

# МОДЕЛЬ НЕБЕЗПЕКИ СУКУПНОСТІ ОБ'ЄКТІВ У ВИМІРІ МОЖЛИВОГО

*В. Б. Ваганов*

**Поняття графічної моделі небезпеки сукупності об'єктів у вимірі можливого.** У багатьох сферах практичної діяльності людини, суспільства, держави можуть поставати питання безпеки у розумінні захищеності сприятливих умов функціонування різноманітних об'єктів, з якими вони мають справу, або безпосередньо названих суб'єктів.

Як правило, об'єкти, щодо дослідження безпеки яких ставляться питання, не є ізольованими та завдяки наявності взаємозв'язків причинно-наслідкового характеру взаємодіють з іншими об'єктами та з зовнішнім світом. Кожен із об'єктів може мати потребу у захисті та може стати джерелом небезпеки і може забезпечувати захист інших. Тому дослідження безпеки окремого об'єкта пов'язано з дослідженням безпеки всієї сукупності об'єктів (системи), що взаємодіють одне з одним та із зовнішнім середовищем.

*Мета статті* — скласти систему тверджень, що дала б змогу запровадити графічну модель небезпеки сукупності об'єктів у вимірі можливого, спираючись на яку, дослідник зможе краще зрозуміти «фізику» процесів можливого у досліджуваній системі та зробити перший крок на складному шляху створення математичної моделі системи, що необхідна для визначення кількісних оцінок значень показників захищеності об'єктів та пошуку необхідних законів формування стримувань загроз для зменшення небезпеки.

Подальше викладення матеріалу потребує визначитися з конкретним тлумаченням таких понять, як загроза та небезпека/безпека.

Великий тлумачний словник сучасної української мови [1] дає такі тлумачення слів «загроза», «небезпека» і «безпека»:

*Загроза:* — можливість або неминучість виникнення чогось небезпечного, прикрого, тяжкого для кого(чого)-небудь;

— те, що може заподіювати яке-небудь зло, якусь неприємність.

*Небезпека:* — можливість якогось лиха, нещастя, якоїсь катастрофи, шкоди і т. ін.;

— стан, коли кому (чому)-небудь щось загрожує.

*Безпека:* — стан, коли кому(чому)-небудь ніщо не загрожує.

Наведені тлумачення слів *загроза*, *небезпека/безпека* достатньо зрозумілі та на понятійному рівні не викликають особливих заперечень для використання після заміни неозначених займенників типу «хто-небудь» і «що-небудь» на об'єкт, а «щось» — на чинник. Тобто *об'єкт* — це те, що може бути у небезпеці, чому може щось загрозувати, чому може бути заподіяна якась шкода, з чим може статися якесь лихо, катастрофа, а *чинник* — це те, що може заподіяти шкоду об'єкту, спричинити катастрофу.

Термін «загроза» можна трактувати як можливість виникнення якогось чинника, що може заподіяти яку-небудь шкоду об'єкту, а термін «небезпека» — як можливість якогось лиха, нещастя, катастрофи з об'єктом у разі виникнення згаданого вище чинника.

Шкоду може бути заподіяно кількома чинниками, отже і загроз може бути кілька.

**Ваганов Володимир Белалович** — кандидат технічних наук, професор

Для захисту нормального функціонування об'єктів, тобто для забезпечення їхньої безпеки, вживають певних заходів із запобігання загрозам та їх стримування. (Надалі використовуватимемо скорочений варіант — стримування. Стимування загроз може здійс-

снюватися і об'єктами, і ззовні, іншими об'єктами системи або з систем вищого рівня.)

Стимування загроз розглядатимемо також як можливість — можливість відвернути чинник (або компенсувати його вплив), який може заподіяти шкоду об'єкту або спричинити лихо чи катастрофу.

Тобто «безпеку» логічно трактувати як стан, коли можливість якогось лиха з об'єктом дуже низька через наявність умов, що значно зменшують вплив негативних чинників на об'єкт.

Вихідною інформацією для дій щодо стримування загроз можуть бути апріорні відомості про появу негативних чинників та поточні відомості щодо фактичного рівня загроз або небезпеки.

Площини безпеки, з одного боку, та небезпеки, з іншого, доповнюють одна одну.

З теоретичного погляду наведені вище формулювання не бездоганні, але ж попри всю їх простоту та наукову непрезентабельність вони містять масу живлячого матеріалу для дослідника, з розгляду якого випливають деякі нескладні, але важливі, на наш погляд базового характеру, твердження. Сформулюємо їх:

*оскільки небезпека (можливість лиха, катастрофи тощо) стає реальною як тільки хоча б один із негативних, що можуть заподіяти шкоду, чинників із сфери теоретичного переліку перейде у площину можливої практичної реалізації, тобто тоді, коли є загроза як можливість виникнення якогось чинника, що може спричинити яку-небудь шкоду об'єкту;*

*оскільки можливість для об'єкта досягти безпеки стає реальною тільки тоді, коли є можливість відвернути негативний чинник (або компенсувати його вплив), тобто тільки за наявності стримування загроз, то можна стверджувати:*

*По-перше, загроза, небезпека (безпека) і стримування загроз існують лише у вимірі можливого.*

*По-друге, загроза є джерелом живлення небезпеки, зв'язок між загрозою і небезпекою односпрямований, має причинно-наслідковий характер.*

*По-третьє, стримування загроз зменшує небезпеку об'єкта — підвищує безпеку.*

На підставі цих тверджень при дослідженні безпеки можна графічно зобразити сукупність об'єктів у вимірі можливого у вигляді своєрідної мережі, що складається з вузлів

небезпеки або потенціальних катастроф (рис. 1), кожен із яких відповідає певному об'єкту, з'єднаних відповідно до причинно-наслідкових зв'язків у системі лініями передачі загроз або стримування їх.



Рис. 1. Вузол небезпеки

На наш погляд, таке уявлення дає змогу впритул підійти до створення математичної моделі системи.

Запропонована графічна модель призначена лише для дослідження можливого, а не реальних подій, її лініями не «протікають», не «подаються на вхід вузла» або «знімаються з його виходу» реальні сигнали з якоюсь інформацією про стан реальних речей, а передаються можливості — загрози, стримування загроз, небезпеки як загрози для інших.

### Приклади деяких варіантів схем графічних моделей безпеки у вимірі можливого.

Найпростіший варіант — це послідовне з'єднання об'єктів, що взаємодіють, своєрідний ланцюг. Наявність загрози як можливості виникнення якогось чинника, що може заподіяти шкоду першому у ланцюзі об'єкту, призводить до виникнення можливості лиха, катастрофи з цим об'єктом, тобто до стану небезпеки першого об'єкта. Небезпека першого об'єкта відповідно є загрозою для другого у ланцюзі об'єкта, а його небезпека створює, в свою чергу, загрозу для третього об'єкта. Можливість лиха або катастрофи з останнім у ланцюзі (кінцевим) об'єктом, небезпека для нього означає небезпеку для всієї системи. Схема графічної моделі безпеки системи у вимірі можливого виглядатиме у такому варіанті як послідовне з'єднання вузлів безпеки (ВН), коли небезпека попереднього вузла є загрозою для наступного у ланцюзі (рис. 2).

Практична реалізація названих можливих подій розвиватиметься як ланцюгова реакція у вигляді припущення можливості розвитку катастрофічних подій лише в одному напрямі.

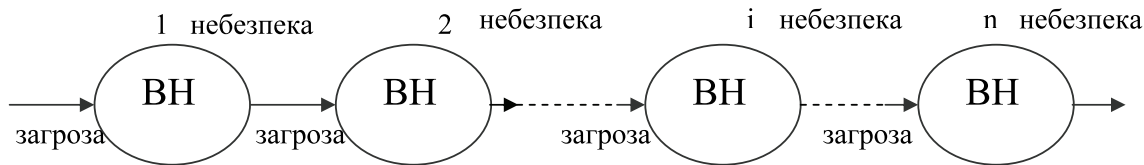


Рис. 2. Послідовне з'єднання вузлів безпеки

Наявність кількох чинників, що можуть заподіяти шкоду системі, призводить до необхідності використання більш складної, ніж проста послідовна схема на рис. 2, а саме до схеми, яка має кілька гілок (за кількістю загроз), коли кожна зовнішня щодо системи загроза має свій вхід та шлях її впливу на небезпеку останнього вузла системи (рис. 3).

Для катастрофи системи досить виникнення хоча б одного негативного чинника з усього переліку.

Найскладніший варіант, коли безпеку системи визначають безпекою кількох об'єктів, на кожен з яких може мати опосередкований вплив хоча б один з чинників, що може заподіяти шкоди вхідним об'єктам системи (рис. 4).

Наведемо *ілюстративний приклад*. Можливість затоплення міста, що розташоване на ділянці місцевості, яка нижча за рівень якогось великого водосховища, є завжди, і вона тим вища, чим вища можливість руйнації захисних споруд (дамби, греблі) або рівень води у водосховищі вищий за їх рівень (наприклад, трагедія Нового Орлеана у серпні 2005

року) чи рівень води у водосховищі вищий за рівень захисних споруд через виникнення тривалих дощів (рис. 5).

У нашому прикладі об'єкт, який може бути у небезпеці, — місто; лихо — затоплення міста; небезпека — можливість затоплення; загрози — можливості виникнення чинників, що можуть призвести до затоплення; чинники, що можуть заподіяти шкоду — руйнація захисних споруд через терористичні дії тощо, незадовільний стан (через зношеність обладнання, недоліки конструкції) споруд, землетруси, буревії.

В свою чергу, небезпека для міста — можливість затоплення — є загрозою для життя населення, можливість загибелі великої кількості мешканців міста. Тут об'єкт — населення міста, небезпека — можливість його загибелі, загроза — можливість затоплення. Але є й інші негативні чинники, що можуть спричинити великі втрати серед населення. Загрозами для життя населення можуть стати, наприклад, можливість виникнення в місті епідемії смертельної хвороби, можливість застосування зброї масового ураження терористами або країною-агресором тощо.

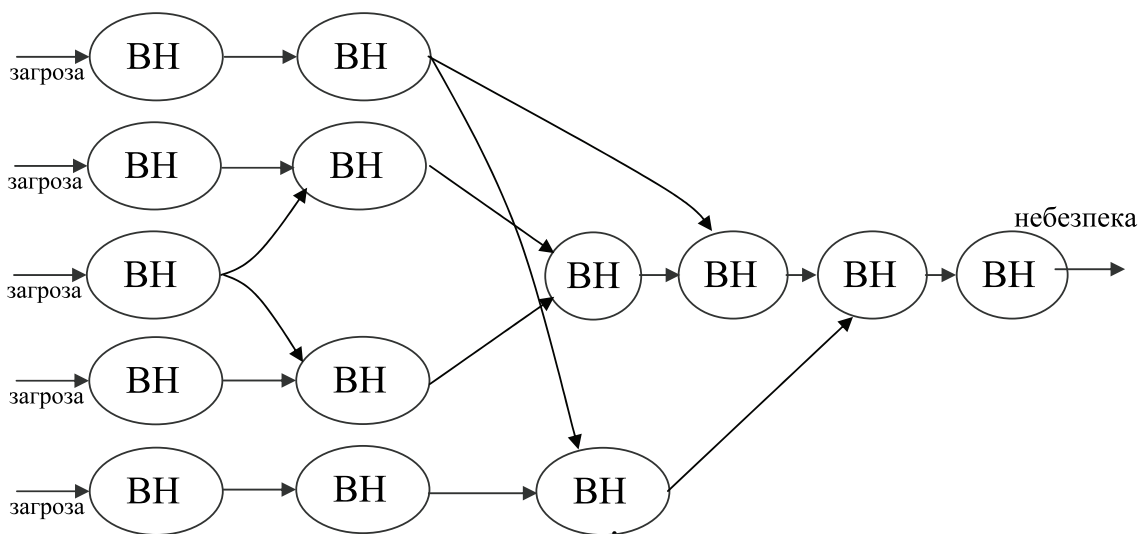


Рис. 3. Схема моделі за наявності кількох загроз (варіант)

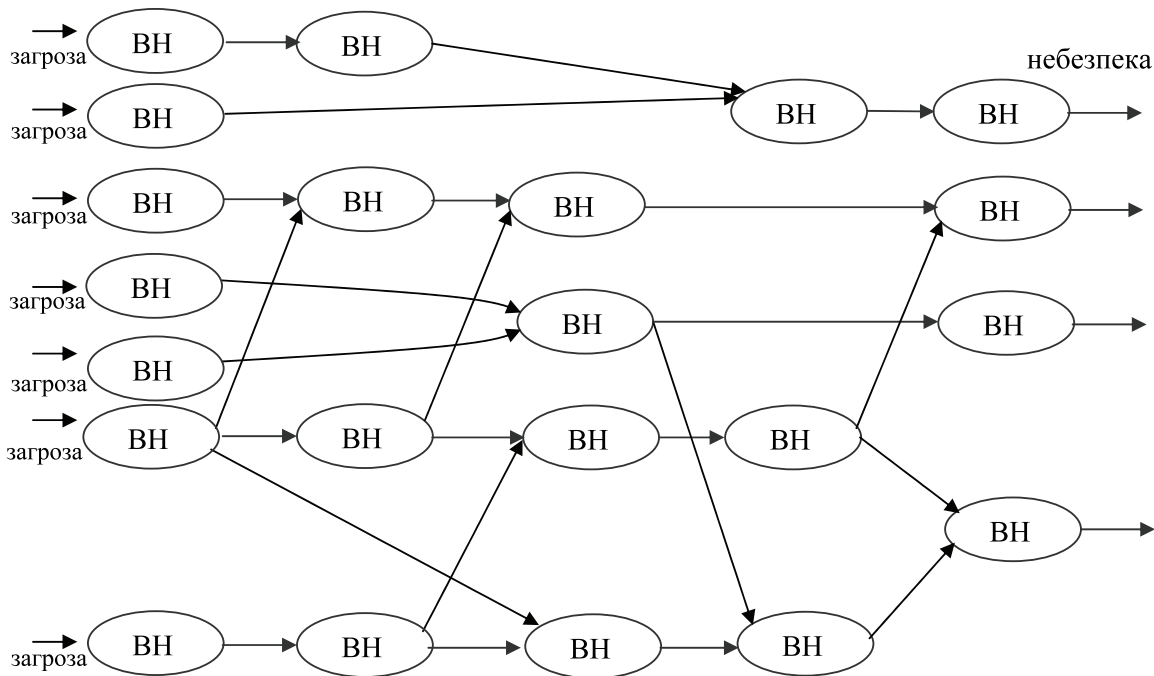


Рис. 4. Схема моделі за наявності кількох загроз та кількох об'єктів, що визначають стан безпеки системи (варіант)

Серед загроз для цілісності захисних споруд, такої як можливість терористичних дій, можна запобігти шляхом їх (споруд) надійної охорони, можливості руйнації через буревії запобігти неможливо, хоча врятувати населення міста можна шляхом його своєчасної евакуації. Можливості руйнації через землетрус запобігти неможливо, також неможливо й врятувати населення евакуацією, оскільки невідомо, коли станеться цей землетрус. Такій загрозі, як перевищення через тривалі дощі рівнем води висоти захисних споруд, запобігти можливо хіба що інженерними розрахунками, але повільне підвищення води дає можливість стримування загрози також шляхом нарощування греблі під час аварійної ситуації, коли вода може піднятися вище за максимальне значення, що було прийняте як вихідне під час проектування захисних споруд. Зрозуміло, що стримування цієї загрози можливе лише за умови, що нарощування греблі випереджатиме підвищення рівня води.

Наведемо ще один ілюстративний приклад сукупності об'єктів у формі ланцюга. Можливість різкого підвищення рівня соціальної напруженості в суспільстві (внаслідок незадоволення певних верств населення умовами життя, через прагнення певних кіл прийти до влади тощо) є загрозою для існування чинної влади або навіть державного устрою країни. Можливість зміни влади або державного ус-

трою породжує загрозу виникнення економічно-фінансової кризи в державі. Виникнення такої кризи загрожує потрібному рівню фінансування державних інститутів, серед яких досить вразливим (за рівнем і характером наслідків) є, зокрема, військо. Фінансова скрута для війська — це загроза рівню його бойової готовності, адже брак коштів на закупівлю пального чи на поточний ремонт військової техніки та озброєння спричиняє зниження бойової підготовки особового складу. Можливий спад рівня професійної підготовки особового складу під час виконання бойових вправ, стрільб, польотів, плавань є загрозою для екіпажів бойових машин, літаків, кораблів, а також для населення. Можливий спад рівня підготовки військовослужбовців є загрозою воєнній безпеці держави, і це головне. Слабка обороноздатність держави може стати каталізатором агресивних намірів сусідів, охочих до чужої території.

**Щодо можливості формалізації явищ та кількісних досліджень.** Дослідження математичних моделей може допомогти отримати відповіді на такі дуже важливі питання щодо властивостей та поведінки системи:

1. Чи має система стан стійкої рівноваги та у чому полягають умови стійкості?
2. За яких рівнів загроз система може перейти до стану небезпеки?

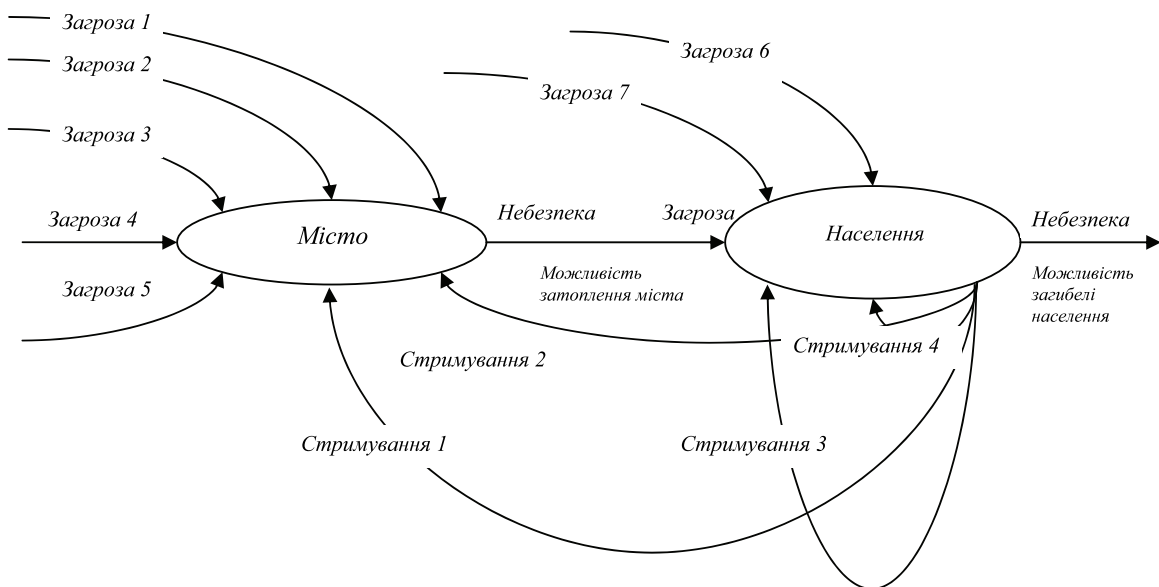


Рис. 5. Послідовне з'єднання двох вузлів небезпеки.

Загрози: 1, 2, 3, 4 — можливості руйнації захисних споруд через терористичні дії, їх незадовільний стан, землетрус, через буревії; загроза 5 — можливість підвищення води вище рівня захисних споруд через виникнення тривалих дощів; загроза 6 — можливість виникнення епідемії; загроза 7 — можливість застосування ядерної зброї.

Стимування: 1 — можливість нарощування греблі; стимування 2 — можливість забезпечення охорони захисних споруд; стимування 3 — можливість евакуації населення; стимування 4 — можливість своєчасного щеплення населення.

3. Якими мають бути закони та шляхи стримування загроз?

Математичні моделі роблять можливим також постановку та вирішення оптимізаційних задач.

Зрозуміло, що побудувати математичну модель, процеси в якій збігалися б один до одного з процесами у реальній системі неможливо (складність, об'єм, невизначеність частини характеристик, вартість, складності практичної реалізації тощо), але відтворити найхарактерніші риси та властивості системи часто-густо можна за допомогою досить нескладних математичних моделей. Спрощення моделі можливе як за рахунок зниження вимог до рівня адекватності математичних моделей об'єктів та моделей причинно-наслідкових зв'язків реально існуючим, так і за рахунок використання деяких припущень, що базуються на практичному досвіді дослідження процесів у реальних системах.

Наприклад, вивчення процесів появи загроз як можливостей виникнення чинників, що можуть заподіяти шкоду системі безпеки та процесів переходу систем через загрози у стан небезпеки, а також протилежних явищ при використанні механізмів запобігання загрозам та стримування їх, для деяких систем

показує, що під час математичного моделювання таких подій можуть бути зроблені певні припущення, а саме:

1. Явища виникнення чинників, що можуть заподіяти шкоду системі, та явища переходу систем у стан небезпеки/безпеки мають випадковий характер.

2. Явища на кшталт лиха (катастроф) настають (розвиваються у часі) за лавиноподібним характером незворотно. Залежності можливості лиха від системи та параметрів систем і рівня загроз мають пороговий характер, коли можливість лиха від майже нульового значення може досягти максимальних значень при перетинанні показником деякого критичного значення. (Похідна цієї залежності за аргументом має яскраво виражений екстремум(ми) за деяких критичних значень аргументу та майже не відрізняється від нуля поза невеличкими їхніми «околами».)

3. Системам властива інерційність (пам'ять), тобто їх стан у будь-який час визначається не тільки значеннями впливів, внутрішніх параметрів у цей момент, а й їхніми попередніми значеннями.

За таких припущень для кількісних оцінок значень показників, що характеризують

можливість виникнення загроз та станів безпеки/небезпеки можуть бути використані чисельні характеристики випадкових подій (процесів), які використовують у теорії ймовірностей (чи теорії випадкових процесів, коли досліджувати динаміку загроз або небезпек). Загрозу, наприклад, можна оцінювати за рівнем імовірності виникнення чинника, який може призвести до лиха, катастрофи. Аналогічно виникнення небезпеки, тобто перехід об'єкта з стану безпеки до стану небезпеки, при виникненні загроз також можна оцінювати за ймовірністю можливого лиха.

Для схеми моделі системи безпеки на рис. 2, де небезпека всієї системи оцінюється небезпекою останнього у ланцюзі вузла, тобто можливість якоїсь катастрофи з системою дорівнює можливості катастрофи з відповідним об'єктом, що замикає ланцюг, катастрофу системи можна розглядати як добуток подій — складна подія, що включає в себе виникнення чинника, що може призвести до катастрофи першого у ланцюзі об'єкта, та послідовні катастрофи від першого до останнього об'єктів. Усі перелічені події є послідовно залежними одна від одної. Тому ймовірність катастрофи системи дорівнює [2]:

$$P = P_z \cdot P_1 \cdot P_{2,1} \cdot P_{3,2} \dots P_{i,i-1} \dots P_{n,n-1}, \quad (1)$$

де  $P_z$  — ймовірність виникнення чинника, що може заподіяти зло першому в ланцюзі об'єкта (ймовірність загрози);

$i = 1, 2, \dots, n$  — кількість об'єктів у ланцюзі;

$P_1$  — ймовірність катастрофи з першим об'єктом за умови наявності загрози;

$P_{i,i-1}$  — ймовірність катастрофи з  $i$ -м об'єктом за умови, що відбулися послідовні у часі катастрофи з попередніми  $i-1$  об'єктами системи.

Коли припустити, що перелічені події незалежні у сукупності, то (1) набирає вигляду:

$$P = P_z \cdot \prod_{i=1}^n P_i, \quad (2)$$

де  $P_i$  — ймовірність катастрофи з  $i$ -м об'єктом за умови виникнення загрози від попереднього об'єкта (тобто катастрофи з ним).

Коли схема моделі має вигляд рис. 3 і катастрофа з останнім об'єктом, яка означає катастрофу всієї системи, може бути спричинена будь-якою з кількох загроз, то цю подію можна розглядати як суму подій — складна подія, яка полягає у тому, що станеться катастрофа з останнім об'єктом через виникнення хоча б одного з чинників, що можуть заподіяти шкоду першому об'єкту в будь-

якій гілці дерева системи. Ймовірність катастрофи системи у такому випадку дорівнює [2]:

$$P = P \left\{ \sum_{j=1}^m A_j \right\} = 1 - P \left\{ \prod_{j=1}^m \bar{A}_j \right\}, \quad (3)$$

де  $A_j, j = 1, 2, \dots, m$  — подія, яка полягає у тому, що до катастрофи системи призведе вплив чинника на  $j$ -ту гілку дерева ( $j$ -й вхід системи);

$\bar{A}_j$  — подія протилежна події  $A_j$ .

Вважаємо події  $A_j, j = 1, 2, \dots, m$ , незалежними, але такими, що не становлять повну групу подій. Тоді ймовірність події — катастрофи з системою дорівнюватиме:

$$P_z = P_{zj} \cdot \prod_{i=1}^{n_j} P_{ij}, \quad (4)$$

де  $P_{zj}$  — ймовірність виникнення чинника, що може заподіяти зло першому об'єкту на початку  $j$ -ї гілки (ймовірність загрози);

$n_j$  — кількість об'єктів у  $j$ -ій гілці (від першого у гілці до останнього у стовбурі);

$P_{ij}$  — ймовірність катастрофи з  $i$ -м об'єктом за умови виникнення загрози від попереднього об'єкта.

З урахуванням (4) вираз для ймовірності катастрофи системи (3) можна трансформувати таким чином:

$$P = 1 - \prod_{j=1}^m \bar{P}_j = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_j) = 1 - \prod_{j=1}^m \left( 1 - P_{zj} \prod_{i=1}^{n_j} P_{ij} \right), \quad (5)$$

Для схеми на рис. 4, коли безпеку системи визначають безпекою кількох останніх у своїх стовбурах об'єктів, і катастрофа системи — це подія, коли всі ці об'єкти зазнають лиха, тобто має місце добуток подій, ймовірність катастрофи системи визначатимуть за формулою (вважаємо, що ці події незалежні у сукупності) [2]:

$$P = \prod_{k=1}^L P_k, \quad (6)$$

де  $P_k$  — ймовірність катастрофи з  $k$ -м об'єктом, які визначають за формулою (4).

Більш жорстким у розумінні вимог до рівня безпеки системи є варіант, коли катастрофою системи вважається подія, коли не всі, а хоча б один із останніх у своїх стовбурах об'єктів зазнає катастрофи, тобто має місце сума подій і ймовірність катастрофи системи має визначатися за формулою (вважаємо складові суми незалежними у сукупності):

$$P = P \left\{ \sum_{j=1}^L B_j \right\} = 1 - P \left\{ \prod_{j=1}^L \bar{B}_j \right\}, \quad (7)$$

де  $B_j, j = 1, 2, \dots, m$ , подія, яка полягає у тому, що відбувається катастрофа  $j$ -го об'єкта;

$\bar{B}_j$  — подія, протилежна події  $B_j$ .

**Щодо визначення значень ймовірностей катастроф з об'єктами.** У багатьох практичних випадках лихом, катастрофою вважають відхилення певної випадкової змінної  $\varepsilon$ , що характеризує стан об'єкта, за межі  $\pm\gamma$  відносно деякого усталеного значення  $\varepsilon_0$ . Для спрощення нехай  $\varepsilon_0 = 0$ . Коли можна припустити, що змінна розподілена за нормальним законом та її середнє квадратичне значення значно менше за значення  $\gamma$ , то для знаходження ймовірності викиду  $\varepsilon$  за межі  $\pm\gamma$  можна використати результати з теорії викидів випадкових процесів [3], відповідно до яких середнє число викидів процесу дорівнює

$$\gamma^{+(-)} = \frac{\omega_H}{2\pi} \exp\left(-\frac{(\gamma(\bar{+})m_\varepsilon)^2}{2D_\varepsilon}\right), \quad (8)$$

де  $\omega_H$  — середня квадратична частота спектральної щільності  $S_\varepsilon(\omega)$  процесу. (Вираз не придатний для випадку, коли функція кореляції процесу не має другої похідної):

$$\omega_H^2 = \frac{1}{2\pi D_\varepsilon} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 S_\varepsilon(\omega) d\omega \quad (9)$$

$m_\varepsilon \cdot D_\varepsilon$  — математичне сподівання та дисперсія процесу  $\varepsilon$ .

На підставі закону Пуассона для ймовірності  $P$  хоча б одного викиду змінної  $\varepsilon$  за межі  $\pm\gamma$  (катастрофи) за час  $t_c$  можна записати такий вираз [4]:

$$P(t_c) = 1 - \exp[-(\gamma^- + \gamma^+) t_c] \quad (10)$$

Описаний вище підхід може поширитися на багатовимірний випадок, коли стан об'єкта характеризується кількома змінними або поведінкою кількох об'єктів.

Нехай стан системи визначається випадковими змінними  $\varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n$ . Викид хоча б однієї з них  $\varepsilon_i$  за деякі межі  $\gamma_{1i}, \gamma_{2i}$  відносно усталеного значення  $\varepsilon_{0i}$  означає катастрофу всієї системи. Для спрощення нехай  $\varepsilon_{0i} = 0, i = 1, 2, \dots, n$ .

Введемо вектор відхилення системи від усталеного стану  $\bar{E} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)^{-1}$  та вектори нижніх  $\bar{\Gamma}_1 = (\gamma_{11}, \gamma_{12}, \dots, \gamma_{1n})^{-1}$  й верхніх  $\bar{\Gamma}_2 = (\gamma_{21}, \gamma_{22}, \dots, \gamma_{2n})^{-1}$  меж області припустимих значень для складових вектора  $\bar{E}$ .

При малих ймовірностях викидів складових вектора  $\bar{E}$  за межі  $\bar{\Gamma}_1$  і  $\bar{\Gamma}_2$  та за умови, що можна вважати ці складові стаціонарними нормальними процесами, для визначення

ймовірності катастрофи системи за час спостереження  $t_c$  можна використати результати теорії викидів випадкових процесів для одномірного випадку:

$$P(t_c) = 1 - e^{-N t_c} \quad (11)$$

де  $N$  — частота викидів процесу за задані межі.

Такий підхід, на наш погляд, є цілком коректним, адже йдеться лише про хоча б один викид будь-якої складової вектора  $\bar{E}$  за межі  $\bar{\Gamma}_1$  та  $\bar{\Gamma}_2$ . Отже, треба тільки знайти частоту викидів вектора за межі  $\bar{E}$  за межі  $\bar{\Gamma}_1$  і  $\bar{\Gamma}_2$ .

Введемо випадкове число  $\Pi$ , що дорівнює числу викидів вектора  $\bar{E}$  за  $\bar{\Gamma}_1$  та  $\bar{\Gamma}_2$  на інтервалі часу  $\tau$ .

$$\Pi = \sum_{i=1}^n P_{1i} + \sum_{i=1}^n P_{2i} \quad (12)$$

де  $P_{1i}$  та  $P_{2i}$  — випадкові числа, які дорівнюють числам викидів за межі та відповідно на інтервалі часу  $\tau$ .

Частота викидів  $N$  вектора  $\bar{E}$  за  $\bar{\Gamma}_1$  та  $\bar{\Gamma}_2$  дорівнюватиме математичному сподіванню числа  $\Pi$ , поділеному на  $\tau$ :

$$N = \frac{M\{\Pi\}}{\tau} = \sum_{i=1}^n \frac{M\{P_{1i}\}}{\tau} + \sum_{i=1}^n \frac{M\{P_{2i}\}}{\tau} = v_{1i} + v_{2i} \quad (13)$$

де  $v_{1i}$  та  $v_{2i}$  — частоти викидів  $\varepsilon_i$  за межі  $\gamma_{1i}$  та  $\gamma_{2i}$ , які можна знайти у такий самий спосіб, що й у одномірному випадку (див. вирази (8), (9)):

$$v_{ri} = \frac{\left( \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 S_{\varepsilon_i}(\omega) d\omega \right)^{\frac{1}{2}}}{2\pi \left( \int_{-\infty}^{\infty} S_{\varepsilon_i}(\omega) d\omega \right)^{\frac{1}{2}}} \exp\left( \frac{-\pi \gamma_{eri}^2}{\int_{-\infty}^{\infty} S_{\varepsilon_i}(\omega) d\omega} \right) r=1,2, \quad (14)$$

де  $\gamma_{eri}^2 = \gamma_{ri}^2 - m_{\varepsilon_i}$ ;

$S_{\varepsilon_i}(\omega)$  — спектральна щільність флуктуаційної складової відхилення  $\varepsilon_i$ ;

$m_{\varepsilon_i}$  — математичне сподівання  $\varepsilon_i$ .

Якщо процес  $\bar{E}$  не стаціонарний, то математичні сподівання змінюються у часі і відповідно залежним від часу стає частота викидів  $N(t)$ . Розіб'ємо інтервал спостереження  $t_c$  на  $L$  досить малих відрізків часу  $\Delta t$ , на яких частоту викидів  $N_l, l = 1, 2, \dots, L$ , можна вважати сталою, і припускаючи, що викиди вектора  $\bar{E}$  на кожній з ділянок є незалежними подіями, запишемо для ймовірності катастрофи  $P$  за час спостереження  $t_c = \Delta t \cdot L$  такий вираз:

$$P(t_c) = 1 - \exp[-\Delta t \sum_l^N N_l] \quad (15)$$

При  $\Delta t \rightarrow 0$  вираз (15) набирає вигляду:

$$P(t_c) = 1 - e^{-\int_0^{t_c} N(t) dt} \quad (16)$$

## Висновок

Отже, на підставі сформульованих тверджень можна представити систему у вимірі можливого у вигляді своєрідної мережі — сукупності вузлів небезпеки, з лініями передачі загроз або стримування їх, які через математичні моделі відповідних причинно-наслідкових зв'язків визначають небезпеку кожно-

го об'єкта. Тобто пропонується щось на зразок фундаменту, на якому можна будувати теоретичні конструкції будь-якого рівня складності.

## Джерела

- 1 *Великий тлумачний словник сучасної української мови*. — К.: Ірпінь: ВТФ «Перун», 2003. — 432 с.
- 2 *Справочник по вероятностным расчетам*. М., Воениздат, 1970. — 536 с.
- 3 *Тихонов В.И.* Выбросы случайных процессов. — М.: Наука, 1970. — 392 с.
- 4 *Обрезков Г. В., Развиг В. Д.* Методы анализа срыва слежения. — М.: Сов. радио, 1972. — 240 с.