

DOI: [10.18372/2410-7840.22.14664](https://doi.org/10.18372/2410-7840.22.14664)
УДК 004.056.53

РАНЖУВАННЯ ЗАГРОЗ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ ВІДНОШЕНЬ

Ольга Салієва, Юрій Яремчук

Для побудови та ефективного функціонування системи захисту інформації необхідним є проведення аналізу можливих загроз щодо рівня їхнього впливу на досліджувану систему та визначення допустимих витрат на забезпечення її захищеності. У переважній більшості дане питання вирішується за допомогою методів статистичного аналізу, які потребують розгляду значного обсягу інформації, складних розрахунків та займають тривалий час для опрацювання. Тому у роботі пропонується ранжування загроз системі захисту інформації з використанням теорії нечітких відношень. На основі визначених рангів здійснюється розбиття множини загроз системі захисту інформації на класи, які не перетинаються та еквівалентні за вагомістю. Розбиття на класи проводиться з використанням транзитивного замикання нечіткого відношення схожості. Для забезпечення захищеності системи захисту інформації пропонується розподіл допустимих витрат у пропорційній еквівалентності рангам загроз. Це сприятиме раціональному використанню ресурсів та засобів для попередження, усунення або ж зменшення сили впливу вірогідних загроз інформаційній безпеці.

Ключові слова: *інформаційна безпека, загрози безпеці, нечітке відношення, транзитивне замикання.*

Вступ

Стрімким розвитком інформаційних технологій та впровадженням їх в усі сфери суспільного життя обумовлюється надзвичайна важливість створення надійних систем захисту інформації. Проблема якісного функціонування даних систем з огляду на появу нових та зростання рівня існуючих загроз в інформаційному просторі, набуває все більшої значущості. Причому важливою практичною проблемою є встановлення оптимального балансу між забезпеченням захищеності системи безпеки та обсягом витрат на її підтримку, враховуючи раціональний розподіл між окремими напрямками захисту. У переважній більшості дане питання вирішується за допомогою методів статистичного аналізу, які потребують розгляду значного обсягу інформації, складних розрахунків та займають тривалий час для опрацювання.

Одним з варіантів вирішення цієї проблеми може бути ранжування загроз, що дозволить визначити пропорційне співвідношення допустимих витрат на забезпечення захищеності системи захисту інформації.

Багато вітчизняних та зарубіжних вчених у своїх працях приділили достатньо уваги вирішенню даного питання. Зокрема, у роботі [1] пропонується метод нестрогого ранжування. Відповідно до цього методу експерт виробляє нумерацію усіх критеріїв за спаданням ступеня прийнятності негативних наслідків, пов'язаних з даним критерієм безпеки. Потім проранжовані

критерії послідовно нумеруються. Оцінка (ранг) критерію визначається його номером.

А. Г. Кащенко у своїй роботі [2] проводить ранжування інформаційних ризиків на основі нечіткої логіки, використовуючи алгоритм Мамдані, який одним з перших знайшов застосування у системах нечіткого виведення.

Крім того, існує безліч робіт, що стосуються ранжування елементів у інших сферах діяльності. Так, О.П. Ротштейн пропонує метод ранжування факторів, що впливають на надійність системи на основі теорії нечітких когнітивних карт [5]. За основу методу взято формалізацію причинно-наслідкових зв'язків у вигляді нечіткої когнітивної карти, тобто орієнтованого графа, вершини якого відповідають надійності системи і факторам, що впливають на неї, а зважені дуги відображають сили впливів факторів один на одного і на надійність системи. Ранг фактора визначено як аналог індексу важливості елемента по Бірнбауму.

Звернемо увагу на ще одну роботу цього вченого [4], у якій він пропонує метод ранжування елементів багатофункціональної системи на основі нечіткої математики. Задача зводиться до автоматичної класифікації з використанням транзитивного замикання нечіткого відношення схожості. Початкова інформація про систему задається у вигляді нечіткого відношення впливу відмов елементів на виконання функції. Ступені впливу елементів на функції системи обчислюються шляхом порівняння з найменшим впливом за шкалою Сааті.

Таким чином, актуальним є питання аналізу витрат та їх розподілу для забезпечення захищеності системи захисту інформації. Вирішення даного питання може бути здійснено на основі ранжування загроз, яке надає можливість наглядно представити ступінь впливу загроз на систему захисту інформації, при цьому не потребує трудомісткого навчання експертів та характеризується простотою і доступністю реалізації.

Мета роботи

Здійснити розбиття множини загроз системі захисту інформації на класи, які не перетинаються та еквівалентні за вагомістю. У відповідності із визначеними рангами загроз, запропонувати розподіл допустимих витрат на забезпечення захищеності системи захисту інформації.

Постановка задачі

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- визначити множину загроз системі захисту інформації та критерії у порушенні яких виражаються відповідні загрози;
- визначити ступінь впливу загроз системі захисту інформації на визначені критерії;
- отримати з нечіткого відношення впливу нечітке відношення схожості;
- розбити множину загроз системі захисту інформації на класи, що не перетинаються та містять елементи подібні за ступенем впливу;
- визначити допустимі витрати на забезпечення захищеності системи захисту інформації.

Ранжування загроз та розподіл допустимих витрат на забезпечення захищеності системи захисту інформації

Для виявлення загальних тенденцій зміни рівня захищеності системи захисту інформації при впливі на неї можливих загроз оберемо систему із загальними характеристиками.

Зазначимо, що загрози інформаційній безпеці — сукупність умов і факторів, що створюють небезпеку життєво важливим інтересам особистості, суспільства і держави в інформаційній сфері [3].

Аналізуючи дані отримані у результаті експертного опитування сформуємо множину найвагоміших загроз з точки зору вивчення даної проблеми:

- K_1 — захист від витоку технічними каналами;

- K_2 — захист каналу передавання інформації;
- K_3 — розголошення інформації персоналом;
- K_4 — фізичний захист;
- K_5 — НСД до інформації зловмисником;
- K_6 — організаційне забезпечення захисту інформації;
- K_7 — ненавмисні дії, помилки обслуговуючого персоналу;
- K_8 — надійність, відмовостійкість технічних та програмних засобів;
- K_9 — нормативно-правове забезпечення захисту;
- K_{10} — природні явища та явища техногенного характеру.

Загрози інформаційній безпеці призводять до не виконання таких критеріїв як [6]:

- C_1 — доступність — можливість за прийнятний час одержати необхідну інформаційну послугу;
- C_2 — цілісність — захищеність від руйнування та несанкціонованої зміни;
- C_3 — конфіденційність — властивість інформації бути недоступною і закритою для неавторизованого користувача, логічного об'єкта або процесу;
- C_4 — достовірність — захист від фальсифікації, підробки та шахрайства.

Далі здійснимо ранжування загроз системі захисту інформації згідно методу ранжування представленого у [4], який дозволяє визначити ранги загроз та пропорційно їм розподілити допустимі витрати, використовуючи нечітку інформацію та суб'єктивні судження експертів.

Вплив загрози K_i , що призводить до не виконання критерію C_j задамо нечіткою множиною:

$$I_i = \left\{ \frac{\mu_{i1}}{C_1}, \frac{\mu_{i2}}{C_2}, \dots, \frac{\mu_{im}}{C_m} \right\},$$

де μ_{ij} — число з інтервалу $[0, 1]$, яке характеризує ступінь впливу загроз K_i на не виконання критерію C_j .

Задамо число μ_{ij} , використовуючи метод найменшого впливу (табл. 1).

Початкові дані для методу найменшого впливу

K_i	C_j	f_{ij} / f_{il}			
		C_1	C_2	C_3	C_4
K_1	C_1	$\frac{11}{11} = 1$	$\frac{12}{11} = 7$	$\frac{13}{11} = 9$	$\frac{14}{11} = 5$
K_2	C_1	$\frac{21}{21} = 1$	$\frac{22}{21} = 7$	$\frac{23}{21} = 5$	$\frac{24}{21} = 5$
K_3	C_1	$\frac{31}{31} = 1$	$\frac{32}{31} = 6$	$\frac{33}{31} = 9$	$\frac{34}{31} = 7$
K_4	C_3	$\frac{41}{43} = 9$	$\frac{42}{43} = 4$	$\frac{43}{43} = 1$	$\frac{44}{43} = 5$
K_5	C_1	$\frac{51}{51} = 1$	$\frac{52}{51} = 7$	$\frac{53}{51} = 9$	$\frac{54}{51} = 7$
K_6	C_1	$\frac{61}{61} = 1$	$\frac{62}{61} = 6$	$\frac{63}{61} = 7$	$\frac{64}{61} = 6$
K_7	C_4	$\frac{71}{74} = 7$	$\frac{72}{74} = 5$	$\frac{73}{74} = 3$	$\frac{74}{74} = 1$
K_8	C_4	$\frac{81}{84} = 9$	$\frac{82}{84} = 5$	$\frac{83}{84} = 6$	$\frac{84}{84} = 1$
K_9	C_1	$\frac{91}{91} = 1$	$\frac{92}{91} = 5$	$\frac{93}{91} = 6$	$\frac{94}{91} = 5$
K_{10}	C_3	$\frac{101}{103} = 9$	$\frac{102}{103} = 3$	$\frac{103}{103} = 1$	$\frac{104}{103} = 1$

Зазначимо, що C_j містить усі критерії, на які загрози K_i мають найменший вплив, а f_{ij} / f_{il} – експертні порівняння сил впливу f_{ij} з найменшими силами впливу f_{il} .

Розрахуємо найменший ступінь впливу загрози K_i у системі захисту інформації, використовуючи формулу:

$$\mu_{il} = \left(\frac{f_{i1}}{f_{il}} + \frac{f_{i2}}{f_{il}} + \dots + \frac{f_{im}}{f_{il}} \right)^{-1}.$$

На основі даного значення обчислимо ступені впливу, що відповідають кожній парі (K_i, C_j) :

$$\mu_{i1} = \mu_{il} \frac{f_{i1}}{f_{il}}, \quad \mu_{i2} = \mu_{il} \frac{f_{i2}}{f_{il}}, \dots, \quad \mu_{im} = \mu_{il} \frac{f_{im}}{f_{il}}.$$

Отримані ступені утворюють нечітке відношення впливу:

$$I = \begin{matrix} \begin{matrix} 1/22 & 7/22 & 9/22 & 5/22 \\ 1/18 & 7/18 & 5/18 & 5/18 \\ 1/23 & 6/23 & 9/23 & 7/23 \\ 9/19 & 4/19 & 1/19 & 5/19 \\ 1/24 & 7/24 & 9/24 & 7/24 \\ 1/20 & 6/20 & 7/20 & 6/20 \\ 7/16 & 5/16 & 3/16 & 1/16 \\ 9/21 & 5/21 & 6/21 & 1/21 \\ 1/17 & 5/17 & 6/17 & 5/17 \\ 9/14 & 3/14 & 1/14 & 1/14 \end{matrix} \end{matrix} \cdot \quad (1)$$

Для нормалізації відношення (1) поділимо елементи кожного рядка на максимальне значення, яке є у відповідному рядку та отримаємо:

$$I = \begin{matrix} \begin{matrix} 0,11 & 0,78 & 1,0 & 0,56 \\ 0,14 & 1,0 & 0,71 & 0,71 \\ 0,11 & 0,67 & 1,0 & 0,77 \\ 1,0 & 0,44 & 0,11 & 0,56 \\ 0,11 & 0,78 & 1,0 & 0,78 \\ 0,14 & 0,86 & 1,0 & 0,86 \\ 1,0 & 0,71 & 0,43 & 0,14 \\ 1,0 & 0,56 & 0,67 & 0,11 \\ 0,17 & 0,83 & 1,0 & 0,83 \\ 1,0 & 0,33 & 0,11 & 0,11 \end{matrix} \end{matrix} \cdot \quad (2)$$

Визначимо міру схожості за ступенем впливу між загрозами інформаційної безпеці K_i та K_j :

$$r_{ij} = 1 - d_{ij},$$

де d_{ij} – відстань між нечіткими множинами впливу загроз K_i та K_j :

$$I_i = \left\{ \frac{\mu_{i1}}{K_1}, \frac{\mu_{i2}}{K_2}, \dots, \frac{\mu_{iT}}{K_T} \right\},$$

$$I_j = \left\{ \frac{\mu_{j1}}{K_1}, \frac{\mu_{j2}}{K_2}, \dots, \frac{\mu_{jT}}{K_T} \right\}.$$

Для знаходження d_{ij} використаємо відносну відстань Хеммінга:

$$d_{ij}^{(h)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |\mu_{ik} - \mu_{jk}|.$$

Сукупність величин r_{ij} для всіх пар (K_i, K_j) утворюють нечітке відношення схожості:

$$R = [r_{ij} / (K_i, K_j)].$$

Таким чином, провівши усі вищезазначені розрахунки, отримаємо нечітке відношення схожості для досліджуваної предметної області:

1	0,83	0,92	0,47	0,94	0,9	0,51	0,53	0,9	0,33
0,83	1	0,8	0,46	0,39	0,86	0,5	0,5	0,86	0,32
0,92	0,8	1	0,44	0,96	0,92	0,46	0,5	0,93	0,3
0,47	0,46	0,44	1	0,41	0,38	0,75	0,72	0,4	0,86
0,94	0,39	0,96	0,41	1	0,95	0,46	0,47	0,96	0,28
0,9	0,86	0,92	0,38	0,95	1	0,42	0,44	0,98	0,24
0,51	0,5	0,46	0,75	0,46	0,42	1	0,89	0,45	0,8
0,53	0,5	0,5	0,72	0,47	0,44	0,89	1	0,46	0,8
0,9	0,86	0,93	0,4	0,96	0,98	0,45	0,46	1	0,26
0,33	0,32	0,3	0,86	0,28	0,24	0,8	0,8	0,26	1

Щоб розбити множину загроз на класи, що не перетинаються та містять елементи подібні за ступенем впливу, необхідно надати початковому не транзитивному відношенню схожості R властивість транзитивності.

Таке перетворення забезпечується операцією транзитивного замикання нечіткого відношення [7]. Для отримання транзитивного замикання відношення схожості із відношення (3), знаходимо:

1	0,86	0,94	0,53	0,94	0,94	0,53	0,53	0,94	0,53
0,86	1	0,86	0,5	0,86	0,86	0,51	0,53	0,86	0,5
0,94	0,86	1	0,5	0,96	0,95	0,51	0,53	0,96	0,5
0,53	0,5	0,5	1	0,47	0,47	0,8	0,8	0,47	0,86
0,94	0,86	0,96	0,47	1	0,96	0,51	0,53	0,96	0,47
0,94	0,86	0,95	0,47	0,96	1	0,51	0,53	0,98	0,44
0,53	0,51	0,51	0,8	0,51	0,51	1	0,89	0,51	0,8
0,53	0,53	0,53	0,8	0,53	0,53	0,89	1	0,53	0,8
0,94	0,86	0,96	0,47	0,96	0,98	0,51	0,53	1	0,46
0,53	0,5	0,5	0,86	0,47	0,44	0,8	0,8	0,46	1

1	0,86	0,94	0,53	0,94	0,94	0,53	0,53	0,94	0,53
0,86	1	0,86	0,53	0,86	0,86	0,53	0,53	0,86	0,53
0,94	0,86	1	0,53	0,96	0,96	0,53	0,53	0,96	0,53
0,53	0,53	0,53	1	0,53	0,53	0,8	0,8	0,53	0,86
0,94	0,86	0,96	0,53	1	0,96	0,53	0,53	0,96	0,53
0,94	0,86	0,96	0,53	0,96	1	0,53	0,53	0,98	0,53
0,53	0,53	0,53	0,8	0,53	0,53	1	0,89	0,53	0,8
0,53	0,53	0,53	0,8	0,53	0,53	0,89	1	0,53	0,8
0,94	0,86	0,96	0,53	0,96	0,98	0,53	0,53	1	0,53
0,53	0,53	0,53	0,86	0,53	0,53	0,8	0,8	0,53	1

Подальші обчислення показують, що $R^3 = R^4$, тому транзитивне замикання матиме вигляд:

$$\bar{R} = R \cup R^2 \cup R^3 \cup \dots \cup R^k \cup \dots = R^3. \quad (6)$$

Наступним кроком є знаходження рангів інформаційних загроз: $\rho_i = \sum_{j=1}^m \mu_{ij}$. Дані ранги відповідають загальному впливу i -тої загрози на виконання всіх критеріїв системою захисту інформації.

Розкладемо нечітке відношення (6) за α – рівнями:

$$\bar{R} = \bigcup_{\alpha} \alpha R_{\alpha} = 0,53R_{0,53} \cup 0,86R_{0,86} \cup 0,89R_{0,89} \cup 0,94R_{0,94} \cup 0,96R_{0,96} \cup 0,98R_{0,98} \cup R_{1,0},$$

де R_{α} – чіткі відношення α – рівня.

Причому число α – рівень визначеності знань про систему. Чим складніша система і чим більше не враховується реальних подій при моделюванні, тим більша невизначеність і тим менше число α .

Вищезазначені відношення та їхні графи представимо у таблиці 2.

Таблиця 2

Відношення α – рівня та їхні графи

α	R_{α}	Граф																																																																																																				
0,53	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																													
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																													
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																													
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																													
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																													
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																													
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																													
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																													
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																													
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																													
0,86	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																													
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1																																																																																													
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0																																																																																													
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1																																																																																													
0,89	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																													
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0																																																																																													
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0																																																																																													
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1																																																																																													

0,94	<table border="1"> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																													
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0																																																																																													
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0																																																																																													
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1																																																																																													
0,96	<table border="1"> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																													
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																													
0	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0																																																																																													
0	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0																																																																																													
0	0	1	0	1	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1																																																																																													
0,98	<table border="1"> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																													
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																													
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0																																																																																													
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0																																																																																													
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0																																																																																													
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0																																																																																													
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1																																																																																													
1,0	<table border="1"> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																													
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																													
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0																																																																																													
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0																																																																																													
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0																																																																																													
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0																																																																																													
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1																																																																																													

Розглянуті чіткі відношення α – рівня утворюють класи загроз інформаційній безпеці, які за вагомістю еквівалентні (табл. 3). Тобто загрози

одного класу майже однакові за ступенем важливості й порівняльною динамікою їх наростання.

Дерево загроз системі захисту інформації на класи еквівалентності представлено на рис. 1.

Таблиця 3

Класи загроз еквівалентних за вагомістю

Рівень	Число класів	Класи загроз
$\alpha = 0,53$	1	$\{K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9, K_{10}\}$
$\alpha = 0,86$	3	$\{K_1, K_3, K_4, K_5, K_6, K_9, K_{10}\}, \{K_2\}, \{K_7, K_8\}$
$\alpha = 0,89$	5	$\{K_1, K_3, K_5, K_6, K_9\}, \{K_2\}, \{K_4\}, \{K_7, K_8\}, \{K_{10}\}$
$\alpha = 0,94$	6	$\{K_1, K_3, K_5, K_6, K_9\}, \{K_2\}, \{K_4\}, \{K_7\}, \{K_8\}, \{K_{10}\}$
$\alpha = 0,96$	7	$\{K_3, K_5, K_6, K_9\}, \{K_1\}, \{K_2\}, \{K_4\}, \{K_7\}, \{K_8\}, \{K_{10}\}$
$\alpha = 0,98$	9	$\{K_6, K_9\}, \{K_1\}, \{K_2\}, \{K_3\}, \{K_4\}, \{K_5\}, \{K_7\}, \{K_8\}, \{K_{10}\}$
$\alpha = 1$	10	$\{K_1\}, \{K_2\}, \{K_3\}, \{K_4\}, \{K_5\}, \{K_6\}, \{K_7\}, \{K_8\}, \{K_9\}, \{K_{10}\}$

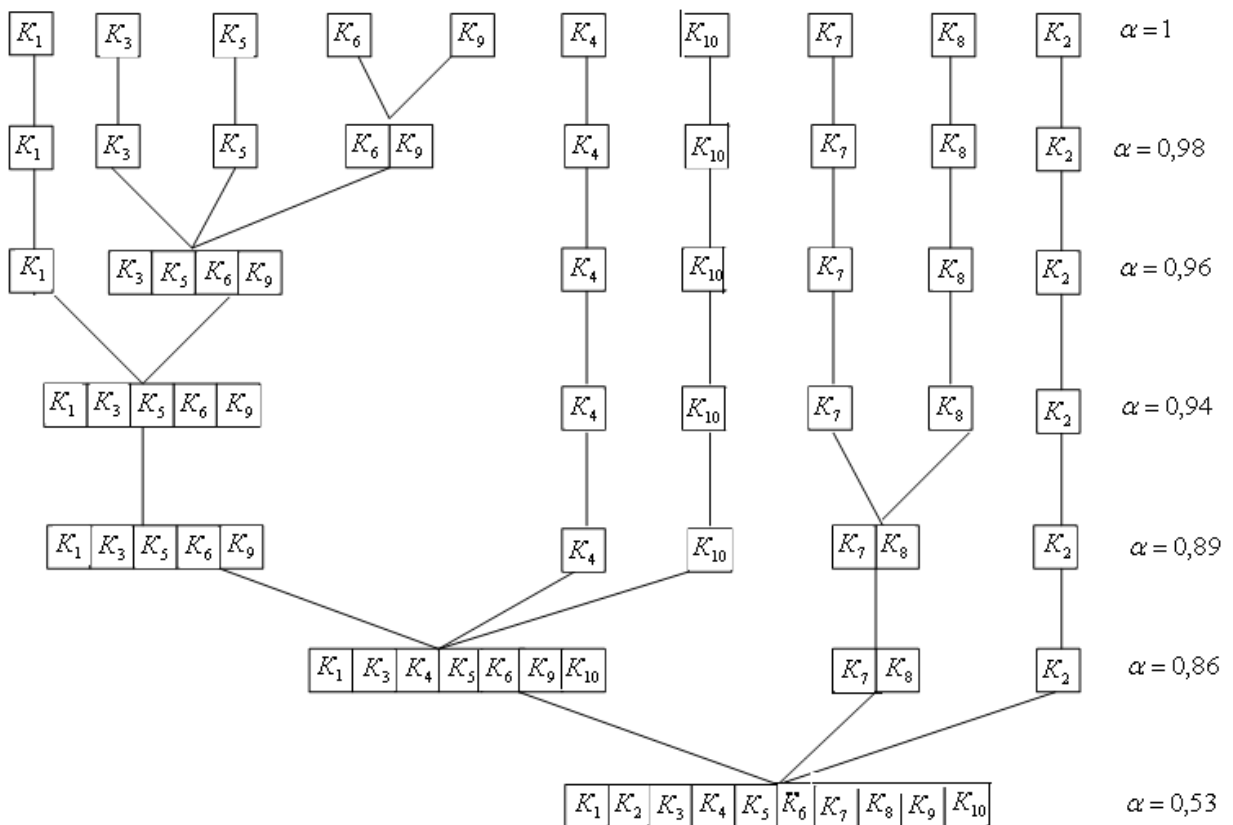


Рис. 1. Дерево декомпозиції на класи еквівалентності

З рис. 1 видно, що при максимальній визначеності ($\alpha = 1$) кожна загроза представляє собою універсальний клас вагомістю. Однак, якщо розглянути рівень $\alpha = 0,53$, то всі загрози системі захисту інформації не розрізняються за рангами.

Підсумовуючи значення рядків матриці (2), отримаємо кількісні значення рангів загроз:

$$\begin{aligned} \rho_1 = 2,45, \quad \rho_2 = 2,56, \quad \rho_3 = 2,55, \quad \rho_4 = 2,11, \\ \rho_5 = 2,67, \quad \rho_6 = 2,86, \quad \rho_7 = 2,28, \quad \rho_8 = 2,34, \\ \rho_9 = 2,83, \quad \rho_{10} = 1,55. \end{aligned}$$

Враховувши дані значення оберемо рівень визначеності $\alpha = 0,89$, на якому:

$$\begin{aligned} \rho_6 = 2,86, \quad \rho_1 = 2,45, \quad \rho_2 = 2,56, \quad \rho_3 = 2,55, \\ \rho_4 = 2,11, \quad \rho_5 = 2,67, \quad \rho_9 = 2,83, \quad \rho_{10} = 1,55, \end{aligned}$$

$$\rho_7 = \rho_8 \approx \frac{1}{2}(2,28 + 2,34) = 2,31.$$

Якщо S_0 – допустимі витрати на забезпечення захищеності системи захисту інформації, то ці витрати повинні розподілятися пропорційно рангам інформаційних загроз, тобто:

$$\sum_{i=1}^{10} S_i = S_0, \quad S_1 = 0,101S_0, \quad S_2 = 0,106S_0, \\ S_3 = 0,105S_0, \quad S_4 = 0,087S_0, \quad S_5 = 0,11S_0, \\ S_6 = 0,118S_0, \quad S_9 = 0,117S_0, \quad S_{10} = 0,064S_0, \\ S_7 = S_8 = 0,095S_0.$$

На основі отриманих результатів можна раціонально розподілити допустимі витрати на забезпечення захищеності системи захисту інформації пропорційно рангам інформаційних загроз. Це дозволить також застосувати комплексні заходи до кожного класу загроз системі захисту інформації, які не відрізняються за вагомістю.

Висновки

Таким чином, у роботі показано можливість розподілу допустимих витрат на забезпечення захищеності системи захисту інформації при застосуванні методу ранжування загроз на основі теорії нечітких відношень. З цією метою було здійснено розбиття множини загроз системі захисту інформації на класи, які не перетинаються та еквівалентні за вагомістю. Побудовано дерево декомпозиції на класи еквівалентності, яке наглядно представляє на кожному α – рівні число класів та перелік загроз, які належать даному класу. Що, у свою чергу, надає змогу доцільно вибудувати чіткий план організації захисту інформаційного простору, враховуючи ступінь впливу кожного класу загроз, забезпечити баланс між рівнем інформаційного ризику та допустимими витратами на проведення заходів інформаційної безпеки.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] И. Ажмухамедов, "Моделирование на основе экспертных суждений процесса оценки информационной безопасности", *Вестник АГТУ. Серия: «Управление, вычислительная техника и информатика»*, №2, С. 101-109, 2009.
- [2] А. Кашенко, "Многокритериальная оценка и ранжирование информационных рисков на основе алгоритма Мамдани", *Кибернетика и технологии XXI века: материалы V Международной научно-технической конференции*, С. 81-85, 2004.
- [3] Класифікація загроз інформаційній безпеці. Інформаційна безпека особистості. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://sites.google.com/site/infobezosob/klasifikacia-zagrozh-informacijnij-bezpeci> (дата звернення: 25.03.2020).

- [4] А. Ротштейн, "Ранжирование элементов системы на основе нечеткого отношения влияния и транзитивного замыкания", *Кибернетика и системный анализ*, Том 53, №1, С. 68-78, 2017.
- [5] А. Ротштейн, "Нечеткие когнитивные карты в анализе надежности систем", *Надежность*, №4, С. 24-31, 2019.
- [6] В. Ярочкин, *Информационная безопасность*, М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2004, 544 с.
- [7] L. Zadeh, "Similarity relations and fuzzy orderings", *Information Sciences*, Vol. 3, pp. 177-200, 1971.

РАНЖИРОВАНИЕ УГРОЗ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТРАТ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ ОТНОШЕНИЙ

Для построения и эффективного функционирования системы защиты информации необходимо проведение анализа возможных угроз по степени их влияния на исследуемую систему и определения допустимых затрат на обеспечение ее защищенности. В подавляющем большинстве данный вопрос решается с помощью методов статистического анализа, которые требуют рассмотрения значительного объема информации, сложных расчетов и занимают длительное время для проработки. Поэтому в работе предлагается ранжирование угроз информационной безопасности с использованием теории нечетких отношений. На основе определенных рангов осуществляется разбиение множества угроз системы безопасности на классы, которые не пересекаются и эквивалентные по значимости. Разбиение на классы проводится с использованием транзитивного замыкания нечеткого отношения сходства. Для обеспечения защищенности системы защиты информации предлагается распределение допустимых затрат в пропорциональной эквивалентности рангам угроз. Это будет способствовать рациональному использованию ресурсов и средств для предупреждения, устранения или уменьшения силы воздействия вероятных угроз информационной безопасности.

Ключевые слова: информационная безопасность, угрозы безопасности, нечеткое отношение, транзитивное замыкание.

THREAT RANGING FOR DETERMINATION OF COSTS TO ENSURE THE SECURITY OF THE INFORMATION PROTECTION SYSTEM BASED ON THE THEORY OF FUZZY RELATIONS

For the construction and effective functioning of the information protection system it is necessary to analyze the possible threats to the level of their impact on the studied system and determine the allowable costs to ensure its security. The vast majority of this issue is solved using statis-

tical analysis methods, which require consideration of a significant amount of information, complex calculations and take a long time to process. Therefore, the paper proposes the ranking of threats to the information security system using the theory of fuzzy relations. The initial information about the system is given in the form of a vague relationship of the impact of threats on non-compliance with the established criteria. Based on the defined ranks, the set of threats to the information protection system is divided into classes that do not intersect and are equivalent in weight. The division into classes is carried out using a transitive closure of the fuzzy similarity relationship and makes it possible to build a clear plan for the protection of the information space, taking into account the degree of influence of each class of threats. A decomposition tree for equivalence classes is also constructed, which clearly represents the number of classes and the list of threats belonging to this class at each level. To ensure the security of the information security system, it is proposed to distribute the eligible costs in proportional equivalence to the ranks of threats. This will promote the rational use of resources and tools to prevent, eliminate or reduce the impact of probable threats to the information security system, provide a balance between the level of information risk and the eligible costs of information security measures.

Keywords: information security, security threats, fuzzy relation, transitive circuit.

Салієва Ольга Володимирівна, аспірантка кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем Вінницького національного технічного університету.

E-mail: salieva8257@gmail.com.

Orcid ID: 0000-0003-2388-7321.

Салиева Ольга Владимировна, аспирантка кафедры менеджмента и безопасности информационных систем Винницкого национального технического университета.

Saliieva Olha, graduate student 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 Вінницького національного технічного університету.

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

Orcid ID: 0000-0002-6303-7703.

Яремчук Юрий Евгеньевич, директор Центра информационных технологий и защиты информации, профессор кафедры менеджмента и безопасности информационных систем Винницкого национального технического университета.

Yaremchuk Yurii, 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.