

# ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Известия Балтийской государственной академии  
рыбопромышленного флота. 2025. № 3(73). С. 110–114

Научная статья

УДК 519.8:378.016

Doi:10.46845/2071-5331-2025-3-73-110-114

## Теоретико-игровые имитационные модели как средство развития профессионализма морских инженеров

Сергей Сергеевич Мойсеенко<sup>1</sup>, Ирина Георгиевна Чуксина<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Балтийская государственная академия рыбопромышленного флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,  
Калининград, Россия

<sup>2</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>moiseenkoss@rambler.ru

<sup>2</sup>irina-chuksina@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается игровая имитационная модель организации поиска рыбных скоплений и возможности использования подобных моделей для развития знаний и умений у морских инженеров в контексте повышения квалификации (в построении логистических схем организации поиска рыбных скоплений и передислокации флота).

**Ключевые слова:** игровая имитационная модель, океанический промысел морские инженеры, профессионализм.

**Для цитирования:** Мойсеенко С. С., Чуксина И. Г. Теоретико-игровые имитационные модели как средство развития профессионализма морских инженеров // Известия Балтийской государственной академии рыбопромышленного флота. – 2025. – № 3(73). – С. 110–114.

В практике управления рыбопромышленным флотом приходится решать сложные задачи, связанные с организацией поиска и добычи рыбы в районах океанического промысла. В этой связи актуальными являются вопросы повышения квалификации морских инженеров в контексте получения знаний и развития умений оценки альтернативных вариантов управляющих решений, принимаемых в условиях неопределенности.

Нами разработана имитационная теоретико-игровая модель организации поиска рыбных скоплений, которая может успешно использоваться для развития умений построения логистических схем организации поиска и передислокации флота из одних подрайонов лова в другие, более продуктивные.

Положим, в одном из промысловых квадратов  $l$  находится объект поиска (скопление рыбы). Имеется  $N$  судов. Требуется найти оптимальное распределение судов по квадратам, чтобы максимизировать вероятность обнаружения рыбных скоплений. При этом сам объект поиска может перемещаться из квадрата в квадрат, тем самым минимизируя вероятность обнаружения.

В качестве игрока 1 выступает лицо, принимающее решения.

Поставленная задача решается при помощи теории игр [1, 2], в качестве игрока 2 выступает объект поиска (природа).

Стратегией игрока 2 (природа) будет нахождение в  $l$ -м квадрате ( $l=1,2,\dots,L$ ). Игрок 1 может послать в  $l$ -й квадрат  $n_l = (n_l = 0, 1, \dots, N)$  поисковых судов, соблюдая условие

$$\sum_{n=1}^N n_l = N \quad (1)$$

Например, можно послать в  $l$ -й квадрат все  $N$  судов и ни одного в остальные квадраты. Поэтому  $l$ -й стратегией игрока 1 будет целочисленный вектор  $(n_1^l, \dots, n_l^l)$ . В соответствии с этой стратегией в  $l$ -й квадрат посылаются  $n_l^l$  единиц при условии выполнения равенства (1).

Число стратегий  $m$  игрока 1 определяется по формуле [3]

$$m = c_{N+L-1}^N = \frac{(N+L-1)!}{N!(L-1)!} \quad (2)$$

Предположим, что игрок 1 располагает двумя поисковыми судами  $N=2$ . Необходимо обследовать два квадрата  $L=2$ , т. е.  $N=L=2$ .

Игрок 1 имеет число стратегий:

$$m_1 = \frac{(2+2-1)!}{2!(2-1)!} = \frac{3!}{2!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3}{1 \cdot 2} = 3$$

Игрок 2 имеет стратегии:

$$m_2 = \frac{(1+2-1)!}{1!(2-1)!} = \frac{1 \cdot 2}{1} = 2$$

Планы распределения поисковых судов по районам приведены в табл. 1. Любая из стратегий в табл. 1 не учитывает информации о действиях игроков. Это является характерным для одноходовой игры, так как, в противном случае, игра потеряла бы смысл, а все поисковые суда были бы направлены в соответствующий квадрат, или объект поиска перешел бы в квадрат, где поисковых судов меньше.

Примем  $P_1$  как вероятность обнаружения объекта в  $l$ -м квадрате одной поисковой единицей и предположим, что обнаружение этого объекта несколькими поисковыми судами являются событиями независимыми. Тогда вероятность обнаружения объекта в  $l$ -м квадрате  $i$ -го плана распределения поисковых судов определяется из формулы

$$\beta_{il} = 1 - (1 - P_1)^{n_i} \quad (3)$$

где  $P_1(A)$  – вероятность нахождения объекта промысла в  $l$ -м квадрате;  $P_1(B)$  – вероятность попадания косяка в зону действия приборов за время поиска  $t_n$ ;  $P_1(C/B)$  – условная вероятность обнаружения косяка, находящегося в зоне действия приборов.

Высокая разрешающая способность современных гидроакустических комплексов при невысоких скоростях поиска позволяет сделать допущение, что условная вероятность  $P_1(C/B) \cong 1$ . Тогда полная вероятность  $P_1$  определяется в основном вероятностями  $P_1(A)$  и  $P_1(B)$ . Величина  $P_1(A)$  определяется на основе экспертных оценок.

Положим, экспертные оценки вероятностей нахождения объекта промысла в квадратах 1, 2 соответственно равны  $P_1(A)=0,7$  и  $P_2(A)=0,3$ . Вероятность  $P_1(B)$  можно рассчитать следующим образом:

$$P_1(B) = 1 - l^{-N_0 t_n} \quad (4)$$

где  $N_0 = 2 \frac{l}{\Pi S} (V_k + V) \left[ E\left(\frac{\Pi}{2} k\right) - E\left(-\frac{\Pi}{2} k\right) \right]$   
 $E\left(\frac{\Pi}{2} k\right)$  – эллиптический интеграл 2-го рода.

$$k = \frac{2\sqrt{VV_k}}{V + V_k}, \quad l_0 = l_k + l_n$$

$S$  – площадь квадрата поиска;



$l_k$  – линейный размер косяка;

$l_n$  – ширина зоны обнаружений приборов поиска;

$V, V_k$  – скорость судна и косяка.

Величины  $E(k - \frac{\Pi}{2}) - E(-\frac{\Pi}{2}k)$  выбираются из специальных таблиц как функция  $V/V_k$ .

В рассматриваемом примере вероятности  $P_1(B)=P_2(B)=0,67$ , а полные вероятности обнаружения косяка одиночным судном находятся по формуле (4) и соответственно равны  $P_1=0,47, P_2=0,20$ .

По формуле (3) рассчитываются элементы матрицы выигрышей игрока 1 (табл. 1). Матрица представляет собой теоретико-игровую модель распределения судов по квадратам поиска. Принцип выбора оптимального плана распределения судов по этой модели обеспечивает максимальный успех в наиболее неблагоприятных условиях. Из табл. 1 видно, что минимакс не равен максимину. Следовательно, решение игры существует только в смешанных стратегиях.

Объект промысла находится в одном из квадратов или выбирает 1-й квадрат с вероятностью  $V_1$ . Среди стратегий игрока 2 выбираются наименее благоприятные и для них рассчитываются вероятности  $x_i$  каждого плана распределения и значение игры  $V$ . Игра решается графическим методом. На рис. 1 показан порядок нахождения графического решения. Ломаная линия  $A_1KMA_3$  представляют верхнюю границу математического ожидания выигрыша игрока 1.

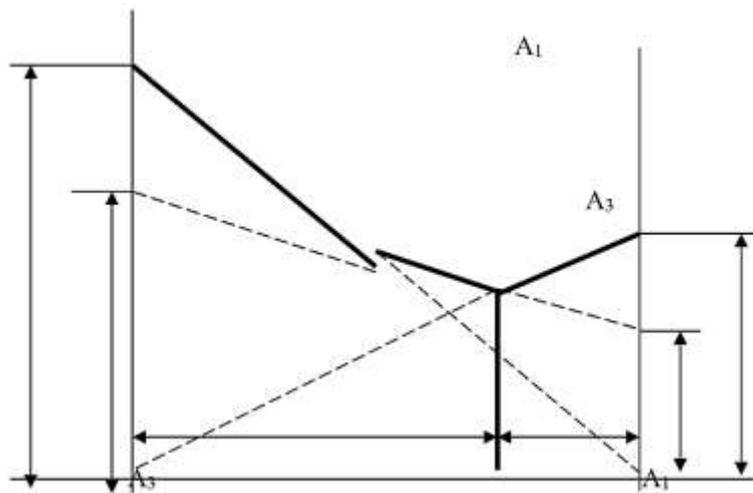


Рис. 1. Графическое решение игры  $3 \times 2$

На этой границе отыскивается точка  $M$  с минимальной ординатой. Абсцисса этой точки соответствует оптимальной стратегии игрока 2, а ордината – значению игры  $V$ . Оптимальные стратегии игрока 1 находятся по формулам [1, 4]:

$$x_1 = \frac{\beta_{22} - \beta_{21}}{\beta_{11} - \beta_{12} - \beta_{21} + \beta_{22}} \quad (5)$$

$$y_1 = \frac{\beta_{22} - \beta_{12}}{\beta_{11} - \beta_{12} - \beta_{21} + \beta_{22}} \quad (6)$$

Значение игра можно рассчитать по формуле:

$$g = \frac{\beta_{11}\beta_{22} - \beta_{12}\beta_{21}}{\beta_{11} - \beta_{12} - \beta_{21} + \beta_{22}} \quad (7)$$

Путем графических построений из рис. 1 находим  $x_1=0$ . Тогда рассматривается матрица,

$$\begin{pmatrix} 0,47 & 0,20 \\ 0,00 & 0,36 \end{pmatrix}$$

которая представляет собой вторую и третью строки исходной матрицы, приведенной в табл. 1.

Таблица 1

№ плана	1	2	$\min \beta_{il}$
1	0,72	0,00	0,0
2	0,47	0,20	0,20(максимин)
3	0,00	0,36	0,00
$\max \beta_{ij}$	0,72	0,36(минимакс)	

По формулам (5)–(7) находим:

$$x_1^* = \frac{0,36 - 0,0}{0,47 - 0,2 - 0,0 + 0,36} = \frac{0,36}{0,63} = \frac{36}{63} = \frac{12}{21};$$

$$y_1^* = \frac{0,36 - 0,20}{0,47 - 0,2 - 0,0 + 0,36} = \frac{0,16}{0,63} = \frac{16}{63};$$

$$g = \frac{0,47 \cdot 0,36 - 0,20 \cdot 0,0}{0,63} = 0,27.$$

Оптимальная стратегия для игрока 1 в этой игре получается из вектора  $X^0$  посредством добавления нулевой компоненты, соответствующей первой стратегии, т. е.

$$D^0 = \left( \frac{12}{21}, \frac{9}{21} \right), \quad \ddagger D^* = \left( 0, \frac{12}{21}, \frac{9}{21} \right)$$

Оптимальная стратегия второго игрока:

$$y^* = \left( \frac{16}{63}, \frac{47}{63} \right)$$

Цена игры  $V=0,27$ . Следовательно, оптимальным распределением судов на поиск будут планы № 2,3 (табл. 2). Эти планы целесообразно реализовать в пропорции 12/21:9/21, т. е. в интерпретации времени рационально ввести поиск по плану № 2 в течение 5,7 часа и по плану № 3 в течение 4,3 часа при общем времени поиска, равном 10 часам. При такой стратегии поиска в самых неблагоприятных условиях вероятность обнаружения косяка рыбы будет равна цене игры  $V = 0,27$ .



Рассмотрим вариант, когда на поиск подключается еще одно судно. В этом случае игрок 1 имеет 4 стратегии при 2 стратегиях игрока 2. Решение игры  $4 \times 2$  дает оптимальную стратегию игрока 1  $D^* = \left(0, \frac{11}{41}; \frac{30}{41}, 0\right)$ , что соответствует реализации планов распределения № 2, 3 (табл. 2).

Таблица 2

№ плана (стратегия игрока 1)	№ квадрата (стратегия игрока 2)	
L	1	2
1	3	0
2	2	1
3	1	2
4	0	3

Значение игры составит  $V=0,63$ . Следовательно, подключение к поиску третьего судна значительно увеличивает вероятность обнаружения косяка рыбы.

Задача определения оптимальной стратегии поиска представляет значительный интерес при ведении экспедиционного промысла. Для оперативного решения задачи можно воспользоваться заранее подготовленными графиками, которые отражают зависимости цены игры от количества судов, направляемых на поиск, а также значение цены игры от продолжительности поиска. Такие графики можно построить на основе многовариантных расчетов  $m \times n$  игр, выполненных на персональном компьютере. Результаты имитационных экспериментов с моделью являются важной информацией при разработке решений по передислокации флота.

#### Список литературы

1. Акофф, Р., Сасиени, М. Основы исследования операций. – Москва : Мир, 1971. – 543 с.
2. Беллман, Р., Калаба, Р. Динамическое программирование и современная теория управления. – Москва : Наука, 1969. – 435 с.
3. Громовой, Э. П. Математические методы и модели в планировании и управлении на морском транспорте. – Москва : Транспорт, 1979. – 359 с.
4. Мойсеенко, С. С. Методы оптимального управления процессом промысла. – Калининград, 1986. – 73 с.

#### Информация об авторах

С. С. Мойсеенко – кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор;  
И. Г. Чуксина – доктор педагогических наук, профессор.

Статья поступила в редакцию 23.06.2025; одобрена после рецензирования 24.07.2025; принята к публикации 31.07.2025.