УДК 004.415.056.5(075) **І.М. Павлов, С.В. Толюпа**

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

У статті пропонується аналіз оцінки ефективності математичних моделей теорії ігор на основі класифікації згідно класів та ознак специфіки застосування моделей. Розкривається клас оцінки ефективності математичних моделей прийняття рішень під час проектування систем захисту інформації.

Ключові слова: загрози, гравці, коаліції, механізми захисту, моделі, теорія ігор, системи захисту інформації, стратегії.

Постановка проблеми. Під час аналізу процесів захисту інформації на етапі ескізного проектування, коли розробник моделює ворожу для системи захисту обстановку передусім мають бути сформульовані правила гри, тобто система умов, яка визначає можливі варіанти дій протилежних сторін (гравців), послідовність ходів, обсяг інформації кожного гравця про поведінку іншого і про функцію виграшу. Можливі варіанти способів дій витікають безпосередньо з аналізу конфліктної ситуації. Однією з перспективних математичних теорій, яка може надати інструменти для розв’язання таких ситуацій є математична теорія ігор. Правильно вибрати математичний апарат для моделювання таких процесів в системах захисту інформації є головною проблемою будь-якого дослідження.

У зв’язку з цим, аналіз підходів оцінки ефективності математичних моделей при проектуванні систем захисту інформації та обґрунтування класифікації таких підходів, є *актуальними науковими завданнями*.

Аналіз останніх досліджень і публікацій дає змогу дійти висновку, що сучасні методичні підходи розрізнені, неповні, а у деяких випадках суперечливі.

Так, використання математичного аналізу [1] дає змогу обґрунтувати лише часткові данні класифікації моделей теорії ігор такі як, кількість зацікавлених сторін та кількість коаліцій дій гравців. Математичні моделі аналізу [2] розкривають тільки моделі за результатами гри, за характером та об’ємом інформації, в залежності та кількості можливих стратегій. Джерело [3] розкриває моделі за кількістю коаліцій дій гравців, за виграшем гри, за характером отримання інформації, за кількістю стратегій. Автори [4] розкривають тільки класичні кооперативні ігри не вдаючись до їх місця у загальній теорії ігор. Автори [5] у загалі надають приклади безкінцевих антагоністичних ігор не розкриваючи класифікації математичних підходів теорії ігор. Автор [6] розкриваючи моделі статистичних та динамічних ігор і будуючи математичні перетворення в інтересах моделювання нападів на інформацію зовсім не визначив місце і роль математичних моделей теорії ігор в аналізі систем захисту інформації. Надаючи обґрунтування доцільності застосування теорії ігор для моделювання процесів нападу на інформацію автор [6] пропонує такі перетворення тільки для 2-х гравців, що є частковим прикладом коаліційної гри, а не питання розгляду роботи системи захисту інформації у цілому. Особливо це важливо при розгляді питань аналізу систем захисту інформації під час проектування.

Для проведення аналізу процесів прийняття рішення розробнику необхідно мати чітку уяву місця своїх досліджень в предметній області. Пропонуючи основні результати досліджень в області захисту інформації необхідно відштовхуватися від зрозумілих посилань на місце аналітичних моделей прийняття рішень в процесі моделювання роботи систем захисту інформації.

Таким чином, *метою статті є* надання системного аналізу підходам оцінки ефективності математичних моделей прийняття рішень при проектуванні систем захисту інформації.

Основна частина. У статті [7] авторами був розкритий клас моделювання процесів прийняття рішень загальної класифікації теорії ігор при проектуванні систем захисту інформації. Ця стаття є продовженням розгляду математичних моделей теорії ігор в інтересах проектування систем захисту інформації. Усі математичні моделі теорії ігор, які застосовуються для прийняття рішень при проектування систем захисту інформації, умовно можна поділити на 2 класи: клас моделювання процесів прийняття рішень та клас оцінки ефективності математичних моделей прийняття рішень (рис. 1.).

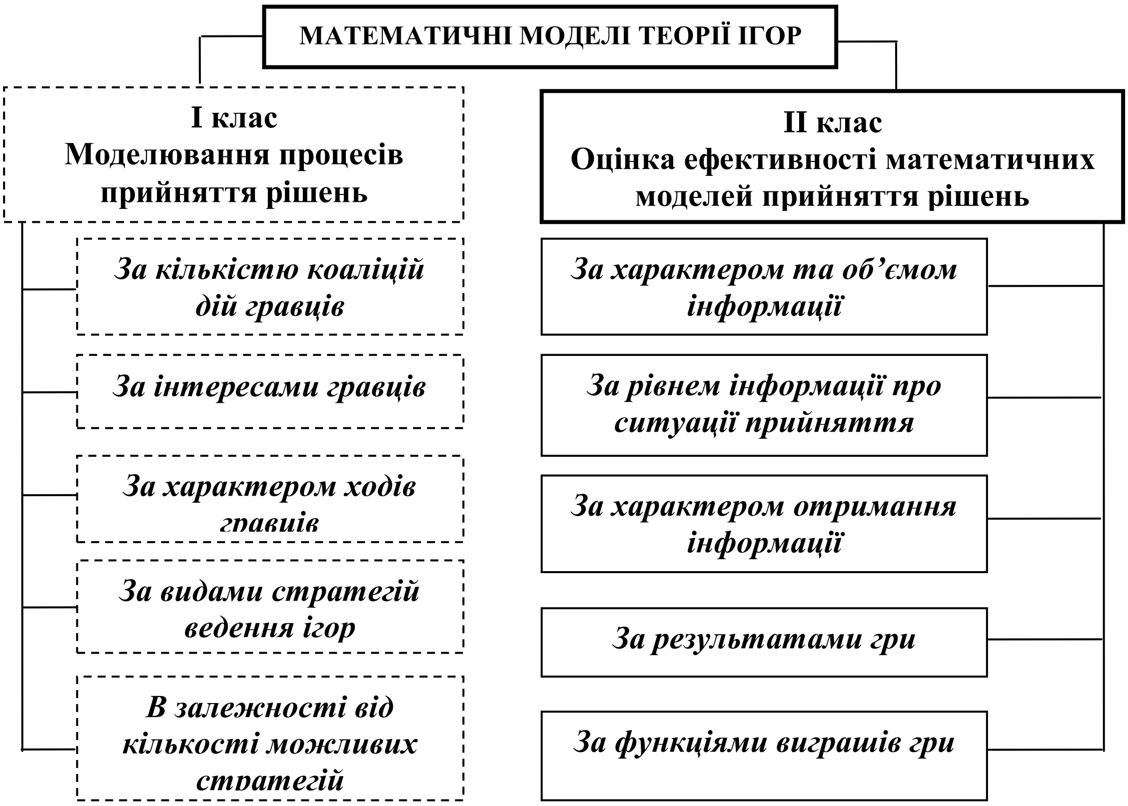

Рис. 1. Загальна класифікація математичних моделей теорії ігор
при проектування систем захисту інформації

Першою ознакою класу оцінки ефективності математичних моделей прийняття рішень є класифікація **за характером та об'ємом інформації** (рис. 2).

Основною ознакою такої класифікації, яка доступна гравцю відносно дій іншого гравця, є розподіл моделей гри з повною інформацією, або з неповною (частковою) інформацією.

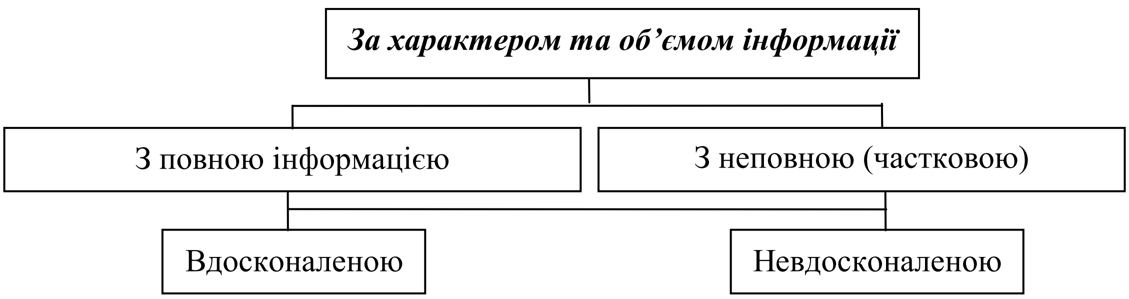

Рис. 2. Класифікація математичних моделей теорії ігор
за характером та об'ємом інформації класу оцінки ефективності математичних
моделей прийняття рішень при проектуванні систем захисту інформації

Моделі гри з повною інформацією, це моделі, в яких кожен гравець при кожному ході знає результати усіх попередніх ходів, як особистих так і випадкових. Прикладами таких моделей також є ігри в шахи або шашки, а також гра в хрест-нуль. В проектуванні систем захисту інформації такі моделі можливо розглядати при оцінки часткового випадку роботи моделей захисту інформації, коли аналізуються процеси роботи механізмів захисту (фільтрів захисту), характеристики яких відомі.

Більшість моделей ігор не належить до класу моделей ігор з повною інформацією, так як невідомість дій противника зазвичай є головним елементом конфліктних ситуацій.

Кожна модель гри з повною інформацією має сідлову точку і, відповідно, має рішення в чистих стратегіях. В кожній грі з повною інформацією існує пара оптимальних стратегій, яка дає виграш, який дорівнює ціні гри. Якщо рішення гри відомо, то сама гра немає сенсу.

Модель гри з повною інформацією може бути моделлю гри з вдосконаленою інформацією або з невдосконаленою інформацією. *У моделях гри з вдосконаленою інформацією* механізми захисту "запрограмовані" на визначений характер гри (операції) і усі попередні ходи (які зроблені механізмами захисту або обумовлені випадком) на кожному кроці гри (ситуації). У моделях з *недосконалою інформацією* механізми захисту "запрограмовані" на характер гри, але не мають повноти відомостей про попередні ходи, які були зроблені у процесі гри. У таких випадках необхідно розглядати системи виявлення атак, які повинні мати елементи штучного інтелекту і керувати фільтрами захисту.

У моделях гри з неповною (частковою) інформацією механізми захисту не мають повноти відомостей про можливості гри, результати виграшів загроз. Остання проблема може виникнути у зв'язку з граничною інформацією механізмів захисту і загроз про:

фізичні наслідки наборів альтернативних стратегій;

упорядкуванні стратегій загроз на цих фізичних виходах;

деякого набору додаткових факторів.

Крім того, механізми захисту можуть не знати, у якому об'ємі ті або інші загрози мають інформацію про стратегічні можливості і функції виграшів будь-якого механізму захисту.

Класична теорія ігор не може трактувати ігри з неповною інформацією (але охоплює ігри як з досконалою так і недосконалою інформацією, коли вони мають характер ігор з неповною інформацією). Відомо, що це встановлює обмеження, так як фактично усі ігрові ситуації в реальному житті включають неповну інформацію. Доволі часто має місце невизначеність відносно стратегій, які доступні тим або іншим загрозам.

Другою ознакою класу оцінки ефективності моделей ігор є оцінка математичних моделей **за рівнем інформації про ситуації прийняття рішень** (рис. 3).

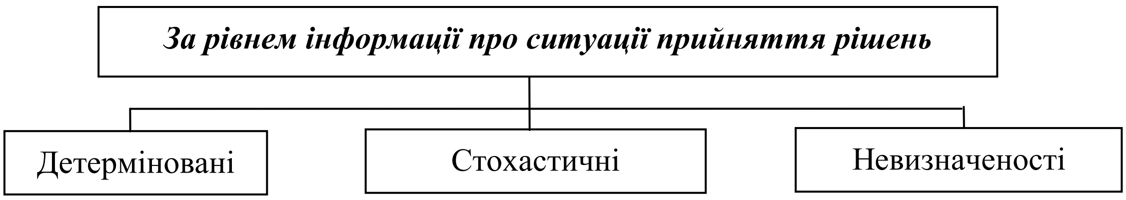

Рис. 3. Класифікація математичних моделей теорії ігор
за рівнем інформації про ситуації прийняття рішень класу оцінки ефективності
математичних моделей прийняття рішень при проектуванні систем захисту

У цій ознаці класифікації інформація про ситуації прийняття рішень поділяється на ***детерміновану*** – коли умови, в яких приймається рішення, відомі повністю; ***стохастичну*** – коли відома множина можливих варіантів умов і їх вірогідний розподіл. В умовах стохастичних моделей задача прийняття рішення зводиться до находження екстремуму функцій (або математичного очікування) при заданих обмеженнях. Методи рішення таких задач необхідно вирішувати в курсі математичного програмування або методів оптимізації. Третій напрямок – ***невизначеності*** коли відома множина можливих варіантів, але без будь-якої інформації про їх вірогідності.

Наступна ознака класифікації – з**а характером отримання інформації.** При такій ознаці математичні моделі теорії ігор можна поділити на моделі у нормальній формі, та моделі у екстенсивній формі (рис. 4).

Моделі у нормальній формі описуються у формі матриці (*матричні моделі*), у якій кожна сторона (точніше вимір) матриці – це гравець, строки визначають стратегії першого гравця, а стовбці – другого. На перетині двох стратегій можна бачити виграш, який отримують гравці. У табл. 1, якщо гравець 1 вибирає першу стратегію, а другий гравець – другу стратегію, то на перетині можна побачити (-1, -1), це значить, у в результаті ходів гравці втратили по одному очку.

Гравці вибирають стратегії з максимальним для себе результатом, про програли, із-за відсутності знань про ходи другого гравця. Зазвичай в нормальній формі представляються ігри, в яких ходи робляться одночасно, або хоча-б полагається, що усі гравці не знають про те, що роблять інші гравці.

Рис. 4. Класифікація математичних моделей теорії ігор
за характером отримання інформації класу оцінки ефективності математичних
моделей прийняття рішень при проектуванні систем захисту інформації

Такі моделі можливо розглядати для часткового випадку гри однієї або двох загроз та одного або двох механізмів захисту. Такі моделі неможливо аналізувати при оцінці процесу захисту інформації від сукупності невизначених загроз.

Таблиця 1

Матриця виграшів гравців

	Гравець 2 Стратегія 1	**Гравець 2 Стратегія 2**
Гравець 1 Стратегія 1	***4*, 3**	**-*1*, -1**
Гравець 1 Стратегія 2	***0*, 0**	***3*, 4**
Нормальна форма для гри 2 гравців у кожного з яких по 2 стратегії		

Моделі у екстенсивній (розширеній) формі представляються у вигляді орієнтовного древа, де кожна вершина відповідає ситуації вибору гравцем своєї стратегії. Кожному гравцю спів поставлений цілий рівень вершин. Результати записуються під кожною листвою древа (рис. 5).

На рис. 5 представлена гра двох гравців. Гравець 1 ходить першим і вибирає стратегію *F* або *U*. Гравець 2 аналізує свою позицію і вирішує – вибирати стратегію *A* або *R*. Скоріше перший гравець вибере U, а другий – A (для кожного з них це оптимальні стратегії), тоді вони отримають відповідно 8 і 2 очки.

Екстенсивна форма наглядна, за її допомогою особливо зручно представляти ігри з більш чим 2 гравцями і ігри з послідовними ходами. Якщо же учасники роблять одночасно ходи, то відповідні вершини або з'єднуються пунктиром, або обводяться сполошною лінією. Такі моделі є перспективними для аналізу процесу захисту інформації.

Основою таких моделей може служити теорія топосів, яка надає робочі механізми для аналізу і моделювання впливу загроз на ті або інші механізми захисту інформації.

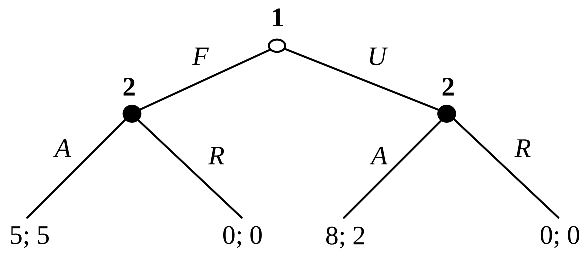

Рис. 5. Модель у екстенсивній формі у вигляді графу

В паралельних іграх гравці ходять одночасно, або, принаймні, вони не знають про вибори інших поки усі не зроблять свій хід. *У послідовних, або динамічних, іграх* учасники можуть робити ходи у заздалегідь встановленому або випадковому порядку, але при цьому вони отримують деяку інформацію про попередніх діях інших. Ця інформація може бути навіть не зовсім повною, наприклад, гравець може дізнатися, що його противник з десяти своїх стратегій точно не вибрав п'яту, нічого не дізнавшись про інших. Така інформація корисна для системи виявлення атак, щоб визначитися в подальших стратегіях дій механізмів захисту.

Відмінності в поданні паралельних і послідовних ігор розглядалися вище. Перші зазвичай представляють у нормальній формі, а другі – в екстенсивної.

Під моделлю позиційноюу гри розуміється наступне: топологічне древо з виділеною вершиною називається початковою позицією гри; функція виграшу, яка ставить у відповідність кожній позиції (тобто кінцевій вершині) древа деякий вектор; розподіл множин усіх некінцевих позицій (тобто некінцевих вершин) древа на $n+1$множин $S_0, S_1, ..., S_n$, які мають назву множин черговості; ймовірний розподіл для кожної позиції з S_0 на множині безпосередніх позицій, які слідують за нею; більш дрібний розподіл множини S_i для кожного $i = \overline{1,n}$ на підмножини S_i^j (інформаційні множини), при цьому позиції з однієї і той же множини мають однакову кількість безпосередньо слідуючих за ним позицій, тобто альтернатив, і ніяка позиція не може проходити за другою позицією з той-же інформаційної множини. Така модель є перспективною для розгляду процесів захисту інформації.

Під моделлю динамічної гри розуміється модель гри n гравців, у вигляді процесу, який розвивається протягом деякого часу, в якому гравці послідовно приймають часткові рішення, переходячи від одного стану гри, до іншого.

Моделі динамічних ігор, у яких приймається рішення в дискретні моменти часу,описуються наступною схемою: задається множина станів *X*, для кожного $x \in X$, множини $S_i(x)$ елементарних стратегій гравців $i=\overline{1,n}$. Множина $S(x)=\prod_{i=1}^{n} S_i(x)$ визначається як простір елементарних станів $s(x_1)\in S(x_1)$. Початковий стан гри $x_1 \in X$ і функції $F_k(x_1, s(x_1),..., x_{k-1}, s(x_{k-1}), x_k)$, які при фіксованому x_k вимірні по решті своїх аргументів, а при фіксованих x_1 при $s(x_1),..., x_{k-1}, s(x_{k-1})$ є імовірнісними розподілами на *x*.

Партія гри $P=(x_1, x_2 s(x_2),...)$ визначається індуктивно. У початковому стані x_1 кожен гравець i обирає елементарну стратегію $s_i \in S_i(x_i)$, у наслідок чого утворюється елементарна ситуація $s(x_1)\in S(x_1)$. Стан $x_2 \in X$ обирається відповідно розподілу $F_2(x_1, s(x_1), x_2)$. Якщо визначений відрізок партії $p_k=(x_1, s(x_1),..., x_{k-1}, s(x_{k-1}), x_k)$, то аналогічно утворюється елементарна ситуація $s(x_k)\in S(x_k)$, після чого наступний стан $x_{k+1} \in X$ обирається відповідно до розподілу $F_{k+1}=(x_1, s(x_1),..., x_k, s(x_k), x_{k+1})$. На кожній партії P визначений виграш $h_i(P)$ гравця i (при $i=\overline{1,n}$). Стратегія f_i гравця i це набір функцій $\{f_i^k\}$, де функція f_i^k ($k=1,2,...$) кожному відрізку партії p_k довжини k ставить у відповідність елементарну ситуацію $s_i(x_k \in S_i(x_k))$. Динамічна гра визначена, якщо кожна ситуація індукує імовірнісну міру μ_f на множині усіх партій. У цьому випадку, виграш гравця i в ситуації f визначається як математичне очікування $h_i(P)$ по мірі μ_f: $H_i(f)=\int h_i(P)d\mu_f(P)$.

У свою чергу окремими класами моделей динамічної гри є моделі рекурсивної гри, моделі стохастичної гри, моделі ігор на виживання та моделі диференціальних ігор.

Модель рекурсивної гри – різновид динамічної гри. В рекурсивній грі, вибір стратегій гравцями на кожному кроці визначає розподіл ймовірностей підігор, які розігруються на наступному кроці, або закінчення партії. Виграші учасників залежать лише від останньої розіграної підігри. Так як ймовірність того, що партія ніколи не закінчиться відмінна від нуля, мають бути визначені виграші гравців у випадку нескінченної партії. Така модель гри суперечлива але може розглядатися в процесі захисту інформації.

Модель стохастичної гри це модель повторної гри з випадковими переходами станів, яка розігрується одним і більше гравцями. Гра розігрується протягом ряду етапів. На початку кожного етапу гра знаходиться в деякому стані. Гравці вибирають свої дії і отримують виграші, залежні від поточного стану і дій. Після цього система переходить випадковим чином в інший стан, розподіл ймовірності переходів залежить від попереднього стану і дій гравців. Ця процедура повторюється протягом скінченного або нескінченного числа кроків. Загальний виграш гравців часто визначається як дисконтна сума виграшів на кожному етапі або нижня межа середніх виграшів за скінченне число кроків.

При скінченному числі гравців, скінченних множинах дій і станів гра з скінченним числом повторень завжди має рівновагу Неша [8]. Це справедливо також для ігор з нескінченним числом повторень, якщо виграші учасників представляють собою дисконтну суму.

Н. Вайель [8] показав, що всі стохастичні ігри двох осіб з скінченними множинами станів і дій мають наближену рівновагу Неша, якщо функції виграшу представляють собою нижню межу середніх значень виграшу за скінченне число кроків. Питання про існування таких рівноваг в іграх з великою кількістю учасників залишається відкритим. В стохастичних моделях процесу захисту інформації поняття рівноваги не може існувати між загрозами и механізмами захисту інформації. Розробнику цікава тільки перевага однієї сторони (системи захисту інформації).

Моделі ігор на виживання це різновид динамічних ігор двох гравців. В таких іграх, в кожний момент часу, гравці мають відповідно ресурсами r та $R-r$ $(0 < r < R)$ і грають в матричну гру.

Виграші, які отримуються в цій грі, додаються в наступний момент часу до тих ресурсів гравців, з якими вони вступають в гру.

Гра закінчується коли вичерпуються всі ресурси одного із гравців, причому переможець отримує одиницю виграшу. Такі ігри можна розглядати як частковий випадок гри про перевірку роботи одного або двох механізмів захисту.

Моделями динамічних ігор, у яких прийняття рішень неперервне у часі є моделі диференціальних ігор. Цей напрям в теорії процесів описується диференціальними рівняннями.

Диференціальні ігри мають властивості, характерні як для теорії оптимального керування, так і для теорії ігор. Безпосередньою причиною розвитку теорії диференціальних ігор стали прикладні задачі, в тому числі, військові. Такі ігри необхідно розглядати в системи захисту інформації.

Формально, в загальній формі, диференціальна гра може бути сформульована наступним чином. C – об'єкт керування, поведінка якого описується системою диференціальних рівнянь: $\frac{dx}{dt} = f(x,u,v)$, де x – n-вимірний вектор з компонентами $x_1, ..., x_n$, а $f(x, u)$ – n-вимірний вектор функції з компонентами $f_i(x, u)$, $i = 1, ..., n$, u та v – керуючі параметри, які представляють r-вимірний та s-вимірний вектори відповідно, які можуть змінюватись на множинах U та V. Крім того, задано термінальну множину $M \subset E^n$, де E^n – n-вимірний простір.

Нехай вибрано дві будь які функції $u(x)$ та $v(x)$ так, що $u(x) \in U$, $v(x) \in V$ і рівняння: $\frac{dx}{dt} = f(x, u(x), v(x))$ має розв'язок. Тоді для кожного початкового стану визначена траєкторія $x(t)$ системи $\frac{dx}{dt} = f(x,u,v)$ і визначений функціонал: $I(y(\cdot), v(\cdot); x^0) = \int^{t_1} f_0(x(t), u(x(t)), v(x(t)))$, де t_1 – перший момент часу, коли $x(t) \in M$. Якщо такий момент відсутній, то вважається, що $I = +\infty$. Задача теорії диференціальних ігор тепер полягає в з'ясуванні питання про те, за яких умов і для яких точок x^0 можливо знайти такі функції $u^0(x)$ та $v^0(x)$, що: $I(u^0(\cdot), v(\cdot); x^0) \leq I(u^0(\cdot), v^0(\cdot); x^0) \leq I(u(\cdot), v^0(\cdot); x^0)$.

В такій постановці задачу розв'язано лише для невеликої кількості окремих випадків. Для випадку, коли множина M збігається з всім простором, а t_1 – фіксовано, доведено існування розв'язку гри в деякому узагальненому сенсі. Для загального випадку отримані результати в припущенні деякої дискримінаційної функції другого гравця, який займається керуванням v. А саме: вважається, що приймаючи своє рішення, перший гравець знає майбутнє керування другого на деякому малому відрізку часу. В цьому випадку вдається довести, що весь простір початкових положень може бути розбито на дві області так, що виходячи із першої області, перший гравець завжди може гарантувати собі завершення гри з кінцевою ціною I. В той же час, як в точках другої області він не може собі гарантувати жодного скінченного значення ціни. Побудовано достатні умови можливості завершення гри зі скінченою ціною. Ці умови можна застосувати в основному для розв'язування задач з лінійним об'єктом керування.

За результатами гри поділяють моделі на симетричні або несиметричні, з нульовою сумою, або з ненульовою сумою (рис. 6).

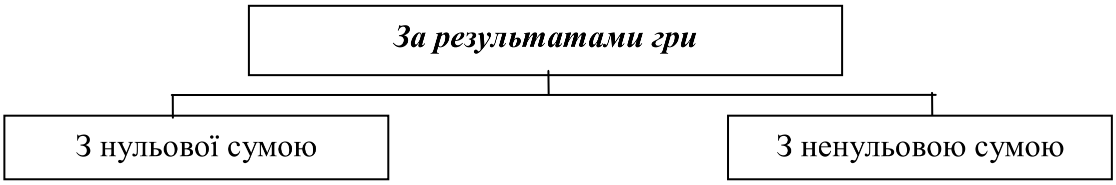

Рис. 6. Класифікація математичних моделей теорії ігор
за результатами гри класу оцінки ефективності математичних моделей
прийняття рішень при проектуванні систем захисту інформації

Якщо виграш одного гравця дорівнює програшу іншого, то маємо модель ***гри з нульовою сумою***. Такі моделі ігор характеризуються протилежними інтересами сторін, тобто ситуацією конфлікту та гравець має виграш за рахунок іншого гравця, тобто $\phi_1 = -\phi_2$. Інші моделі гри – ***з ненульовою сумою***, виникають як за умов конфліктної поведінки гравців, так і за їх узгоджених дій. Тобто усі гравців в сумі можуть отримати менше їх сумарного внеску. Наприклад, в лотереї її організатори знаходяться у постійному виграші, а учасники отримують менше сумарного внеску.

Ще одною ознакою класифікації моделей теорії ігор класу оцінки ефективності прийняття рішень є розподіл за **функціями виграшів гри** (рис.7).

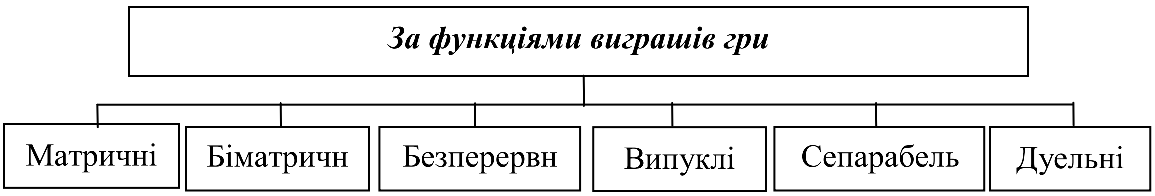

Рис. 7. Класифікація математичних моделей теорії ігор
за функціями виграшів гри класу оцінки ефективності математичних моделей
прийняття рішень при проектуванні систем захисту інформації

Матрична модель гри - це скінчена гра двох осіб, в якій виграші першого гравця задаються елементами матриці і дорівнюють програшам другого гравця. Матричні моделі ігор розв’язуються за допомогою методів лінійного програмування.

У ***біматричних*** моделях ігор виграш кожного з гравців задається окремою матрицею, і ці ігри є складнішими для розв’язування. Біматрична модель гри є кінцевою грою двох гравців з ненульовою сумою. Виграші кожного гравця задаються матрицею, у якій строка відповідає стратегії гравця 1, а стовбець – стратегії гравця 2. Однак, елемент першої матриці показує виграш гравця 1, а елемент другої матриці – виграш гравця 2. Для біматричних моделей ігор, так і як для матричних, розробляється теорія оптимальної поведінки гравців.

Якщо функція виграшів кожного гравця в залежності від стратегій є безперервною, то гра рахується ***безперервною***.

Якщо функція виграшу випукла, то модель гри – ***випукла***.

Якщо функція виграшу в грі може бути представлена у вигляді суми функцій одного аргументу, то така модель гри є ***сепарабельною*** (може бути розділеною).

Дуельна - це модель гри, що характеризується моментом вибору ходу та ймовірностями отримання виграшу в залежності від часу, що пройшов від моменту початку гри до моменту вибору. Така модель не характерна для дослідження процесів захисту інформації.

Висновок

Авторами було вперше представлено повний аналіз моделей теорії ігор у вигляді стрункої класифікації, у якій була зроблена спроба проаналізувати різні підходи в побудові математичних моделей протиборства гравців як у вигляді окремих протилежних стратегій – як частковий випадок, так і побудови системи математичних моделей прийняття рішень на застосування різних підходів моделювання роботи процесу захисту інформації. Представлені математичні моделі, як правило, повинні використовуватися в різних інтерпретаціях в залежності від поставлених цілей та задач досліджень роботи систем захисту інформації.

Література

1. Оуен. Г. Теория игр / Г. Оуен. – М.: 1971. – Мир. – 230. с.
2. Вентцель Е.С. Элементы теории игр / Е.С. Вентцель. – М.: 1961. – Физматгиз. – Вип. 32. – 72 с.
3. Петросян Л.А. Теория игр / Л.А. Петросян, Н.А. Зенкевич, Е.А. Семина. – М.: 1998. – Вища школа. – 304 с.
4. Дюбин Г.Н. Введение в прикладную теорию игр / Г.Н. Дюбин, В.Г. Суздаль. – М.: 1981. – Наука. – 336 с.
5. Воробьев Н.Н. Бесконечные антагонистические игры / под ред. Н.Н. Воробьева. – М.: 1993. – Вища школа. – 505 с.
6. Грищук Р.В. Теоретичні основи моделювання процесів нападу на інформацію методами теорії диференціальних ігор та диференціальних перетворень / Р.В. Грищук. – Монографія. – Житомир. – 2010. – 280 с.
7. Павлов І.М. Аналіз підходів моделювання процесів прийняття рішень при проектуванні систем захисту інформації / І.М. Павлов, С.В. Толюпа. “Сучасний захист інформації”. – К.: 2014. − № 2. − С.59 − 68.
8. Петросян Л. А., Теория игр / Л.А. Петросян, Н.А. Зенкевич, Е.В. Шевкопляс. – СПб: БХВ-Петербург, 2012, 432 с.

Надійшла 27.08.2014 р. Рецензент: д.т.н., проф. Барабаш О.В.