0; 0,76; 0,76) = (0; 0,456; 0,456; 1,216; 1,216),$$

тобто в моменти часу $t = 0, 1, 2, 3, 4$ значення $T_{(K_{15}, K_{14})}(t)$ дорівнюють, відповідно: 0, 0,456, 0,456, 1,216, 1,216. Аналогічним чином визначимо вплив концепта K_{16} – захищеність КМ на K_{14} – захищеність КІ.

Задамо початковий вектор стану вершин:

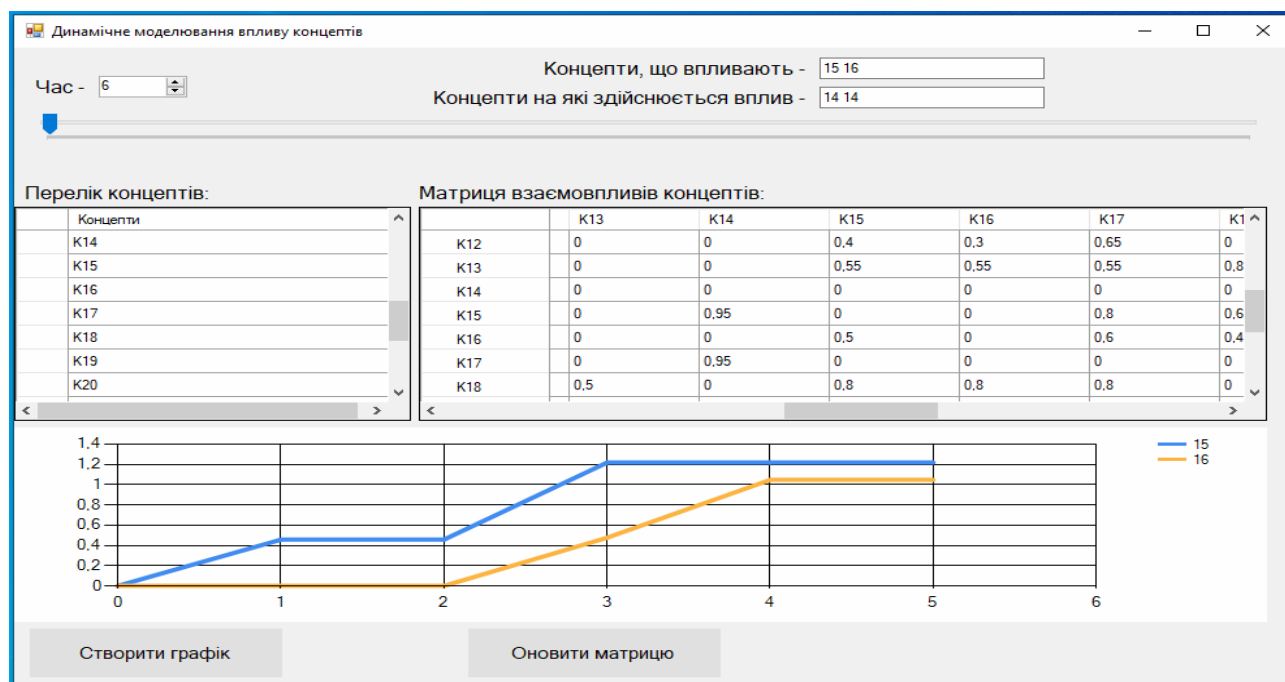


Рис. 3. Головне вікно розробленого програмного засобу

Даний результат збігається з тим, що був отриманий в наслідок проведеного сценарного моделювання у роботі [6]. Це, у свою чергу, підтверджує достовірність раніше отриманих результатів.

ВИСНОВКИ

Використовуючи апарат динамічної каузальної алгебри, проведено динамічний часовий аналіз впливу факторів загроз на рівень захищеності об'єкта КІ.

Для досягнення поставленої мети визначено μ -хвилю, яка активізує усі можливі шляхи від досліджуваних концептів когнітивної моделі до цільового та $I-T$ -хвилю, що визначає вплив вздовж усіх активізованих шляхів. На основі отриманих значень непрямих впливів найвагоміших концептів: K_{15} – захищеність системи безпеки та K_{16} – захищеність комп'ютерної мережі на K_{14} – захищеність КІ, визначено сумарний вплив K_{15} на K_{14} в моменти часу $t=0, 1, 2, 3, 4$: $T_{(K_{15}, K_{14})}(t) = (0; 0,456; 0,456; 1,216; 1,216)$ та сумарний вплив K_{16} на K_{14} ($t=0, 1, 2, 3, 4, 5$): $T_{(K_{16}, K_{14})}(t) = (0; 0; 0; 0; 0,475; 1,045; 1,045)$.

Для порівняння даних впливів побудовано графік з використанням програмного засобу Microsoft Excel та розробленого авторського програмного засобу, який надає змогу зменшити час

на опрацювання даних та збільшити швидкість їхньої обробки. Дослідивши даний графік було підтверджено достовірність результатів, отриманих за сценарним моделюванням у роботі [6].

Більше того, аналіз отриманого графіку показав, що найбільший сумарний вплив концептів спостерігатиметься у момент часу $t = 4$. При чому, захищеність системи безпеки розпочинає впливати на захищеність КІ при $t = 1$, а захищеність комп'ютерної мережі лише при $t = 3$. Стабілізація загального впливу досліджуваних концептів відбудеться в момент часу $t = 5$. Отримані дані дозволяють спрогнозувати розвиток ситуації у конкретні моменти часу, що сприятиме забезпеченню стійкого, ефективного та безпечного функціонування об'єкта КІ.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Д. Бірюков, С. Кондратов, О. Суходоля, «Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні», К.: НІСД, 2016. - 176 с. - Режим доступу: http://www.niss.gov.ua/public/File/2016_book/Sykhodolya_ost.pdf.
- [2] Бірюков Д. С. Захист критичної інфраструктури в Україні: від наукового осмислення до розробки засад політики // *Науково-інформаційний вісник Академії національної безпеки*. - 2015. - № 3-4. - С. 155-170.
- [3] В. Мартинюк, Н. Паламарчук, С. Паламарчук, О. Сівоха, Задачі вдосконалення інформаційної та кібернетичної безпеки об'єктів критичної

- інфраструктури, *збірник наукових праць ВПІ*, №2, К., 2020.- С. 54-63.
- [4] О. Юдін, Р. Зюбіна, О. Матвійчук-Юдіна, Сучасні практики впровадження системи аудиту інформаційної безпеки на об'єктах критичної інфраструктури, *Науковий технологічний журнал*, №1 (41), 2019. - С. 36-43.
- [5] С. Гончар Методологія оцінки ризиків кібербезпеки інформаційної системи об'єктів критичної інфраструктури, *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, Т.30 (69), Ч.1, №4, 2019. - С. 40-43.
- [6] О. Салієва, Ю. Яремчук Когнітивна модель для дослідження рівня захищеності об'єкта критичної інфраструктури, *Безпека інформації*, Т.26, №2, 2020.- С. 64-73.
- [7] Z.-Q. Liu, J. Y. Zhang Interrogating the structure of fuzzy cognitive maps, *Soft Computing*, Vol. 7, 2003. - pp. 148–153.
- [8] О. Кузнецов, А. Кулинич, А. Марковский Анализ влияния при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт, Человеческий фактор в управлении, М.: СИНТЕГ, 2006. - С. 330-362.

ДИНАМИЧЕСКИЙ ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ УГРОЗ НА УРОВЕНЬ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОБЪЕКТА КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Нарушение функционирования объектов критической инфраструктуры (КИ) может привести к развитию чрезвычайных ситуаций, которые будут иметь масштабные негативные последствия для жизнедеятельности как отдельных городов, так и всего государства в целом. В связи с этим важную роль играет своевременное выявление угроз и определения их влияния на уровень защищенности объекта КИ. Принимая во внимание значимость данного вопроса, в работе предлагается провести динамический временной анализ влияния факторов угроз на уровень защищенности объекта КИ, используя аппарат динамической каузальной алгебры. Для достижения поставленной цели было задан вектор порогов вершин, который не зависит от времени и отделяет все незначительные влияния между концептами и вектор состояния вершин, у которого исследуемая вершина активизируется извне и остается активной в течение всего процесса. Установлено момент времени стабилизации процесса. Определены μ -волна, что порождает процесс активизации вершин и соответствующих путей. Вычислено влияния вдоль всех активизированных путей от исследуемых концептов в целевой, на основе полученных значений определены суммарные влияния каждого из концептов на защищенность КИ. Соответствующие уровни воздействия в конкретные моменты времени отражено графически. Для автоматизации динамического моделирования анализа влияния концептов разработано программное средство,

которое дает возможность уменьшить время на обработку данных и увеличить скорость их обработки. Полученные результаты дают возможность прогнозировать состояние защищенности объекта КИ во времени, что, в свою очередь, будет способствовать его устойчивому и безопасному функционированию.

Ключевые слова: информационная безопасность, критическая инфраструктура, когнитивное моделирование, нечеткая когнитивная карта, динамическая каузальная алгебра.

DYNAMIC TIME ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THREAT FACTORS ON THE LEVEL OF SECURITY OF THE CRITICAL INFRASTRUCTURE OBJECT

Disruption of critical infrastructure (CI) can lead to emergencies that will have far-reaching negative consequences for the lives of both individual cities and the state as a whole. In this regard, the timely detection of threats and determining their impact on the level of protection of the CI object plays an important role. Given the importance of this issue, the paper proposes to conduct a dynamic analysis of the cognitive model to study the level of protection of this object. Based on dynamic causal algebra, the influence of the most important concepts of the system was determined: security of the security system and security of the computer network on security of the CI at different points in time. To achieve this goal, a vector of vertex thresholds is given, which does not depend on time and distinguishes all insignificant influences between concepts and a vector of vertex state, in which the studied vertex is activated from the outside and remains active throughout the process. Defined μ -wave, which generates the process of activation of the vertices and the corresponding paths. The time of stabilization of the process is set. The influences along all activated paths from the studied concepts to the target ones are calculated, on the basis of the obtained values the total influences of these concepts are determined, which are displayed graphically using the Microsoft Excel software. To automate the dynamic modeling of the analysis of the impact of concepts, a software tool has been developed that allows to reduce the time for data processing and increase the speed of their processing. After analyzing this graph, we can conclude that the security of the security system at different times has a greater impact on the security of CI than the security of the computer network, which, in turn, confirms the reliability of the results of scenario modeling.

Keywords: information security, critical infrastructure, cognitive modeling, fuzzy cognitive map, dynamic causal algebra.

Салієва Ольга Володимирівна, асистент кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем Вінницького національного технічного університету.
E-mail: salieva8257@gmail.com.
Orcid ID: 0000-0003-2388-7321.

Салиева Ольга Владимировна, асистент кафедри менеджмента и безопасности информационных систем Винницького національного технічного університета.

Saliieva Olha, assistant of the Department of Management and Security of Information Systems, Vinnytsia National Technical University.

Яремчук Юрій Євгенович, директор Центру інформаційних технологій та захисту інформації, професор кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем Винницького національного технічного університету.

E-mail: yurevyar@vntu.edu.ua.

Orcid ID: 0000-0002-6303-7703.

Яремчук Юрій Євгеньевич, директор Центра информационных технологий и защиты информации, профессор кафедры менеджмента и безопасности информационных систем Винницького національного технічного університета.

Yaremchuk Yuri, Director of the Center for Information Technologies and Information Protection, Professor of the Department of Management and Security of Information Systems, Vinnytsia National Technical University.

DOI: [10.18372/2410-7840.22.14977](https://doi.org/10.18372/2410-7840.22.14977)

УДК 004:591.5:612:616-006

РОЗРОБКА НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ОСНОВ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ: ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ШТУЧНОЇ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ПАМ'ЯТІ НА ОСНОВІ СПОЛУК – ПОХІДНИХ ФЕНОЛУ

*Анатолій Білецький, Олена Ключко,
Володимир Шутко, Олена Колганова*

Пошукові та інженерні роботи, метою яких є створення елементів та пристроїв нано-електронної пам'яті (фізичної молекулярної пам'яті) на тепер є надзвичайно актуальними. Інтенсивні роботи у цьому напрямку виконують у тому числі шляхом пошуку нових перспективних хімічних сполук – кандидатів на виконання функцій елементів фізичної молекулярної пам'яті, а також шляхом створення нових фізичних моделей відповідних пристроїв та їх нано-елементів. Метою даної роботи було запропонувати новий тип хімічних сполук ряду похідних фенолу, які потенційно можуть бути застосовані для виконання функцій молекулярної пам'яті для нано-електронних пристроїв, а також розробити фізичну модель такої пам'яті та пояснити механізм її функціонування. Для описаної фізичної моделі штучної молекулярної пам'яті запропоновано застосувати молекули - похідні фенолу із замісниками – поліаміновими ланцюгами, лінійними або розгалуженими, різної довжини та складності. Була розроблена фізична модель молекулярних накопичувачів із властивостями штучної пам'яті. Технічний результат, який може бути отриманий при здійсненні таких робіт, полягає у тому, що запропонований спосіб дозволяє модифікувати та утворювати нові елементи пам'яті штучного походження, а також виконувати тестування їх функціонування шляхом реєстрації електричних струмів через утворений зразок. Зареєстровані струми мають асиметричний характер, демонструючи властивості пам'яті зразка. Запропонована розробка відкриває нові можливості для захисту інформації у подібних інформаційних системах.

Ключові слова: *фізична модель, штучна молекулярна пам'ять, нано-електронна пам'ять, хімічні сполуки, похідні фенолу.*

ВСТУП

Пошукові та інженерні роботи, метою яких є створення елементів та пристроїв, які отримали загальну назву "наноелектронна пам'ять", або "фізична молекулярна пам'ять" виконують у різних лабораторіях світу протягом останніх близько 20 років. При цьому мають на увазі виготовлення електронних запам'ятовуючих пристроїв для комп'ютерної техніки, у яких запис інформації відбувається на основі фізичних властивостей

молекулярних структур – складових комірок пам'яті. Такі молекулярні структури відрізняються від тих, які задіяні для вирішення подібних задач у сучасних комерційних зразках техніки. Подібні розробки вважаються достатньо перспективними, інформація про них присутня на сторінках університетських підручників для галузей комп'ютерних наук у США та країн Західної Європи вже протягом останніх близько 10 років. Загальновідомо, що поява нових технологій, у т.ч. нанотех-