

УДК 681.324

**Бондаренко В. Є.**, канд. техн. наук, доц. (Тел.: +380 99 520 62 19. E-mail : victorbondarenko@ukr.net)  
(Державний університет телекомунікацій, м. Київ)

## ЕЛЕМЕНТИ СУБ'ЄКТИВНОЇ ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ МОЖЛИВОСТІ ШКІДЛИВИХ ВПЛИВІВ І ДЕСТРУКТИВНИХ ДІЙ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

**Бондаренко В. Є.** Елементи суб'єктивної теорії ймовірностей для оцінки можливості шкідливих впливів і деструктивних дій в комп'ютерних мережах. Аналіз живучості комп'ютерних мереж потребує оцінки можливості деструктивних дій і шкідливих впливів в комп'ютерних мережах. Як правило, такі дії і впливи носять випадковий характер. Однак для оцінки випадкових подій такого типу, використання класичної теорії ймовірностей неприпустиме, оскільки такі події не носять масового характеру. Тому в роботі запропонований підхід для оцінки можливості події, яка не носить масового характеру, на основі знань групи експертів. Таку оцінку будемо називати суб'єктивною ймовірністю. Для більш якісної оцінки суб'єктивної ймовірності, вводиться коефіцієнт довіри до експерта, який корегується в залежності від апостеріорної оцінки прогнозу експерта.

**Ключові слова:** комп'ютерна мережа, суб'єктивна ймовірність, експертна оцінка, деструктивні дії, живучість

**Бондаренко В. Е.** Элементы субъективной теории вероятностей для оценки возможности вредных влияний и деструктивных действий в компьютерных сетях. Анализ живучести компьютерных сетей нуждается в оценке возможности действия и влияния носят случайный характер. Однако для оценки случайных событий такого типа, использование классической теории вероятностей недопустимо, поскольку такие события не носят массовый характер. Поэтому, в работе предложен подход для оценки возможности события, которое не носит массовый характер, на основе знаний группы экспертов. Такую оценку будем называть субъективной вероятностью. Для более качественной оценки субъективной вероятности, вводится коэффициент доверия к эксперту, который корректируется в зависимости от апостериорной оценки прогноза эксперта.

**Ключевые слова:** компьютерная сеть, субъективная вероятность, экспертная оценка, деструктивные действия, живучесть

**Bondarenko V. Ye.** Elements of subjective probability theory for the estimation of possibility of harmful influences and destructive actions in computer networks. The analysis of computer networks survivability needs estimation of possibility of destructive actions and harmful influences in computer networks. As a rule, such actions and influences have accidental character. However the estimation of random events of such type, on the base of the classic probability theory is impermissible, as such events do not have mass character. It is difficult to do the estimation of event frequency, which gives the estimation of the event probability. Therefore, this paper offers approach for an estimation possibility of a event which does not has mass character, on the basis of group experts knowledge. We will call such estimation as the subjective probability. For more high-quality estimation of the subjective probability, the coefficient of trust is entered to experts. This coefficient is corrected depending on a posteriori estimation of expert's prediction.

**Keywords:** computer network, subjective probability, expert estimation, destructive actions, survivability

**Постановка задачі.** Досліджуючи поняття живучості комп'ютерних мереж, необхідно аналізувати ймовірності і робити оцінки можливості шкідливих впливів і деструктивних дій в комп'ютерних мережах. Хоча шкідливі впливи і деструктивні дії на комп'ютерні мережі є випадковими подіями, але вони не носять одноманітного масового характеру. Тобто такі події мають трактуватися як одиничні. Тому для аналізу таких подій важко застосувати стандартні методи класичної теорії ймовірностей.

Розробці підходу до оцінки ймовірностей одиничних подій присвячена дана робота.

**Аналіз існуючих підходів до інтерпретацій ймовірностей.** Існують багато інтерпретацій ймовірностей. Розглянемо логіку визначення різних інтерпретацій ймовірності, а також дамо аналіз введених конструкцій [1].

**Класична (або симетрична) інтерпретація.** Первинні поняття і методи теорії ймовірності виникли з розгляду ситуацій, які складаються в азартних іграх. Такі ігри і їх правила організовані так, щоб різні результати виявлялися рівноможливими. Так, наприклад, при киданні гральній випадання кожної грані є однаково можливим. Якщо, наприклад, гральна виготовлена ретельно, то ймовірність випадання будь-якого числа очків від 1 до 6 рівна  $1/6$ . Такий підхід до визначення ймовірності детально викладається Якобом Бернуллі в його роботі «Мистецтво пропозицій».

Найбільш послідовно класична інтерпретація була розроблена П. Лапласом в роботі "Досвід філософії теорії ймовірності". Лаплас визначає ймовірність як *відношення числа сприятливих результатів, до всіх можливих*, при цьому різні результати вважаються рівноможливими.

**Частотна (або статистична) інтерпретація.** Частотна, або статистична, інтерпретація ймовірності має свої коріння ще в античній науці, хоча в явному вигляді ця концепція була розроблена вперше в 1866 р. англійським ученим Дж. Венном. Починаючи з його роботи «Логіка випадку», частотна інтерпретація набуває великої популярності серед статистиків. Що і не дивно, оскільки більшість завдань статистики не можна звести до схеми рівноможливих випадків, і, отже, використовувати класичне визначення ймовірності.

Згідно частотної інтерпретації, ймовірність визначається через відносну частоту подій безпосередньо, або непрямым шляхом. Венн визначав ймовірність як *межу відносної частоти події при великому числі випробувань*.

Потрібно відзначити, що частотна ймовірність є характеристикою відношення між двома класами подій і у жодному випадку не підходить для ситуації, коли ми маємо справу з подіями, що не повторюються і є одиничними. При такому тлумаченні теорія ймовірності перетворюється на науку про кількісні закономірності *масових* випадкових явищ.

**Ймовірність як міра розумної віри.** У 20-і роки з новою інтерпретацією ймовірності виступив відомий англійський учений Дж. М. Кейнс. Критикуючи класичну і частотну інтерпретації, він почав розглядати ймовірність як міру розумної віри, яку ми приписуємо вислову при точно фіксованих даних.

Нехай посилки складаються з будь-якої множини висловів  $h$ , а висновок з множини  $a$ . Тоді, якщо знання  $h$  *обґрунтовує* розумну віру міри  $a$ , ми говоримо, що існує *ймовірнісне відношення* міри  $a$  між  $h$  і  $a$ .

Таким чином, в інтерпретації Кейнса, ймовірність представляє логічне відношення між двома множинами висловів. Тому воно має аналітичний характер, а не емпіричний.

**Ймовірність як міра довіри.** Ця інтерпретація, на відміну від попередньої, розглядає імовірнісні вислови як вислови про дійсні міри віри суб'єкта у вислів. Твердження, в яке не вірять повністю, але і не відкидають цілком, вважається ймовірним.

У явній формі ця інтерпретація вперше була представлена англійським ученим Ф.П. Рамсеєм в книзі «Основи математики».

Дана інтерпретація зручна тим, що в ній безпосередньо вказується практичний спосіб обчислення ймовірності. Рамсей, як метод, запропонував систему, засновану на парі'. Наприклад, якщо парі' ставиться на твердження, що «завтра мережу буде атакувати зловмисник», то ймовірність цього твердження для мене оцінюється найвищою ставкою, яку я пропоную в парі'. Якщо ставки були відповідно 6:2, то ймовірність дорівнюватиме 6/8. Даний метод хоча і має свої недоліки, але є базовою ідеєю для подальшого розвитку інших подібних методів.

Перше питання, що виникає у зв'язку з суб'єктивною ймовірністю, стосується практичного використання цієї концепції. Так, суб'єктивна інтерпретація знаходить плідне застосування в теорії рішень. Там, де ми маємо справу з прагматичною оцінкою діяльності людини, там ми неминуче стикаємося з суб'єктивною .

**Логічна інтерпретація.** Дана концепція трактує ймовірність як характеристику судження. Теорію логічної ймовірності якнайповніше виклав Р. Карнап в книзі «Логічні підстави ймовірності». У інтерпретації Карнапа, поняття ймовірності розглядається як логічна категорія (категорія індуктивної логіки). Ймовірність характеризує логічний зв'язок між судженнями, а саме *міра підтвердження* гіпотези  $H$  даними свідцтвами  $E$ .

Таким чином, судження «відносно даних  $E$  гіпотезі  $H$  властива ймовірність  $p$ » є аналітичним, бо воно нічого не говорить про світ, є незалежним від емпіричної істинності  $E$  і  $H$ , хоча як  $E$ , так і  $H$  можуть бути і переважно є емпіричними судженнями.

Наприклад, відносно даних «Мережа банку «Стріла» атакувалася хакерами 20 разів з них сервер мережі був атакований 5 разів» гіпотезі «черговою атакою хакерів серверу вказаного банку» властива ймовірність 5/20.

Слід підкреслити, що в рамках цієї концепції поняття ймовірності не має нічого спільного з поняттям істинності. Приписування гіпотезі  $H$  степені ймовірності  $p = 1$  відносно яких-небудь даних  $E$  не означає її істинності, оскільки дані  $E$  можуть бути помилковими і тоді істинність гіпотези  $H$  логічно не виводиться, з тієї ж причини ймовірність  $p = 0$  не означає помилковості гіпотези  $H$  відносно даних  $E$ .

В цьому відношенні позиція Карнапа відрізняється від поглядів Р. Райхенбаха, який інтерпретує ймовірність суджень як *міру (вагу) їх істинності*, а крайні значення ймовірності (0 і 1) – як еквіваленти понять *брехня* і *істина*. До недоліків цієї інтерпретації, мабуть, варто віднести важкість кількісної оцінки міри підтвердження.

**Експертна оцінка суб'єктивної ймовірності.** Якщо людина або група людей оцінюють ймовірність настання тієї або іншої події на основі досвіду, наявної інформації і інтуїції, то така ймовірність є суб'єктивною ймовірністю.

Суб'єктивна ймовірність включає індивідуальні думки, інформацію і інші критерії. Вивчення суб'єктивної ймовірності як області наукового знання почалося в 30-х рр. ХХ сторіччя. Оскільки йде процес її становлення, то це – дискусійна область теорії ймовірності. Вона близько асоціюється з методами ухвалення рішень в умовах невизначеності. Експерт, що оцінює ймовірність успіху якої-небудь події, пропонує як рішення персональні думки, що базуються на особистому досвіді, знанні. Суб'єктивна ймовірність одного експерта може сильно відрізнитися від суб'єктивної ймовірності іншого при оцінці однієї і тієї ж події.

Існують різні методи оцінки суб'єктивної ймовірності. Більшість з них заснована на проведенні експерименту. Відмінності в методах полягають у вирішенні завдань або з

скінченною множиною подій, або з нескінченною. Для першого завдання можлива оцінка ймовірності кожної події окремо, для другої – будуються функції розподілу безперервних випадкових величин.

Їх побудова полягає в знаходженні декількох точок на графіці функції розподілу і подальшому з'єднанні їх гладкою кривою. Існує інший підхід, на основі якого висувається припущення про те, що певний вигляд функції розподілу наперед відомий і для конкретного вибору потрібна оцінка невідомих параметрів. Методи з скінченною множиною подій призначені для знаходження розподілу ймовірності  $(p_1, p_2, \dots, p_n)$  на кінцевій множині несумісних подій  $(A_1, A_2, \dots, A_n)$ .

**Алгоритм оцінки суб'єктивної ймовірності.** В роботі пропонується алгоритм пошуку суб'єктивної ймовірності найбільш надійного з'єднання для елементів комп'ютерної мережі, який, на відміну від інших [2, 3], враховує компетентність експертів за допомогою коефіцієнта довіри, який може корегуватися в залежності від апостеріорної оцінки настання події.

Визначення ймовірності події  $c_{ij}$ , яка полягає у тому, що шкідливі впливи на мережу при підключення елемента  $i$  до елементу  $j$  не порушать роботи цієї ділянки мережі, виконує група з  $m$  експертів за наведеним нижче алгоритмом з можливим використанням  $T$  етапів оцінювання з метою підвищення його якості. Алгоритм полягає в наступному:

1. Ймовірність  $c_{ij}$  обчислюється як зважене середнє за такою формулою

$$c_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m \rho_k S_{ij}^k}{100 \sum_{k=1}^m \rho_k},$$

де  $\rho_k$  – коефіцієнт довіри до  $k$ -го експерта (на першому етапі оцінювання коефіцієнти довіри до усіх експертів однакові і дорівнюють 1);

$S_{ij}^k$  – корисність підключення  $j$ -го елемента мережі до  $i$ -го елемента, що визначена  $k$ -им експертом;

$m$  – кількість експертів.

Корисності  $S_{ij}^k$  підключення різних елементів мережі один до одного знаходяться кожним експертом на основі шкали корисності включення елементів (структур) в організаційні структури вищого рівня (Табл. 1.). Значення шкали визначаються у межах від 0 до 100. Вони обираються таким чином, щоб ймовірність вразливості такого з'єднання була мінімальною на думку експерта.

2. Коригується коефіцієнт довіри до  $k$ -го експерта за такою формулою

$$\rho_k = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \rho_k^t,$$

де  $T$  – кількість етапів оцінювання;

$\rho_k^t = e^{-\frac{(R_{ij} - S_{ij}^k)^2}{2\sigma_k}}$  – коефіцієнт довіри до  $k$ -го експерта на  $t$ -му етапі оцінювання;

$R_{ij}$  – апостеріорна корисність підключення  $j$ -го елемента мережі до  $i$ -го (тобто корисність підключення, яка визначена в процесі функціонування структури мережі);

$\sigma_k$  – коефіцієнт забування  $k$ -го експерта, характеризує швидкість зміни довіри до експертів особи, що приймає рішення.

**Шкала корисності**

**Табл. 1**

Корисність підключення $j$ -го елемента до $i$ -го у структурі мережі	Чисельне значення корисності ( $c_{ij}$ )
Відсутня, або підпорядкування шкідливе	0
Незначна	1 – 10
Помітна	11 – 20
Близька до середньої	21 – 30
Середня	31 – 40
Вища середньої	41 – 50
Суттєва	51 – 60
Добра	61 – 70
Близька до високої	71 – 80
Висока	81 – 90
Дуже висока	91 – 100

3. Пункти 1 і 2 повторюються доти, доки зміна коефіцієнтів довіри не буде менша за задану величину.

**Висновки**

Запропонований в роботі алгоритм дозволяє ефективно будувати групою експертів оцінки суб'єктивних ймовірностей подій деструктивних впливів на комп'ютерних мережах з урахуванням довіри до компетентності експертів, а також враховуючи швидкість зміни довіри до експертів особою, що приймає рішення.

**Література**

1. Кайберг Г. Вероятность и индуктивная логика / Г. Кайбер. – Москва : Прогресс, 1978. – 375 с.
2. Наумов Г. Е. Субъективная вероятность: способы представления и методы получения / Г. Е. Наумов, В. В. Подиновский, Вик. В. Подиновский // Техническая кибернетика. – 1991. – №5. – С. 94-109.
3. Fishburn P. C. The Axioms of Subjective Probability / P. C. Fishburn // Statistical Science. – 1986. – V.1, N 3. – P.335-345.