УДК: 355/359 DOI: 10.53816/20753608_2022_4_100

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТАКТИКИ ВЕДЕНИЯ БОЯ ПРИ БОРЬБЕ С РАЗНОТИПНЫМИ БОЕВЫМИ ЕДИНИЦАМИ ПРОТИВНИКА

CHOOSING THE OPTIMAL TACTICS OF COMBAT WHILE FIGHTING AGAINST DIFFERENT TYPES OF ADVERSARY COMBAT UNITS

И.В. Дубограй[1]***,*** *чл.-корр. РАРАН* ***Е.Б. Маркелов***[2]***, В.Ю. Чуев***[1]

[1]МГТУ им. Н.Э. Баумана, [2]Преображенский научный центр РАРАН

I.V. Dubograi, E.B. Markelov, V.Yu. Chuev

Проведено исследование разработанной авторами на основе теории непрерывных марковских процессов вероятностной модели боя двух однотипных боевых единиц против двух разнотипных, причём одна из них менее уязвима и более опасна. Исследованы различные тактики ведения боя стороной, имеющей в своём составе две однотипные боевые единицы. Получены расчётные формулы для вычисления основных показателей боя. Проведены расчёты, результаты которых проиллюстрированы рисунками. Показано, что правильный выбор этой стороной тактики ведения боя может в ряде случаев существенно увеличить и вероятность её победы, и математическое ожидание её сохранившихся единиц.
Ключевые слова: боевая единица, вероятностная модель боя, непрерывный марковский процесс, тактика ведения боя, эффективная скорострельность.

It is made a research of the developed by the authors on the basis of the theory of continuous Markov processes probabilistic model of combat of two combat units of the same type against two of different types where the one is less vulnerable and more dangerous. Various tactics of combat by a party which has two similar combat units are investigated. Formulas for the battle's main indicators calculating are obtained. Calculations have been carried out, the results of which are illustrated by pictures. It is shown that the correct choice by this side of the tactics of combat can in some cases significantly increase both the probability of its victory and the mathematical expectation of its surviving combat units.
Keywords: combat unit, probabilistic model of combat, continuous Markov process, tactics of combat, effective rate of fire.

При создании новой технической системы необходима разработка математической модели ее функционирования для оценки качества ее работы [1]. Основой оценки проектируемых образцов вооружения и военной техники являются показатели их боевой эффективности, так как они определяют степень приспособленности данного образца к решению поставленных боевых задач [2–3]. Широкое применение при решении различных военно-технических и военно-тактических задач находят математические модели двухсторонних боевых действий, так как они позволяют учесть значительно большее число факторов, влияющих на эффективность в реальных боевых условиях, чем модели без учета ответного огня [4–5]. А так как бой является стохастическим процессом, целесообразно использовать вероятностные модели, поскольку они позволяют исследовать его протекание более подробно и достоверно, чем детерминированные модели (модели динамики средних) [6].

Одним из возможных способов построения модели двухсторонних боевых действий является применение теории непрерывных марковских процессов [7]. Процесс, протекающий в системе, называется марковским, если для каждого момента времени вероятность состояния системы в будущем зависит только от ее состояния в настоящий момент и не зависит от того, каким образом система пришла в это состояние [8].

Последовательность выстрелов, осуществляемая каждой участвующей в бою единицей, представляется в виде пуассоновского потока событий [2]. Далее осуществляется переход к потоку успешных выстрелов, который тоже считается пуассоновским. Выстрел назовем успешным, если он поражает боевую единицу противника [3].

Описание процесса боевых действий

Исследуем ситуацию, рассмотренную ранее в [9, 10]. В начале боя сторона *X* имеет две однотипные боевые единицы, перед которыми поставлена задача отразить атаку (или преодолеть оборону) двух разнотипных единиц стороны *Y*, причем первая из них менее уязвима и более опасна (в дальнейшем ее будем называть первой единицей *Y*).

Считаем, что все участвующие в бою единицы начинают боевые действия одновременно и имеют полную и не запаздывающую информацию о состоянии боевых единиц противника (поражены или нет) и ведут огонь только по сохранившимся единицам. Также полагаем, что бой ведется до полного уничтожения одной из противоборствующих сторон.

Возможны следующие варианты ведения боя стороной *X*:

1. Обе единицы *X* сначала ведут огонь по первой единице *Y* и в случае ее поражения огонь переносят на вторую (вариант 1);
2. Обе единицы *X* сначала ведут обстрел второй единицы *Y* и в случае ее поражения переносят огонь на первую (вариант 2);
3. Одна единицы *X* сначала стреляет по первой единице *Y*, а другая по второй. В случае поражения одной единицы *X* и сохранения обеих единиц *Y* ведется стрельба по первой единице *Y* (вариант 3);
4. Сначала одна единица *X* стреляет по первой единице *Y*, а другая по второй. В случае уничтожения одной единицы *X* и сохранения обеих единиц *Y* ведется стрельба по второй единице *Y* (вариант 4).

Возникает вопрос, какую тактику ведения боя должна выбрать сторона *X*, чтобы достичь наилучшего результата.

Основные математические зависимости и формулы

Введем следующие обозначения:

p_{x_1}, p_{x_2} — вероятности поражения одним выстрелом единицы *X* первой и второй единиц *Y* соответственно;

p_{y_1}, p_{y_2} — вероятности поражения единицы *X* одним выстрелом первой и второй единиц *Y*;

$\lambda_{x_1}, \lambda_{x_2}$ — практические скорострельности единиц *X* при стрельбе по первой и второй единицам *Y* соответственно;

$\lambda_{y_1}, \lambda_{y_2}$ — практические скорострельности первой и второй единиц *Y*;

величины $v_1 = p_{x_1}\lambda_{x_1}$; $v_2 = p_{x_2}\lambda_{x_2}$; $u_1 = p_{y_1}\lambda_{y_1}$; $u_2 = p_{y_2}\lambda_{y_2}$ назовем эффективными скорострельностями боевых единиц, считая их в течение всего боя постоянными. При этом $v_1 < v_2$, $u_1 > u_2$.

Введем также обозначения: $a = \dfrac{v_1}{u_1}$, $b = \dfrac{v_2}{u_1}$, $c = \dfrac{u_2}{u_1}$, при этом $0 < a < b$; $0 < c < 1$.

При использовании теории непрерывных марковских процессов протекание боя характеризуется системой (*i, j, k*). Величина *i* отражает состояния единиц стороны *X*: при *i* = 2 обе единицы *X* продолжают бой, при *i* = 1 одна единица стороны *X* уничтожена, а вторая продолжает бой, *i* = 0 соответствует тому, что уничтожены обе боевые единицы стороны *X*. Величины *j* и *k* характеризуют состояния первой и второй единиц стороны *Y* соответственно. Значения *j* и *k*, равные 1, соответствуют тому, что данная единица продолжает бой, значения *j* и *k*, равные 0 — тому, что данная боевая единица уничтожена. Состояние (0, 0, 0) не является состоянием данной системы, так как вероятность одновременного поражения двух и более единиц является бесконечно малой величиной.

Возможны следующие критерии оптимальности ведения боя стороной X:

– максимум вероятности сохранения обеих единиц стороны X, равная $F_{200}^{(b)}(\infty)$;

– максимум вероятности победы стороны X, которая равна

$$P_{0x}^{(b)} = F_{100}^{(b)}(\infty) + F_{200}^{(b)}(\infty);$$

– максимум математического ожидания сохранившихся к концу боя единиц стороны X, которая равна

$$M_{0x}^{(l)} = F_{100}^{(l)}(\infty) + 2F_{200}^{(l)}(\infty),$$

где $F_{100}^{(l)}(\infty)$ и $F_{200}^{(l)}(\infty)$ — вероятности того, что к концу боя сохранились соответственно одна или обе единицы стороны X, а обе единицы стороны Y уничтожены при ведении стороной X боя согласно l-му варианту.

Системы уравнений, описывающие ход протекания боя при различных тактиках его ведения стороной X, представлены в [9], а формулы для вычисления вероятностей $F_{100}^{(l)}(\infty)$ и $F_{200}^{(l)}(\infty)$ представлены в [10].

Анализ результатов расчетов

Для выяснения, какой из вариантов ведения боя является наиболее оптимальным для стороны X, были проведены расчеты основных показателей боя на основе формул, полученных в [10]. Установлено, что 4-й вариант ведения боя стороной X не является оптимальным ни при каких значениях параметров a, b, c. Согласно 1-му критерию также никогда не являются оптимальными варианты 3 и 4. Отметим, что

$$F_{200}^{(1)}(\infty) - F_{200}^{(2)}(\infty) = \\ = \frac{4ab\left(2a - 2bc + 1 - c^2\right)}{(2a+1)(2b+c)(2a+c+1)(2b+c+1)};$$

$$F_{200}^{(1)}(\infty) - F_{200}^{(3)}(\infty) = \\ = \frac{2ab\left(2a - 2bc + 1 - c^2\right)}{(2a+1)(2b+c)(2a+c+1)(a+b+c+1)};$$

$$F_{200}^{(2)}(\infty) - F_{200}^{(2)}(\infty) = \\ = \frac{2ab\left(2bc - 2a + c^2 - 1\right)}{(2a+1)(2b+c)(2b+c+1)(a+b+c+1)}.$$

Таким образом, при $2a - 2bc + 1 - c^2 > 0$ оптимальным для стороны X является вариант 1, при $2a - 2bc + 1 - c^2 < 0$ — вариант 2. Области выгодности различных тактик ведения боя стороной X, согласно первому критерию, представлены на рис. 1. Знаком ⊕ обозначена область

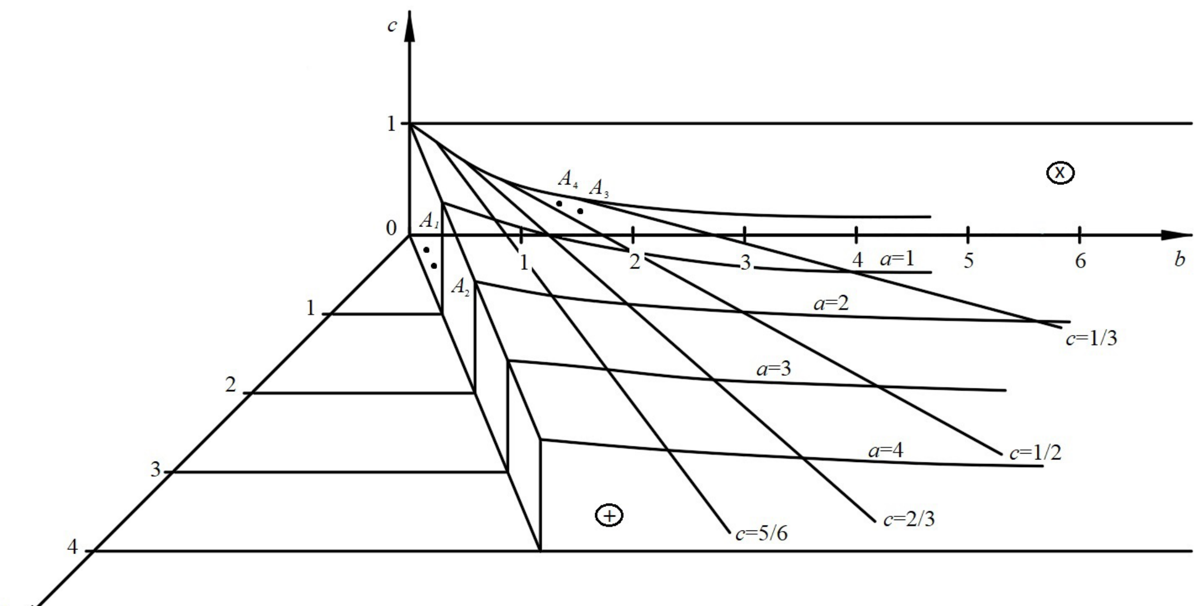

Рис. 1. Области выгодности различных тактик ведения боя стороной X согласно 1-му критерию

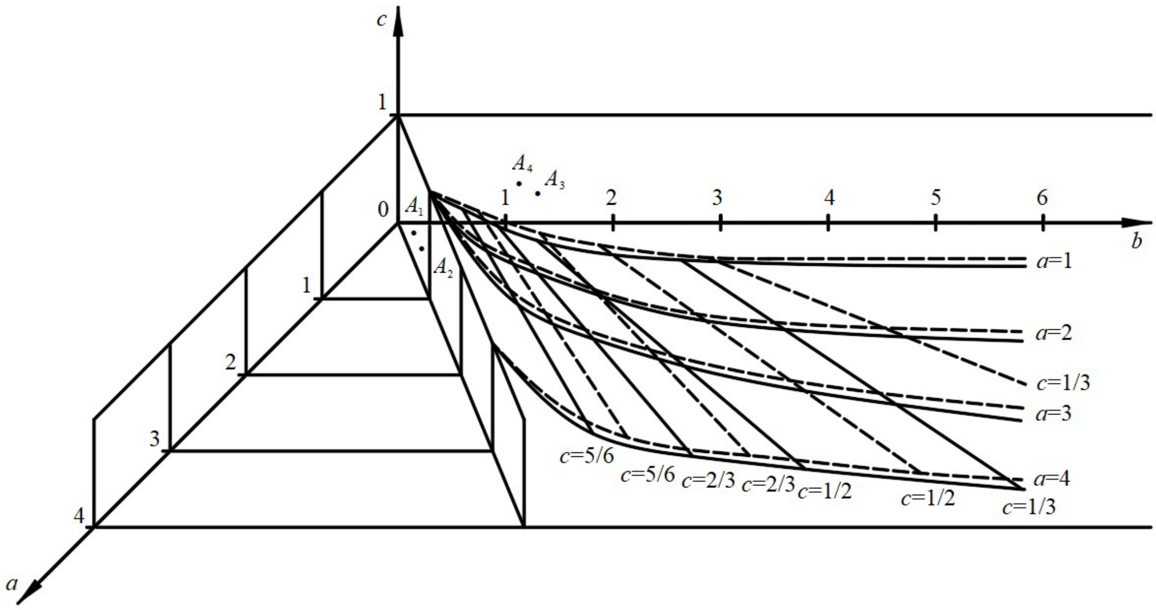

Рис. 2. Области выгодности различных тактик ведения боя стороной X согласно 2-му критерию

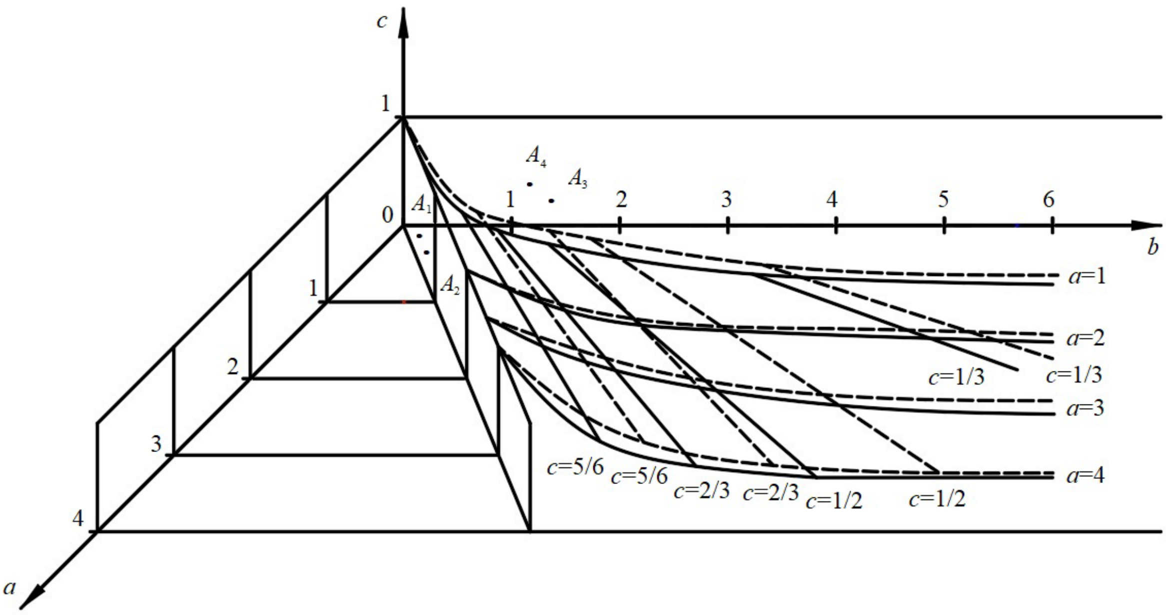

Рис. 3. Области выгодности различных тактик ведения боя стороной X согласно 3-му критерию

выгодности варианта 1, знаком ⊗ — область выгодности варианта 2.

На рис. 2 и 3 представлены области выгодности различных тактик ведения боя согласно критериям 2 и 3 соответственно. Область, расположенная ниже непрерывных линий, соответствует оптимальности варианта 1 ведения боя стороной *X*, область выше пунктирных линий — оптимальности варианта 2, область между непрерывными и пунктирными линиями — оптимальности варианта 3. Однако в этих случаях вариант 3 дает незначительное преимущество по сравнению с вариантом 1 или 2. P_{0x} увеличивается не более чем на 0,004, а M_{0x} — не более чем на 0,005. Вариант 4 никогда не является оптимальным.

В ряде случаев правильный выбор стороной *X* тактики ведения боя существенно увеличивает ее преимущество или существенно уменьшает преимущество стороны *Y*. Так при $v_1 = 0,016$; $v_2 = 0,02$; $u_1 = 0,04$; $u_2 = 0,008$ (при этом $a = 0,4$; $b = 0,45$; $c = 0,2$) получаем $P_{0x}^{(1)} = 0,482$; $P_{0x}^{(2)} = 0,303$; $P_{0x}^{(3)} = 0,418$, а также $M_{0x}^{(1)} = 0,809$; $M_{0x}^{(2)} = 0,494$; $M_{0x}^{(3)} = 0,675$. А при $v_1 = 0,015$; $v_2 = 0,016$; $u_1 = 0,02$; $u_2 = 0,006$ (при этом $a = 0,75$; $b = 0,8$; $c = 0,3$) имеем $P_{0x}^{(1)} = 0,636$; $P_{0x}^{(2)} = 0,499$; $P_{0x}^{(3)} = 0,590$, а также $M_{0x}^{(1)} = 1,087$; $M_{0x}^{(2)} = 0,830$; $M_{0x}^{(3)} = 0,986$. Таким образом, в этих случаях стороне *X* следует использовать вариант 1 ведения боя, что позволит ей заметно увеличить вероятность своей победы P_{0x} и математическое ожидание сохранившихся боевых единиц M_{0x}. На рисунках этим случаям соответствуют точки A_1 и A_2.

С другой стороны, при $v_1 = 0,009$; $v_2 = 0,036$; $u_1 = 0,02$; $u_2 = 0,018$ (при этом $a = 0,45$; $b = 1,8$; $c = 0,9$) $P_{0x}^{(1)} = 0,387$; $P_{0x}^{(2)} = 0,469$; $P_{0x}^{(3)} = 0,447$; $M_{0x}^{(1)} = 0,644$; $M_{0x}^{(2)} = 0,779$; $M_{0x}^{(3)} = 0,739$. А при $v_1 = 0,007$; $v_2 = 0,033$; $u_1 = 0,02$; $u_2 = 0,019$ (при этом $a = 0,35$; $b = 1,65$; $c = 0,95$) $P_{0x}^{(1)} = 0,314$; $P_{0x}^{(2)} = 0,399$; $P_{0x}^{(3)} = 0,376$, а также $M_{0x}^{(1)} = 0,519$; $M_{0x}^{(2)} = 0,658$; $M_{0x}^{(3)} = 0,617$. На рисунках этим случаям соответствуют точки A_3 и A_4. В данных ситуациях стороне *X* целесообразно использовать 2-й вариант ведения боя, хотя улучшение его основных показателей не так существенно, как в предыдущих случаях. На рисунках этим случаям соответствуют точки A_3 и A_4.

Выводы

1. Проведено исследование боя двух однотипных боевых единиц стороны *X* против двух разнотипных единиц противника с применением разработанной авторами вероятностной модели боя.

2. Установлены области оптимальности использования различных тактик ведения боя стороной *X*.

3. Показано, что выбор стороной *X* правильной тактики ведения боя может существенно увеличить вероятность ее победы и математическое ожидание числа ее сохранившихся боевых единиц.

Литература

1. Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н. Особенности математического моделирования технических устройств // Математическое моделирование и численные методы. 2014. № 1. С. 5–17.

2. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы и методология. — М.: УРСС. 2007. 208 с.

3. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле. — М.: Воениздат. 1970. 270 с.

4. Ткаченко П.Н. Математические модели боевых действий. — М.: Советское радио. 1969. 240 с.

5. Hillier F.S., Lieberman G.J. Introduction to Operations Research. New York.: MeGrew — Hill, 2005. 998 p.

6. Jaiswal N.K. Military Operations Rescarch. Quantitative Decision Making. Kluwer Academic Publishers. 2000. 388 p.

7. Алексеев О.Г., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г. Марковские модели боя. — М.: Министерство обороны СССР. 1985. 85 с.

8. Вентцель Е.С., Овчаров В.Я. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. — М.: КноРус. 2015. 448 с.

9. Чуев В.Ю., Дубограй И.В. Вероятностная модель боя двух однотипных боевых единиц против двух разнотипных // Математическое моделирование и численные методы. 2020. № 2. С. 107–116.

10. Чуев В.Ю., Дубограй И.В. Стохастическая модель боевых действий однотипных боевых единиц против разнотипных // Математическое моделирование и численные методы. 2021. № 2. С. 86–95.