УДК 65.011.4:656.073.5

О. А. Рубан, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем та технологій Академії митної служби України
В. В. Ковальов, кандидат технічних наук, викладач кафедри основ та фундаменту Придніпровської державної академії будівництва та архітектури
П. Ю. Гринчук, курсант Академії митної служби України

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ СТРАТЕГІЧНИХ ІГОР У СИСТЕМІ ЛОГІСТИЗАЦІЇ РОБОТИ МИТНИХ ОРГАНІВ

У даній статті розглядається проблема, пов'язана з незаконним переміщенням товарів і предметів через митний кордон України. Пропонується застосування теорії стратегічних ігор для раціональної організації роботи митних органів і підвищення показників виявлення контрабанди у пунктах пропуску.

В настоящей статье рассматривается проблема, касающаяся незаконного перемещения товаров и предметов через таможенную границу Украины. Предлагается использование теории стратегических игр для рациональной организации работы таможенных органов и повышения показателей обнаружения контрабанды в пунктах пропуска.

This article discusses the problem of the ilegal movement of supplies and goods across the customs border of Ukraine. It is proposed to use the theory of strategic games for the rational organization of the customs authorities to improve the detection rate of smuggling at checkpoints.

Ключові слова. Логістизація, теорія стратегічних ігор, ймовірність, стратегія, порушення митних правил, контрабанда.

Вступ. Основні завдання митних органів такі: захист економічних інтересів України та забезпечення додержання законодавства з питань митної справи, стягнення податків і зборів, боротьба з контрабандою та порушенням митних правил. В умовах світової кризи, нестабільності й високих податків значно зменшуються обсяги експорту та імпорту. Велику роль відіграє нетарифне регулювання у вигляді системи квотування, ліцензування, обов'яз-
кової сертифікації певних видів товарів тощо. Державна митна служба України – одне з основних джерел надходження коштів до державного бюджету, виявлення фізичних та юридичних осіб, що намагаються уникнути сплати податків при перетинанні митного кордону України, дуже актуальне, оскільки ухилення від сплати податків – це втрата державних коштів. Працівники митної служби не можуть виявити усі факти порушення митних правил. Зазвичай виявлення незаконно переміщуваних товарів, валюти, культурних цінностей не має системного характеру. У пригоді може стати метод прогнозування ризиків [1, 2], а також теорія стратегічних ігор [3–8].

Постановка завдання. Метою статті є розробка методики застосування теорії стратегічних ігор для підвищення показників роботи митних органів з виявлення факту незаконного переміщення товарів і предметів. Суть методу полягає в розгляді усіх можливих варіантів розвитку подій, розраховуються ймовірності всіх можливих результатів. Наслідок таких розрахунків – оптимальна стратегія, застосовуючи яку, можна отримати максимальний ефект. На нашу думку, найдоцільніше застосовувати цей метод у пунктах пропуску через митний кордон України, в яких спостерігається напружений потік фізичних та юридичних осіб.

Короткий виклад теорії стратегічних ігор для двох осіб

Таблиця, в яку зведено правила гри, називається матрицею гри; вона містить виграші гравця А, котрий називається максимізуючим гравцем (або програші гравця Б, котрого називають мінімізуючим). Це гра з нульовою сумою, якщо виграші одного рівні програшам іншого (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця гри для гравців А та Б

		Гравець Б		
		I	II	III
Гравець А	1	2	–1	1
	2	–2	1	–1
	3	–2	1	–2
	4	2	2	3

У кожній партії гри гравець А і гравець Б повинні одночасно обрати чисту стратегію, тобто А – рядок і Б – стовпчик, тоді маємо:

– якщо А обере рядок 2, а Б обере стовпець II, то А отримає одну одиницю;

– якщо А обере рядок 3, а Б обере стовпець III, то А одержить 2 одиниці або поверне Б 2 одиниці і т. д.

Якщо б ішлося тільки про одну партію цієї гри, то відповідно до елементарного принципу фон Неймана роздуми гравців А і Б могли б бути такими.

Гравець А. Мінімальний виграш для кожної чистої стратегії 1, 2, 3, 4 становитиме відповідно до –1; –2; –2; 2. Обираємо максимум серед мінімальних виграшів – чисту стратегію 1, яка незалежно від стратегії супротивника гарантує принаймні *максимін*, що дорівнює –1 (з огляду на знак можна сказати, що вона не дасть втратити більше 1, надаючи водночас можливість виграти).

Гравець Б. Максимальний програш для кожної з чистих стратегій I, II і III буде відповідно 2; 1; 3. Оберемо мінімум серед своїх максимальних поразок і, таким чином, приймаємо чисту стратегію II, що незалежно від чистої стратегії мого супротивника гарантує мені принаймні мінімакс, що дорівнює 1. Інакше кажучи, стратегія

2 дає можливість виграти, не допускаючи програшу, більшого ніж 1.

Дійсно, у грі, що складається з однієї партії, гравець А втратив би 1, а гравець Б виграв би 1 у межах ризику, який вони собі зафіксували. Такою була б поведінка розумних та обережних гравців.

Припустимо, що гравці були б тільки розумними. Гравець А міг би сказати собі: Б вибере стовпчик II; тоді я оберу стратегію II або III, обидві гарантують мені виграш 1. Але Б міг би тоді подумати: А буде, напевно, грати стратегію II або III; тоді я виберу стратегію I, щоб забезпечити собі виграш 2. І так далі.

Очевидно, що вибір стратегій, котрі відрізняються від тих, які визначаються принципом фон Неймана, тільки збільшить ризик кожного з гравців.

Уявімо собі тепер, що два гравці вирішили грати матч, тобто серію послідовних партій. У деяких випадках, наприклад у випадку матриці, зображеної в табл. 2, пошуки максиміну приводять гравця А до вибору чистої стратегії II, звідки мінімальний гарантований виграш дорівнює 1; пошуки мінімаксу приводять гравця Б до вибору чистої стратегії I, звідки мінімальний гарантований програш дорівнює 1. Тут максимін і мінімакс збігаються, адже вони означають один і той же елемент матриці, який називається сідловою точкою і є найменшим елементом у своєму рядку і найбільшим елементом у своєму стовпці. Тоді за будь-якої кількості партій оптимальні стратегії залишаться тими самими: А вибиратиме рядок 2, а Б – стовпець I; у кожній партії А вигравatime одиницю, а Б – втрачатиме одиницю. Тут не йдеться про справедливу гру, бо в кожній партії значення гри $g = 1$ відповідає виграшеві для А і програшеві для Б.

Таблиця 2

Значення виграшів для А, що відповідають програшам для Б

		Гравець Б	
		I	II
Гравець А	1	–1	1
	2	1	2
	3	0	–1

Повертаючись до табл. 1, ми констатуємо, що сідлової точки в ній не існує, і міркування гравців у матчі могли б бути такими.

Гравець А. Якщо мій противник вибирає стовпці I, II, III з частотами y_1, y_2, y_3 і якщо я сам вибираю рядки 1, 2, 3, 4 з частотами x_1, x_2, x_3 та x_4 , то математичне очікування мого виграшу буде:

$$(2x_1 - 2x_2 - 2x_3 + 2x_4)y_1 + (-x_1 + x_2 + x_3 - 2x_4)y_2 + (x_1 - x_2 - 2x_3 + 3x_4)y_3. \qquad (1)$$

Гравець бажає збільшити цю величину.

Гравець Б. На противагу противнику гравець Б хоче мінімізувати вираз, який відображає математичне очікування програшу:

$$(2y_1 - y_2 + y_3)x_1 + (-2_1 + y_2 - y_3)x_2 + (-2y_1 + y_2 - 2y_3)x_3 + (-2y_1 - 2y_2 + 3y_3)x_4.$$

Припустимо, що існує єдине значення гри g (а це дійсно так, як ми побачимо з подвійності в лінійному програмуванні). Тоді ясно, що, оскільки математичне очікування для кожного з гравців має бути оптимізовано незалежно від прийнятої противником стратегії (зокрема, якщо останній обрав яку-небудь чисту стратегію), ми прийдемо до двох систем нерівностей і рівнянь:

Серія 1 (гравець А) Серія 2 (гравець Б)

$$\mathrm{I}\begin{cases}(a)\ 2x_1 - 2x_2 - 2x_3 + 2x_4 \ge g;\\ (b)\ -x_1 + x_2 + x_3 - 2x_4 \ge g;\\ (c)\ x_1 - x_2 - 2x_3 + 3x_4 \ge g;\\ (d)\ x_1,\ x_2,\ x_3,\ x_4 \ge 0;\\ (e)\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1;\end{cases} \qquad \mathrm{II}\begin{cases}2y_1 - y_2 + y_3 \le g; & (a')\\ -2y_1 + y_2 - y_3 \le g; & (b')\\ -2y_1 + y_2 - 2y_3 \le g; & (c')\\ 2y_1 - 2y_2 + 3y_3 \le g; & (d')\\ y_1,\ y_2,\ y_3 \ge 0; & (e')\\ y_1 + y_2 + y_3 = 1; & (f')\end{cases} \qquad (2)$$

Ми приходимо до задач лінійного програмування – прямої ліворуч і двоїстої праворуч (або навпаки). На щастя, уважне дослідження дозволить нам легко розв’язати їх.

Дійсно, перш за все додаючи *(a')* та *(b')*, ми бачимо, що значення гри не може бути менше нуля. Тоді, додаючи *(a)* та подвійне *(b)*, отримуємо

$$\begin{array}{r} 2x_1 - 2x_2 - 2x_3 + 1x_4 \ge 0,\\ \underline{-2x_1 + 2x_2 + 2x_3 - 4x_4 \ge 0}\\ -2x_4 \ge 0, \end{array} \qquad (3)$$

і, оскільки $x_4 \ge 0$, необхідно взяти $x_4 = 0$. Отже, нерівності *(b)* і *(c)* набирають вигляду

$$-x_1 + x_2 + x_3 \ge 0,$$
$$x_1 - x_2 - 2x_3 \ge 0.$$

Після додавання отримуємо $-x_3 \geq 0$, що разом з нерівністю $x_3 \geq 0$ дає $x_3 = 0$. Остаточно маємо

$$-x_1 + x_2 \geq 0,$$
$$x_1 - x_2 \geq 0,$$

звідки $x_1 = x_2 = \frac{1}{2}$ та $g = 0$.

Тоді змішаною оптимальною стратегією першого гравця буде

$$x_1 = \frac{1}{2}, \quad x_2 = \frac{1}{2}, \quad x_3 = 0, \quad x_4 = 0$$

і при цьому $g = 0$. Система II зводиться тоді до системи

$$2y_1 - y_2 + y_3 = 0;$$
$$2y_1 - 2y_2 + 3y_3 \leq g;$$
$$y_1, y_2, y_3 \leq g;$$
$$y_1 + y_2 + y_3 = 1;$$

розв'язок якої такий:

$$y_1 = \frac{1}{7} + 2\lambda, \quad y_2 = \frac{4}{7} + \lambda, \quad y_3 = \frac{2}{7} - 3\lambda, \quad \text{де} \quad 0 \leq \lambda \leq \frac{2}{21}.$$

Для двох крайніх значень λ маємо відповідно

$$(\lambda = 0) \; y_1^1 = \frac{1}{7}, \quad y_2^1 = \frac{4}{7}, \quad y_3^1 = \frac{2}{7}$$
$$\text{і} \quad (\lambda = \frac{2}{21}) \; y_1^2 = \frac{1}{3}, \quad y_2^2 = \frac{2}{3}, \quad y_3^2 = \frac{2}{7}.$$

Це ще один випадок, коли вибір здається легшим для гравця Б, але це тільки видимість; математичне очікування його виграшу має вигляд

$$E(Б) = (-\frac{2}{7} + 3\lambda)x_3 - 7\lambda x_4.$$

Воно повертається в нуль, як тільки x_3 та x_4 не будуть використовуватися гравцем А; таким чином:

$$E(A) = E(A) = g = 0.$$

Для фактичної реалізації змішаних оптимальних стратегій кожний гравець повинен використовувати таблицю випадкових чисел, що дозволить йому враховувати обчислені частоти, залишаючи свого супротивника в невідомості щодо послідовності своїх ходів, або ж він мусить покластися на рулетку. (Наприклад, для гравця А $x_1 = x_2 - \frac{1}{2}$. Таким чином, він міг би використовувати колесо рулетки, що має 100 номерів від 00 до 99. Він обиратиме стратегію 1 щоразу, коли йому випаде номер між 00 та 49, і стратегію 2 для номерів з 50 до 99 (включаючи межі).

Зауваження 1. Система II зводиться до двох еквівалентних рівнянь *(a')* та *(b')* та двох строгих нерівностей *(c')* і *(d')*; це відповідає сформульованому вище правилу, згідно з яким $x_3 = x_4 = 0$.

Система I скорочується до трьох рівнянь, і ми бачимо, що y_1, y_2, y_3 відрізняються від нуля.

Зауваження 2. Існування змішаної оптимальної стратегії – це зміст теореми фон Ней-мана. Тут ми знаходимо поняття рівноваги (єдине значення гри), стійкості і безпеки (неможливість для кожного з гравців відійти від своїх оптимальних стратегій без подальшого ризику).

Тепер спробуємо сформулювати і розв'язати задачу митного спрямування.

Приклад застосування. Розглянемо задачу ймовірностей виявлення порушника митних правил у пункті пропуску в аеропорту. Особи, що проходять митний контроль, можуть користуватись червоним і зеленим коридорами. Червоним коридором користуються в разі наявності товарів або валюти, яку необхідно задекларувати. Зеленим коридором користуються особи, яким не потрібно нічого декларувати, але все ж таки й тут митники проводять вибірковий контроль громадян, щоб виявити факт порушення митних правил. Припустимо, що серед пасажирів, зареєстрованих на рейс Х, є порушник митних правил, який намагається вивезти предмет, заборонений до вивезення з митної території України. Рейс обслуговують 3 службовці. Один митник має проводити огляд у червоному коридорі (умовно позначимо пункт А), другий – у зеленому коридорі (пункт Б), третій може перебувати у спеціально обладнаному пункті відеоспостереження (В) або допомагати колезі в пункті А чи Б. Контрабандист може бути в пункті А або Б. Далі наведемо таблицю імовірностей виявлення контрабандиста за різних варіацій перебування митників та порушника (табл. 3).

Таблиця 3

Ймовірності виявлення ПМП за різних стратегій митників та порушників митних правил

Митники		Ймовірності виявлення порушень в		
Стратегія	Розміщення	А	Б	
S_1	АБВ	0,6	0,3	x_1
S_2	ААБ	0,72	0,25	x_2
S_3	АВВ	0,52	0,34	x_3

Формула для розрахунків матиме такий вигляд:

$$g(S) = t_{i1} \times P_{i1} + t_{i2} \times P_{i2} + \ldots + t_{ij} \times P_{ij}, \qquad (4)$$

де i – стратегія митників;
j – варіанти місцезнаходження порушників митних правил;
t – час перебування митників у відповідних пунктах впродовж робочого часу у відсотках:

$$t_{i1} + t_{i2} + t_{i3} = 100\ \%;$$

P_{ij} – ймовірність виявлення порушника митних правил, що міститься в пункті j, митниками, що обрали стратегію i.

Результати дослідження. Припустимо, що митники обрали таку стратегію: 40 % робочого часу перебувати в пунктах АБВ, 25 – у пунктах ААБ і 35 % – у пунктах АББ. За допомогою цих даних можна легко розрахувати ймовірності виявлення злочинця.

Якщо він буде користуватись червоним коридором, відповідно до (4) матимемо:

$$0,6 \times 0,4 + 0,72 \times 0,25 + 0,34 \times 0,35 = 0,602\ (60,2\ \%).$$

Якщо ж він скористається зеленим, то відповідно до (4) отримаємо

$$0,3 \times 0,4 + 0,25 \times 0,25 + 0,34 \times 0,35 = 0,3015\ (30,15\ \%).$$

Тепер маємо для митників нескінченну кількість стратегій, якщо називати стратегією набір частот x_1, x_2, x_3, тобто набір з невід'ємних чисел, що в сумі дають 1. Звичайно, треба враховувати, що контрабандист може обрати свою стратегію, тобто він може обрати коридор, яким буде користуватись, – y_1, y_2.

Митники повинні визначити таку стратегію, яка забезпечить виявлення злочинця з максимальною ймовірністю g незалежно від того, яку стратегію обере останній. Аналогічно може діяти злочинець, щоб імовірність його затримання не перевищувала значення g. Як же отримати частоти, що приведуть до оптимальної стратегії? Ці частоти повинні відповідати певним співвідношенням (табл. 4).

Таблиця 4

Співвідношення частот виявлення порушень для митників і порушників митних правил

Співвідношення для митників	Співвідношення для злочинця
$x_1 + x_2 + x_3 = 1$ (сума частот дорівнює 1) $0,6 \times x_1 + 0,72 \times x_2 + 0,52 \times x_3 \geq g$ (гарантується принаймні g, якщо злодій перебуває в А) $0,3 \times x_1 + 0,25 \times x_2 + 0,34 \times x_3 \geq g$ (гарантується принаймні g, якщо злодій перебуває в Б)	$y_1 + y_2 = 1$ $0,6 \times y_1 + 0,3 \times y_2 \leq g$ $0,72 \times y_1 + 0,25 \times y_2 \leq g$ $0,52 \times y_1 + 0,34 \times y_2 \leq g$

У співвідношеннях для митників багато змінних, і важко розв'язати ці нерівності, але можна розв'язати нерівності для контрабандиста. Для зручності скористаємося графічним методом. Підставимо $y_2 = 1 - y_1$ у всі нерівності стратегії злодія, розглядаючи їх як рівняння. Тоді отримаємо

$$\left.\begin{array}{l} g = 0,3 + 0,3y_1 \text{ – пряма (1)} \\ g = 0,25 + 0,47y_1 \text{ – пряма (2)} \qquad 0 \leq g \leq 1. \\ g = 0,34 + 0,18y_1 \text{ – пряма (1)} \end{array}\right\}$$

Накреслимо ці прямі в системі координат gOy_1 (рис. 1).

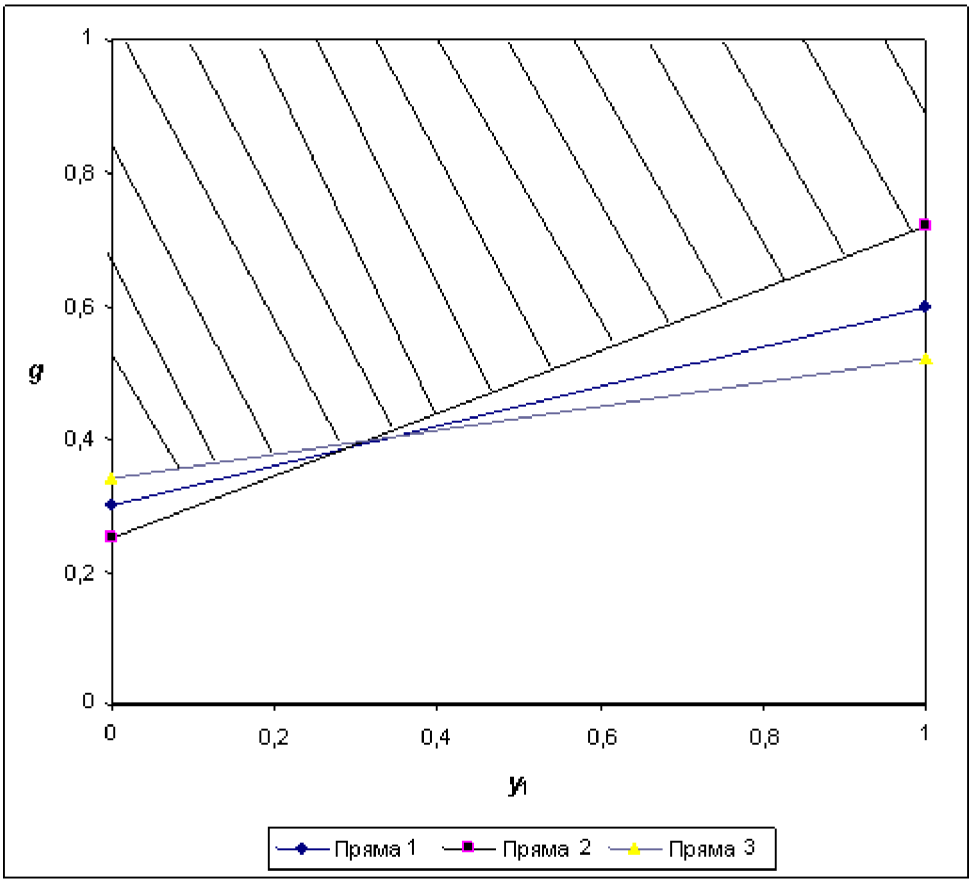

Рис. 1. Визначення ймовірності *g*

Кожна точка заштрихованої області визначає можливий розв'язок, бо вона задовольняє всі розглянуті нерівності для злодіїв. З рисунка зрозуміло, що найменша величина міститься на перетині прямих (2) і (3). Маємо

$$0{,}25 + 0{,}47y_1 = 0{,}34 + 0{,}18y_1;$$
$$0{,}29y_1 = 0{,}09;$$
$$y_1 = 0{,}31;$$
$$y_2 = 0{,}69;$$
$$\text{звідки } g = 0{,}396.$$

Таким чином, обираючи стратегію $y_1 = 0{,}31$, $y_2 = 0{,}69$, злодії мають мінімальну ймовірність бути затриманими, вона дорівнює 0,396.

Для визначення оптимальної стратегії митників потрібно прийняти без доказів два основних факти теорії стратегічних ігор для двох осіб:

1) існує єдине число *g*, яке одночасно є верхньою межею виграшу для контрабандиста і нижньою для митників;

2) кожній нерівності для однієї сторони, яка в оптимальному розв'язку є строгою нерівністю, відповідає за супротивника змінна, що дорівнює нулю.

У нашому випадку оптимальний розв'язок відповідає перетину прямих (2) та (3); нерівності (2) і (3) для цього оптимального розв'язку перетворюються на рівності, що неможливо для першої нерівності. Звідси отримаємо, що $x_1 = 0$.

Складемо систему

$$\begin{cases} 0{,}72 \times x_2 + 0{,}52 \times x_3 = 0{,}396 \\ 0{,}25 \times x_2 + 0{,}34 \times x_3 = 0{,}396. \end{cases}$$

Звідки отримуємо $x_3 = 0{,}38$, $x_4 = 0{,}62$.

Можна зробити висновок, що оптимальна стратегія така. 38 % свого часу 2 митники повинні проводити огляд пасажирів, що користуються червоним коридором, а третій – тих, що користуються зеленим, та 62 % один митник – червоним, а двоє – зеленим, це забезпечить митникам імовірність виявлення злодія, що дорівнює 0,396 (майже 40 %) незалежно від стратегії, котру оберуть контрабандисти. Злодії, обираючи стратегію пронести контрабанду через кордон у пункті А, приблизно три рази із десяти, а в пункті Б – сім разів з десяти, будуть упевнені, що ймовірність їх затримання не перевищить 0,396 в будь-якому разі.

Висновки

1. Теорія стратегічних ігор може бути застосована для раціоналізації роботи митних органів.

2. Отримані значення ймовірностей дозволяють впливати на ефективність роботи митних органів у боротьбі з контрабандою.

3. Вихідні дані (табл. 1) для розрахунків при застосуванні теорії стратегічних ігор повинні формуватися на основі звітних статистичних даних за певний період та результатів натурного експерименту.

4. Застосування теорії стратегічних ігор у митній практиці дозволить систематизувати роботу з виявлення порушень митних правил.

Література

1. Буланова Н. Про методику прогнозування ризиків у митній справі на базі експертних оцінок [Текст] / Н. Буланова, М. Мормуль, Н. Франко // Вісник АМСУ. – 2006. – № 4. – С. 70–75.

2. Стандартизована оцінка ризиків. Модель профілів/індикаторів ризиків [Текст]. – Всесвітня митна організація. 4-та сесія Оперативного відділу. – Брюссель, 15 вересня 2003.

3. Кофман А. Займемся исследованием операций [Текст] / А. Кофман, Р. Фор. – М. : Мир, 1966. – 280 с.

4. Мак-Кинси Дж. Введение в теорию игр [Текст] / Дж. Мак-Кинси. – М. : Физматгиз, 1960. – 420 с.

5. Берж К. Общая теория игр нескольких лиц [Текст] / К. Берж. – М. : Физматгиз, 1960. – 128 с.

6. Воробьев Н. Н. Математическая теория игр [Текст] / Н. Н. Воробьев. – Л. : Знание, 1963. – 273 с.

7. Вильямс Дж. Совершенный стратег, или Букварь по теории стратегических игр [Текст] / Дж. Вильямс. – М. : Сов. радио, 1960. – 272 с.

8. Вентцель Е. С. Элементы теории игр [Текст] / Е. С. Вентцель. – М. : Физматгиз, 1960. – 68 с.