МИНОБРНАУКИ РОССИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)

Кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ

ОТЧЕТ

по практической работе №1

по дисциплине «Теория принятия решений»

Тема: Принятие решений в матричных играх

Вариант 8

Студент гр. 8383	___________________	Киреев К.А.
Преподаватель	___________________	Попова Е.В.

Санкт-Петербург

2022

Цель работы

Изучение различных инструментальных средств для решения задач поддержки принятия решения, а также овладение навыками принятия решения на основе матричных игр.

Основные теоретические положения

Рассмотрим простейшую математическую модель конечной конфликтной ситуации, в которой имеется два участника и выигрыш одного равен проигрышу другого. Такая модель называется антагонистической игрой двух лиц с нулевой суммой. Игра состоит из двух ходов: игрок А выбирает одну из возможных $a_i,\ i = 1..m$ стратегий, а игрок Б выбирает одну из возможных стратегий $b_j,\ j = 1..n$. Каждый выбор производится при полном незнании выбора соперника. В результате выигрыш игроков составит соответственно a_{ij} и $-a_{ij}$. Цель игрока А – максимизировать величину a_{ij}, а игрока Б – минимизировать эту величину. Критерием принятия решения является функция, выражающая предпочтение лица, принимающего решение, и определяющая правило, по которому выбирается приемлемый или оптимальный вариант решения.

Матрица, составленная из величин $a_{ij},\ i = 1..m,\ j = 1..n$.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix}. \qquad (1)$$

Матрица (1) называется платежной матрицей, или матрицей игры. Каждый элемент платежной матрицы $a_{ij},\ i = 1..m,\ j = 1..n$, равен выигрышу А (проигрышу Б), если он выбрал стратегию $A_i,\ i = 1..m$, а игрок Б выбирал стратегию $B_j,\ j = 1..n$.

Задача каждого из игроков – найти наилучшую стратегию игры, при этом предполагается, что противники одинаково разумны и каждый из них делает все, чтобы получить наибольший доход.

Найдем наилучшую стратегию первого игрока. Если игрок А выбрал стратегию $A_i,\ i = 1..m$, то в худшем случае (например, если его ход известен Б) он получит выигрыш $\alpha_i = \min_j a_{ij}$. Предвидя такую возможность, игрок А должен выбрать такую стратегию, чтобы максимизировать свой минимальный выигрыш.

$$\alpha = \max_i \alpha_i = \max_i \{\min_j \alpha_{ij}\}. \qquad (2)$$

Представленная в (2) величина α – гарантированный выигрыш игрока А называется нижней ценой игры. Стратегия A_i, обеспечивающая получение выигрыша α, называется максиминной. Если первый игрок будет придерживаться своей максиминной стратегии, то у него есть гарантия, что он в любом случае выиграет не меньше α. Аналогично определяется наилучшая стратегия второго игрока. Игрок Б при выборе стратегии B_j, $j = 1..n$, в худшем случае получит проигрыш $\beta_j = \max_i a_{ij}$. Он выбирает стратегию B_j при которой его проигрыш будет минимальным и составит

$$\beta = \min_j \beta_j = \min_j \{\max_i \alpha_{ij}\}. \qquad (3)$$

Представленная в (3) величина β – гарантированный проигрыш игрока Б называется верхней ценой игры. Стратегия β_j, обеспечивающая получение проигрыша β, называется минимаксной. Если второй игрок будет придерживаться своей минимаксной стратегии, то у него есть гарантия, что он в любом случае проиграет не больше β. Фактический выигрыш игрока А (проигрыш игрока Б) при разумных действиях партнеров ограничен верхней и нижней ценой игры. Для матричной игры справедливо неравенство $\alpha \leq \beta$. Если $\alpha = \beta = \nu$, т.е.

$$\max_i \left\{\min_j \alpha_{ij}\right\} = \min_j \max_i \alpha_{ij} = \nu, \qquad (4)$$

то выигрыш игрока А (проигрыш игрока Б) определяется числом ν. Оно называется ценой игры.

В соответствии с (4), если $\alpha = \beta = \nu$, то такая игра называется игрой с седловой точкой. Элемент матрицы α_{ij}, соответствующий паре оптимальных стратегий (A_i, B_j), называется седловой точкой матрицы. Этот элемент является ценой игры.

Седловой точке соответствуют оптимальные стратегии игроков. Их совокупность – решение игры, которое обладает свойством: если один из игроков придерживается оптимальной стратегии, то второму отклонение от своей оптимальной стратегии не может быть выгодным. Если игра имеет седловую точку, то говорят, что она решается в чистых стратегиях.

Если платежная матрица не имеет седловой точки, т.е. $\alpha < \beta$ и $\alpha \leq \nu \leq \beta$ то поиск решения игры приводит к применению сложной стратегии, состоящей в случайном применении двух и более стратегий с определенными частотами.

Сложная стратегия, состоящая в случайном применении всех стратегий с определенными частотами, называется смешанной.

Постановка задачи

Используя инструментальные средства компьютерной алгебры решить матричные задачи.

Выполнение работы

- С помощью инструментального средства определить границы выигрыша и наличие седловой точки для матрицы C_1. Матрица C_1 представлена в (5).

$$C_1 = \begin{pmatrix} 6 & 2 & 8 & 7 \\ 9 & 4 & 8 & 5 \\ 5 & 3 & 7 & 4 \end{pmatrix} \tag{5}$$

Результат выполнения программы, представленной в приложении А, показан на рис. 1.

```
'Нижняя цена игры равна 4'

'Верхняя цена игры равна 4'

'Седловая точка существует'

'Координаты седловой точки равны (2, 2)'
```

Рисунок 1 – Результат выполнения программы для матрицы C_1

- Графически и аналитически решить матричную игру 2×2 для матрицы C_2. Матрица C_2 представлена в (6).

$$C_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} \qquad (6)$$

Решим данную задачу аналитически.

Надо проверить, есть ли седловая точка для исходной платежной матрицы. В случае если платежная матрица имеет седловую точку, необходимо выписать решение игры в чистых стратегиях.

Найдем нижнюю (7) и верхнюю (8) цену игры.

$$\alpha = \max_i\{\min_j \alpha_{ij}\} = \max\{(1,1)\} = 1 \qquad (7)$$

$$\beta = \min_j\{\max_i \alpha_{ij}\} = \min\{(2,2)\} = 2 \qquad (8)$$

Получаем, что $\alpha \neq \beta$, а значит нет седловой точки и решение в чистых стратегиях не существует.

Найдем цену игры ν. Известно, что $1 \leq \nu \leq 2$.

В таком случае игрок А должен выбрать свои смешанные стратегии так, чтобы получить максимальный средний выигрыш. Аналогично, игрок Б должен выбрать свои смешанные стратегии так, чтобы минимизировать средний выигрыш игрока А.

Для этого запишем две системы (9) и (10) уравнений и решим их.

Для игрока А:

$$\begin{cases} 1p_1 + 2p_2 = \nu \\ 2p_1 + 1p_2 = \nu \\ p_1 + p_2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \nu = \dfrac{3}{2} \\ p_1 = \dfrac{1}{2} \\ p_2 = \dfrac{1}{2} \end{cases} \qquad (9)$$

Для игрока Б:

$$\begin{cases} 1q_1 + 2q_2 = \nu \\ 2q_1 + 1q_2 = \nu \\ q_1 + q_2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \nu = \dfrac{3}{2} \\ q_1 = \dfrac{1}{2} \\ q_2 = \dfrac{1}{2} \end{cases} \qquad (10)$$

Оптимальная стратегия игрока А: $P = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$.

Оптимальная стратегия игрока Б: $Q = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$.

Цена игры: $\nu = \frac{3}{2}$

Решим данную задачу графически. Результаты представлены на рис. 2 и 3.

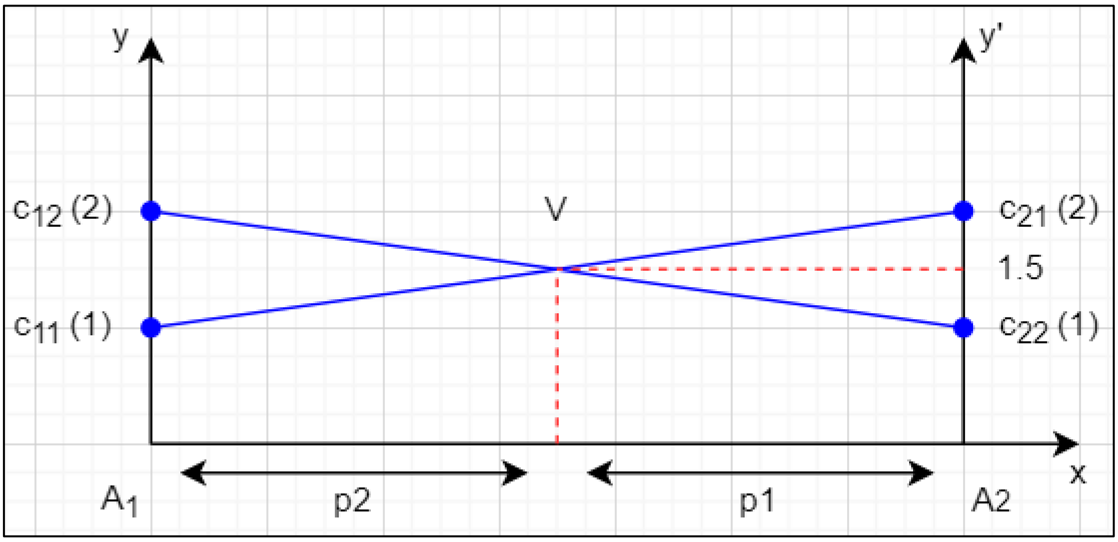

Рисунок 2 – Гарантированный выигрыш первого игрока в матрице платежей C_2

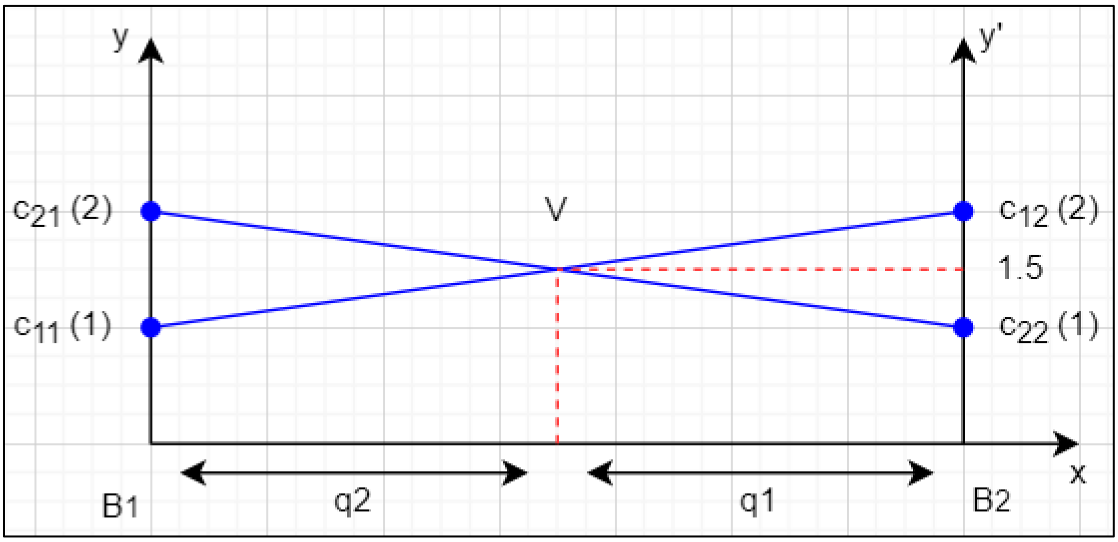

Рисунок 3 – Гарантированный проигрыш второго игрока в матрице платежей C_2

По рис. 2 и 3 можно определить, что стратегии игроков А и Б равны $P = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right), Q = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$, цена игры – $\nu = 1.5$, $\alpha = 1, \beta = 2$. Так как $\alpha \neq \beta$, можем сделать вывод о том, что седловой точки не существует.

- Графически и аналитически решить матричную игру 2×N для матрицы C_3. Матрица C_3 представлена в (11).

$$C_3 = \begin{pmatrix} 8 & 7 & 4 & 4 & 7 \\ 2 & 4 & 6 & 8 & 10 \end{pmatrix} \quad (11)$$

Решим данную задачу графически. Результат представлен на рис. 5.

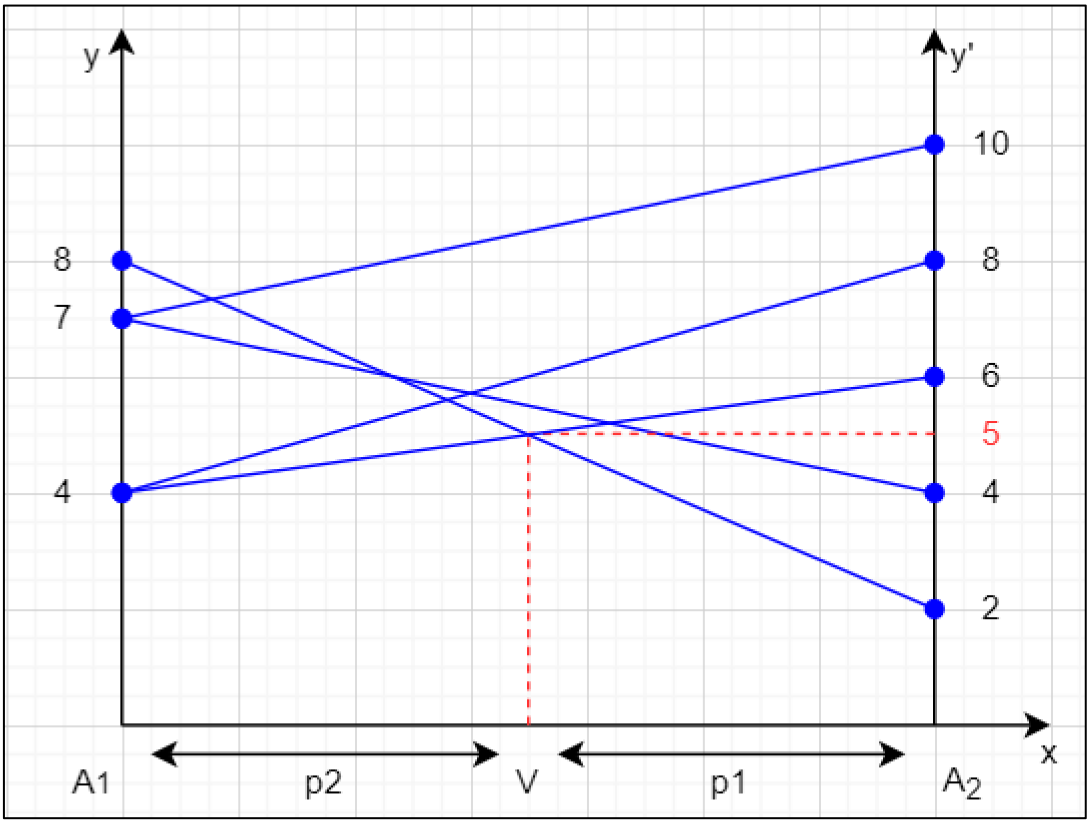

Рисунок 5 – Гарантированный выигрыш первого игрока при различном выборе смешанной стратегии

По рис. 5 можно определить цена игры $\nu = 5$, $\alpha = 4$, $\beta = 6$. Так как $\alpha \neq \beta$, можем сделать вывод о том, что седловая точка отсутствует. Первому игроку заведомо невыгоды стратегии 4 и 5.

Решим данную задачу аналитически.

Для аналитического решения выберем прямые, на пересечении которых находится седловая точка и построим из них матрицу 2 × 2:

$$C_4 = \begin{pmatrix} 8 & 4 \\ 2 & 6 \end{pmatrix}$$

Надо проверить, есть ли седловая точка для исходной платежной матрицы. В случае если платежная матрица имеет седловую точку, необходимо выписать решение игры в чистых стратегиях.

Найдем нижнюю (12) и верхнюю (13) цену игры.

$$\alpha = \max_i\{\min_j \alpha_{ij}\} = \max\{(4,2)\} = 4 \qquad (12)$$

$$\beta = \min_j\{\max_i \alpha_{ij}\} = \min\{(8,6)\} = 6 \qquad (13)$$

Получаем, что $\alpha \neq \beta$, а значит нет седловой точки и решение в чистых стратегиях не существует.

Найдем цену игры ν. Известно, что $4 \leq \nu \leq 6$.

Запишем две системы (14) и (15) уравнений и решим их.

Для игрока А:

$$\begin{cases} 8p_1 + 2p_2 = \nu \\ 4p_1 + 6p_2 = \nu \\ p_1 + p_2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \nu = \dfrac{10}{2} \\ p_1 = \dfrac{1}{2} \\ p_2 = \dfrac{1}{2} \end{cases} \qquad (14)$$

Для игрока Б:

$$\begin{cases} 8q_1 + 4q_2 = \nu \\ 2q_1 + 6q_2 = \nu \\ q_1 + q_2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \nu = \dfrac{20}{4} \\ q_1 = \dfrac{1}{4} \\ q_2 = \dfrac{3}{4} \end{cases} \qquad (15)$$

Оптимальная стратегия игрока А: $P = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$.

Оптимальная стратегия игрока Б: $Q = \left(\frac{1}{4}, \frac{3}{4}\right)$.

Цена игры: $\nu = \frac{10}{2} = 5$

- Графически и аналитически решить матричную игру M×2 для матрицы C_4. Матрица C_4 представлена в (16).

$$C_4 = \begin{pmatrix} 2 & 6 \\ 3 & 7 \\ 4 & 2 \\ 6 & 5 \\ 8 & 3 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Решим данную задачу графически. Результат представлен на рис. 9.

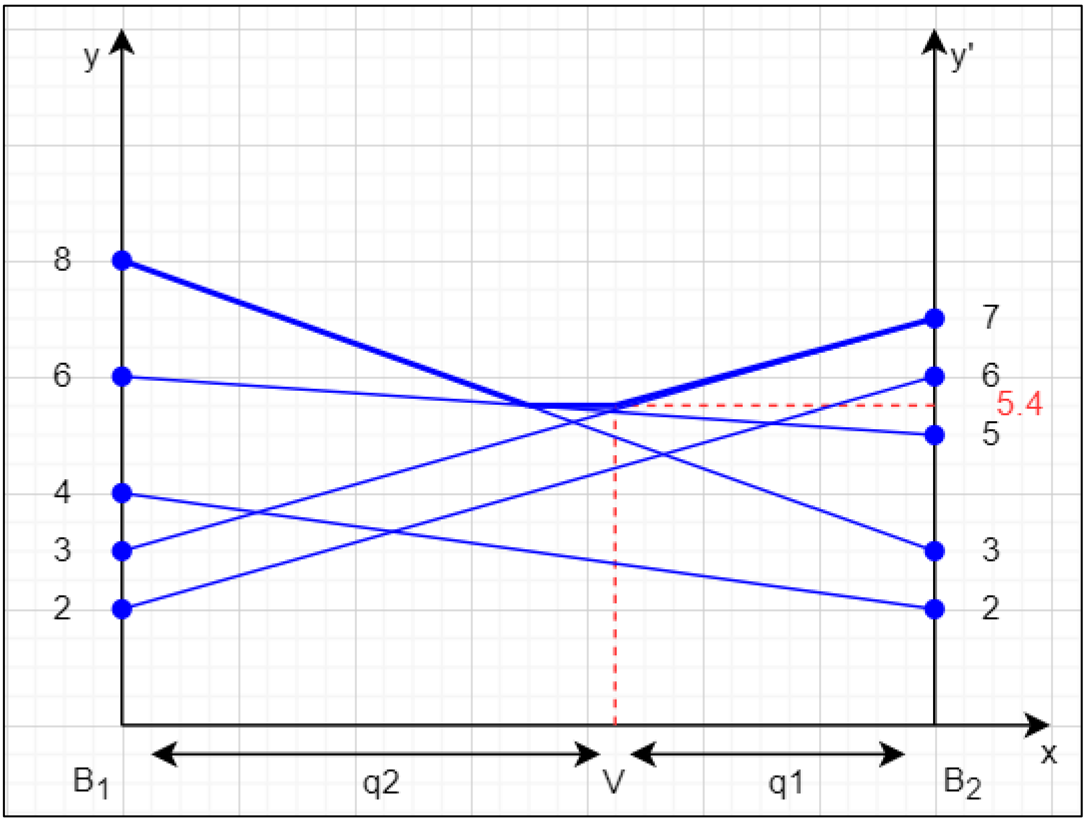

Рисунок 6 – Гарантированный проигрыш второго игрока при различном выборе смешанной стратегии

Исходя из рис. 6 можно определить, что смешанная стратегия игрока Б приблизительно равна $Q \approx \left(\frac{11}{28}, \frac{17}{28}\right)$, цена игры – $\nu = 5.4, \alpha = 5, \beta = 7.$ Так как $\alpha \neq \beta$, можем сделать вывод о том, что седловой точки не существует. Второму игроку заведомо невыгодны стратегии 1 и 3.

Решим данную задачу аналитически.

Для аналитического решения выберем прямые, на пересечении которых находится седловая точка и построим из них матрицу 2 × 2:

$$C_4 = \begin{pmatrix} 3 & 7 \\ 6 & 5 \end{pmatrix}$$

Требуется проверить, есть ли седловая точка для исходной платежной матрицы. В случае если платежная матрица имеет седловую точку, необходимо выписать решение игры в чистых стратегиях.

Найдем нижнюю (17) и верхнюю (18) цену игры.

$$\alpha = \max_i\{\min_j \alpha_{ij}\} = \max\{(3,5)\} = 5 \tag{17}$$

$$\beta = \min_j\{\max_i \alpha_{ij}\} = \min\{(6,7)\} = 6 \tag{18}$$

Получаем, что $\alpha \neq \beta$, а значит нет седловой точки и решение в чистых стратегиях не существует.

Найдем цену игры ν. Известно, что $5 \leq \nu \leq 6$.

Запишем две системы (19) и (21) уравнений.

Для игрока А:

$$\begin{cases} 3p_1 + 6p_2 = \nu \\ 7p_1 + 5p_2 = \nu \\ p_1 + p_2 = 1 \end{cases} \tag{19}$$

$$\begin{cases} \nu = \dfrac{27}{5} \\ p_1 = \dfrac{1}{5} \\ p_2 = \dfrac{4}{5} \end{cases} \tag{20}$$

Для игрока Б:

$$\begin{cases} 3q_1 + 7q_2 = \nu \\ 6q_1 + 5q_2 = \nu \\ q_1 + q_2 = 1 \end{cases} \tag{21}$$

$$\begin{cases} \nu = \dfrac{27}{5} \\ q_1 = \dfrac{2}{5} \\ q_2 = \dfrac{3}{5} \end{cases} \tag{22}$$

Оптимальная стратегия игрока А: $P = \left(\frac{1}{5}, \frac{4}{5}\right)$

Оптимальная стратегия игрока Б: $Q = \left(\frac{2}{5}, \frac{3}{5}\right)$

Цена игры: $\nu = \frac{27}{5} = 5.4$

Относительная погрешность равна $\delta(q1) = \frac{\left(\left(\frac{2}{5}\right)-\left(\frac{11}{28}\right)\right)}{\left(\frac{2}{5}\right)} * 100\% = \left(\frac{0.0072}{0.393}\right) * 100\% = 1.83\%$; $\delta(q2) = \frac{\left(\left(\frac{3}{5}\right)-\left(\frac{17}{28}\right)\right)}{\left(\frac{3}{5}\right)} * 100\% = \left(\frac{0.0071}{0.393}\right) * 100\% = 1.83\%$

- С помощью симплекс-метода решить матричную игру $M \times N$ для матрицы C_5. Матрица C_5 представлена в (23).

$$C_5 = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 2 & 1 \\ 5 & 1 & -1 & 3 \\ 5 & 2 & -4 & 0 \end{pmatrix} \tag{23}$$

Требуется проверить, есть ли седловая точка для исходной платежной матрицы. В случае если платежная матрица имеет седловую точку, необходимо выписать решение игры в чистых стратегиях.

Найдем нижнюю (24) и верхнюю (25) цену игры.

$$\alpha = \max_i\{\min_j \alpha_{ij}\} = \max\{(1, -1, -4)\} = 1 \tag{24}$$

$$\beta = \min_j\{\max_i \alpha_{ij}\} = \min\{(5, 4, 2, 3)\} = 2 \tag{25}$$

Получаем, что $\alpha \neq \beta$, а значит нет седловой точки и решение в чистых стратегиях не существует.

Найдем цену игры ν. Известно, что $1 \leq \nu \leq 2$

Запишем две системы (26) и (27) уравнений.

Для игрока A:

$$\begin{cases} 3p_1 + 5p_2 + 5p_3 = \nu \\ 4p_1 + p_2 + 2p_3 = \nu \\ 2p_1 - p_2 - 4p_3 = \nu \\ p_1 + 3p_2 = \nu \\ p_1 + p_2 + p_3 = 1 \end{cases} \tag{26}$$

Чтобы найти решение данной задачи относительно первого игрока A, можно решить двойственную задачу:

найти минимум функции $F(x) = x_1 + x_2 + x_3$

$$x_i = \frac{p_i}{v}$$

при следующих ограничениях:

$$\begin{cases} 3x_1 + 5x_2 + 5x_3 \geq 1 \\ 4x_1 + x_2 + 2x_3 \geq 1 \\ 2x_1 - x_2 - 4x_3 \geq 1 \\ x_1 + 3x_2 \geq 1 \end{cases} \quad (24)$$

С помощью библиотеки SciPy для оптимизации и поиска корней в линейном программировании симплекс-методом вычислен вектор X (рис. 7).

```
[154]: from scipy.optimize import linprog
       obj = [1,1,1]
       lhs_ineq = [[-3,-5,-5],[-4,-1,-2],[-2,1,4],[-1,-3,0]]
       rhs_ineq = [-1,-1,-1,-1]
       bnd = [(0, float("inf")),(0, float("inf")),(0, float("inf"))]
       opt = linprog(c=obj, A_ub=lhs_ineq, b_ub=rhs_ineq, bounds=bnd,method="simplex")
       opt.fun
       opt.x
       (1/opt.fun) * opt.x
       1/opt.fun

[154]: 0.7142857142857143

[154]: array([0.57142857, 0.14285714, 0.        ])

[154]: array([0.8, 0.2, 0. ])

[154]: 1.4
```

Рисунок 7 – Решение вектора X симплекс-методом матрицы C_5

Получаем $F(x) = 0.714$ при $x_1 = 0.571, x_2 = 0.143, x_3 = 0$. Цена игры при этом $\nu = \frac{1}{0.714} \approx 1.4$, что соотносится с первоначальной оценкой $1 \leq \nu \leq 2$.

Для игрока Б:

$$\begin{cases} 3q_1 + 4q_2 + 2q_3 + q_4 = \nu \\ 5q_1 + q_2 - q_3 + 3q_4 = \nu \\ 5q_1 + 2q_2 - 4q_3 = \nu \\ q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = 1 \end{cases} \quad (27)$$

Чтобы найти решение данной задачи относительно второго игрока Б, можно решить двойственную задачу: найти максимум функции $F(y) = y_1 + y_2 + y_3 + y_4$ при следующих ограничениях:

$$\begin{cases} 3y_1 + 4y_2 + 2y_3 + y_4 \leq 1 \\ 5y_1 + y_2 - y_3 + 3y_4 \leq 1 \\ 5y_1 + 2y_2 - 4y_3 \leq 1 \end{cases}$$

С помощью библиотеки SciPy симплекс-методом вычислен вектор Y (рис. 8).

```
[160]:  from scipy.optimize import linprog
        obj = [-1,-1,-1,-1]
        lhs_ineq = [[3,4,2,1],[5,1,-1,3],[5,2,-4,0]]
        rhs_ineq = [1,1,1]
        bnd = [(0, float("inf")),(0, float("inf")),(0, float("inf")),(0, float("inf"))]
        opt = linprog(c=obj, A_ub=lhs_ineq, b_ub=rhs_ineq, bounds=bnd,method="simplex")
        -opt.fun
        opt.x
        (-1/opt.fun) * opt.x
        -1/opt.fun

[160]:  0.714285714285714

[160]:  array([0.        , 0.        , 0.28571429, 0.42857143])

[160]:  array([0. , 0. , 0.4, 0.6])

[160]:  1.4000000000000006
```

Рисунок 8 – Решение вектора Y симплекс-методом матрицы C_5

Получаем $F(y) = 0.714$ при $y_1 = 0, y_2 = 0, y_3 = 0.286, y_3 = 0.429$. Цена игры при этом $\nu = \frac{1}{0.714} \approx 1.4$, что соотносится с первоначальной оценкой $1 \leq \nu \leq 2$.

Опираясь на полученные данные, можно найти цену игры (2) и оптимальные смешанные стратегии игроков А (26) и Б (27):

$$\nu = \frac{1}{0.714} = 1.4 \tag{25}$$

$$P = X \cdot \nu = (\ 0.8, 0.2, 0\ ) \tag{26}$$

$$Q = Y \cdot \nu = (\ 0, 0, 0.4, 0.6\ ) \tag{27}$$

Выводы

В ходе выполнения практической работы было реализовано инструментальное средство для нахождения нижней и верхней цен игры и для нахождения координат седловой точки на языке программирования Python, а также были получены навыки работы с библиотекой SciPy для линейного программирования.

При решении матричных игр были применены графический и аналитический методы нахождения оптимальных смешанных стратегий, а также был применён симплекс-метод. Решения матричных игр обоими способами дали одинаковый результат.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПРОГРАММА ПОИСКА СТАЦИОНАРНОЙ ТОЧКИ

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from IPython.core.interactiveshell import InteractiveShell
InteractiveShell.ast_node_interactivity = "all"

c1 = np.array([[6,2,8,7], [9,4,8,5], [5,3,7,4]])
c2 = np.array([[1,2],[2,1]])
c3 = np.array([[8,7,4,4,7], [2,4,6,8,10]])
c31 = np.array([[8,4],[2,6]])
c4 = np.array([[2,6],[3,7],[4,2],[6,5],[8,3]])
c41 = np.array([[3,7],[6,5]])
c5 = np.array([[3,4,2,1], [5,1,-1,3], [5,2,-4,0]])

def default(c):
    amin = c.min(axis=1)
    bmax = c.max(axis=0)
    alpha = max(amin)
    beta = min(bmax)
    print(f'Нижняя цена игры равна {alpha}')
    print(f'Верхняя цена игры равна {beta}')
    print(f'Седловая точка существует') if alpha == beta else
print(f'Седловая точка не существует')
    if alpha == beta:
        print(f'Координаты седловой точки равны ({np.argmax(amin)+1},
{np.argmin(bmax)+1})')
    p1 = (c[1,1]-c[1,0])/(c[0,0]+c[1,1]-(c[0,1]+c[1,0]))
    p2 = 1-p1
    q1 = (c[1,1]-c[0,1])/(c[0,0]+c[1,1]-(c[0,1]+c[1,0]))
    q2 = 1-q1
    v = c[0,0]*p1+c[1,0]*p2
```

```
    print(p1,p2,q1,q2,v)

default(c5)

from scipy.optimize import linprog
obj = [1,1,1]
lhs_ineq = [[-3,-5,-5],[-4,-1,-2],[-2,1,4],[-1,-3,0]]
rhs_ineq = [-1,-1,-1,-1]
bnd = [(0, float("inf")),(0, float("inf")),(0, float("inf"))]
opt = linprog(c=obj, A_ub=lhs_ineq, b_ub=rhs_ineq, bounds=bnd,method="sim-
plex")
opt.fun
opt.x
(1/opt.fun) * opt.x
1/opt.fun

from scipy.optimize import linprog
obj = [-1,-1,-1,-1]
lhs_ineq = [[3,4,2,1],[5,1,-1,3],[5,2,-4,0]]
rhs_ineq = [1,1,1]
bnd = [(0, float("inf")),(0, float("inf")),(0, float("inf")),(0,
float("inf"))]
opt = linprog(c=obj, A_ub=lhs_ineq, b_ub=rhs_ineq, bounds=bnd,method="sim-
plex")
-opt.fun
opt.x
(-1/opt.fun) * opt.x
-1/opt.fun
```