

ДИНАМІЧНИЙ МЕТОД ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ БОЙОВИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ПРОТИДІІ ВИСАДЦІ МОРСЬКОГО ДЕСАНТУ НА ОСНОВІ МАРКІВСЬКИХ ЛАНЦЮГІВ

Максимов М. В.

доктор технічних наук, професор,
головний науковий співробітник
Науково-дослідного центру «Державний океанаріум»
Інституту Військово-Морських Сил
Національного університету «Одеська морська академія»
ORCID: 0000-0002-7536-2570

Добринін Є. В.

кандидат технічних наук,
начальник
Науково-дослідного центру «Державний океанаріум»
Інституту Військово-Морських Сил
Національного університету «Одеська морська академія»
ORCID: 0000-0003-2777-3137

Максимова О. Б.

кандидат технічних наук, доцент,
провідний науковий співробітник
Науково-дослідного центру «Державний океанаріум»
Інституту Військово-Морських Сил
Національного університету «Одеська морська академія»
ORCID: 0000-0003-3986-0991

Акініна Т. Л.

начальник науково-дослідного відділу
Науково-дослідного центру «Державний океанаріум»
Інституту Військово-Морських Сил
Національного університету «Одеська морська академія»
ORCID: 0000-0002-1970-2454

Данилов Ф. А.

начальник відділу військової частини А0135
ORCID: 0000-0002-1970-2454

Анотація. Запропоновано метод та імітаційну модель розрахунку об'єму снарядів і використаних артилерійських гармат упродовж часу, необхідного для зупинення висадки морського десанту. Імітаційна модель містить закон розподілу снарядів, модель влучення у прямокутник заданої форми, модель імовірності влучення не менше ніж заданої кількості снарядів у ціль, модель відстаней видів кораблів без зміни курсу. Динамічний метод моделювання використання бойових ресурсів для протидії висадці десанту базується на Марківських дискретних ланцюгах. Визначено умови використання моделі та методу, отримано кількість бойових ресурсів для зупинення десанту.

Ключові слова: імітаційна модель, Марківські дискретні ланцюги, артилерійська гармата, морський десант.

Maksymov M. V., Dobrynin Ye. V., Maksymova O. B., Akinina T. L., Danylov F. A.
**DYNAMIC METHOD OF SIMULATION OF THE USED BATTLE RESOURCES
TO PREVENT AMPHIBIOUS LANDINGS BASED ON MARKOV CHAINS**

Abstract. A method and a simulation model for calculating the volume of shells and used artillery pieces during the time necessary to stop the landing of amphibious assault forces is proposed. The simulation model contains. The law of distribution of projectiles. Model of hitting a rectangle of a given shape. The model of the probability of projectiles hitting the target is not less than a given number. Model of movement of types of ships without changing the course. The dynamic method for modelling the use of combat resources to counter an amphibious assault is based on discrete Markov chains.

The operational-tactical formulation of the problem contains information that allows using the Markov chain. The definition of the considered system is formulated. The possible states of the system are determined. The step of the process and the time points of the steps are found. Possible transitions of the system from state to state in one step are developed. The conditions for the initial state of the system are accepted.

In the problem that has been solved, the system is a ship of the same type with its own properties, which has the goal of reaching the coastline. Conditions accepted. A ship that receives a certain number of hits in the future is not considered. Artillery guns with their own properties that fire at enemy ships in order to prevent ships from reaching the coastline have no restrictions on the number of shells.

The conditions for using the model and method are determined, the amount of combat resources to stop the landing is obtained. To increase the likelihood of stopping the landing operation, it is assumed. On the one hand, it is necessary to increase the rate of fire of artillery pieces, significantly improve the quality of firing, which will increase the probability of hitting in conditions of a limited number of shells. On the other hand, an increase in the number of artillery pieces allows you to start destroying enemy ships at shorter distances, which will increase the chance of hitting and reduce the amount of shells used.

Key words: simulation model, discrete Markov chain, artillery gun, marine landing.

Постановка проблеми. Складовою частиною військового мистецтва є тактика, якій притаманна теорія й практика підготовки сучасного бою в інформаційному середовищі та його проведення спеціалізованими підрозділами. Тактика перебуває в логічному взаємозв'язку зі стратегією та положеннями, якими вона керується. Практика тактики охоплює діяльність командирів, штабів та військ (сил) із підготовки й ведення бою. Теоретична частина з тактики зосереджена на закономірностях, характері та змісті бою, вона розробляє методи підготовки його проведення. Невід'ємною частиною тактичних досліджень будь-якої бойової операції є її математичне моделювання [1]. Певний інтерес становить можливість отримувати результати моделювання в разі принципової відсутності деяких видів бойових ресурсів або використання тільки одного виду озброєнь. Таким прикладом може бути моделювання протидії висадці морського десанту з використанням тільки артилерії та мінування морського узбережжя, що мало місце на початку вторгнення військ російських окупантів станом на 24 лютого 2022 р.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Можна виділити чотири групи математичних моделей бойових дій: описові, імітаційні, оптимізаційні та прийняття рішень [2]. Широкого розвитку набули Ланчестерівські імітаційні моделі, що використовують апарат диференціальних рівнянь для опису динаміки чисельності сил учасників військових конфліктів [3], її розвиток [4]. Значне місце посідають так звані військові ігри (ділові,

імітаційні), що ґрунтуються на тих чи інших математичних моделях [5]. На сьогодні створюються та використовуються імітаційні моделі, включно з елементами систем підтримки прийняття рішень з управління військовими діями [5]. Імітаційні моделі військових дій ґрунтуються на моделях Марківських ланцюгів, диференціальних рівнянь, кінцевих автоматів чи на методах розподіленого штучного інтелекту. У роботі колективу українських дослідників [6] розглядається можливість моделювання артилерійських пострілів за допомогою Марківських ланцюгів. Тому розроблення динамічного методу імітаційного моделювання використання бойових ресурсів для протидії висадці морського десанту на основі Марківських ланцюгів є актуальним.

Метою статті є розроблення методу та імітаційної моделі оцінки об'єму снарядів і використаних артилерійських гармат упродовж часу для зупинення висадки морського десанту у складі бригадно-тактичної групи на основі Марківських ланцюгів.

Для досягнення цієї мети необхідно було розв'язати такі завдання:

– розробити імітаційну модель кількості снарядів та використаних артилерійських гармат для протидії висадці морського десанту на основі закону розподілу снарядів під час стрільби, математичної моделі влучення у прямокутник заданої форми, пошуку ймовірності влучення не менше ніж заданої кількості снарядів у ціль за визначеної кількості снарядів залежно від дальності стрільби, обчислення відстаней кожного виду кораблів десанту без зміни курсу;

– розробити на основі Марківського ланцюга динамічний метод імітаційного моделювання використання бойових ресурсів для протидії висадці морського десанту;

– визначити умови для використання імітаційної моделі та динамічного методу для зупинення висадки морського десанту у складі бригадно-тактичної групи.

Виклад основного матеріалу. Імітаційна модель протидії висадці морського десанту складається з таких елементів: а) визначення ймовірності влучення в надводну ціль; б) визначення ймовірності влучення в корабель; в) визначення ймовірності влучення не менше ніж заданої кількості снарядів у ціль за визначеної кількості снарядів залежно від дальності стрільби; г) визначення відстаней кожного виду кораблів без зміни курсу.

Для визначення ймовірності влучення в надводну ціль було прийнято твердження, що снаряди розсіюються за нормальним законом випадкової величини [7; 8] із щільністю розподілу:

$$f(x) = \frac{\rho}{E\sqrt{\pi}} e^{-\frac{\rho^2}{E^2}(x-m)^2},$$

де m – центр розсіювання, $\rho \approx 0,47$, E – ймовірне (серединне) відхилення.

Для визначення ймовірності влучення в корабель використовувалася формула ймовірності влучення у прямокутну область R (див. рис. 1), розміри якої за фронтом і глибиною цілі становлять, відповідно, $2m$ та $2l$:

$$P((x, z) \subset R) = \frac{1}{2} \left[\Phi^* \left(\frac{x+l}{B_\sigma} \right) - \Phi^* \left(\frac{x-l}{B_\sigma} \right) \right] \times \left[\Phi^* \left(\frac{z+m}{B_\delta} \right) - \Phi^* \left(\frac{z-m}{B_\delta} \right) \right],$$

де x та z – віддалення центру розсіювання снарядів від центру цілі за дальністю (x) та в напрямку (z); B_σ , B_δ – бічне ймовірне (серединне) відхилення та ймовірне (серединне) відхилення за дальністю;

$$\Phi^*(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \text{функція Лапласа.}$$

Для спрощення розрахунків було прийнято, що $x = z = 0$, а сторони прямокутника пара-

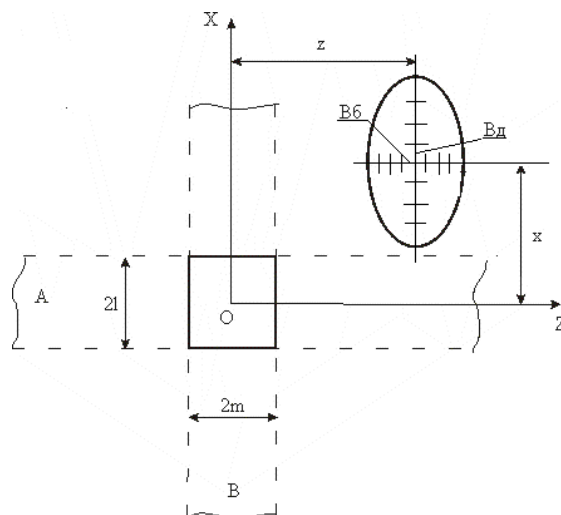


Рис. 1. Схема розрахунку влучення у прямокутник заданих розмірів

Джерело: [8]

лельні координатним осям, тому формула для визначення ймовірності влучення у прямокутник набула такого вигляду:

$$p = \Phi^* \left(\frac{1}{B_\sigma} \right) \times \Phi^* \left(\frac{m}{B_\delta} \right).$$

Для визначення ймовірності влучення не менше ніж заданої кількості снарядів у ціль за визначеної кількості снарядів залежно від дальності стрільби, а саме ймовірності влучення в корабель кожного виду не менше ніж k з n снарядів, використовувалася формула

$$P = 1 - (P_{n,1} + P_{n,2} + \dots + P_{n,k}),$$

де $P_{n,i}$ обчислювалося за законом Бернуллі $P_{n,i} = C_n^i p^i q^{n-i}$.

Надалі розглянемо визначення відстаней кожного виду кораблів без зміни курсу. В основі моделювання динаміки зміни стану сил морського десанту лежать методи моделювання випадкових процесів [9; 10] на базі дискретних ланцюгів Маркова.

Основа принципу Марківських ланцюгів зводиться до того, що розгляд реального випадкового процесу замінюється розглядом системи, яка в деякі моменти часу може випадково переходити в один із властивих їй станів. Загальний набір станів є головною

умовою у вихідних даних для можливості використання ланцюгів Маркова. Така математична модель загалом представляє функціонування тієї формалізованої системи, яка утворює схематизований аналог реального випадкового процесу. Випадковий процес називається Марківським, якщо здатність системи в майбутньому переходити в різні її можливі стани залежить тільки від стану системи в поточний момент та не залежить від того, які переходи зробила система в минулому і як саме перейшла у свій поточний стан.

У задачі, що розглядається, корабель, рухаючись у напрямку берега, наражається на вогонь артилерійських гармат. При цьому вогонь несе вірогідний характер, тому не всі снаряди вражають ціль. Відомо, що корабель зупиняє виконання завдання, коли в нього влучать k снарядів. З фізичної позиції корабель, що рухається, «збирає» потрібну кількість влучань. Ці влучання збираються за певний час на певній відстані, де артилерійські гармати ведуть вогонь. У кожному з інтервалів дальності залежно від швидкості корабля й часу артилерійського вогню можна здійснювати вогонь по умовному прямокутнику заданих розмірів, у якому розташовується корабель. Зрозуміло, що кожне попереднє влучання, що відбулося, жодним чином не пов'язане з наступним влучанням. Прийmemo такі стани системи: S_0 – корабель «знищений»; S_i – корабель перебуває на i -ому інтервалі дальності; p_i – імовірність переходу з робочого стану S_i у стан S_0 ; q_i – імовірність переходу з робочого стану S_i у стан S_{i+1} «корабель збирає снаряди». Розрахунок такого процесу накопичення снарядів математично описується ланцюгом Маркова (див. рис. 2).

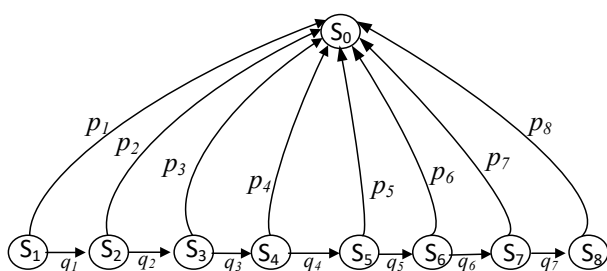


Рис. 2. Ланцюг Маркова для умов і характеристик десантного катера

Джерело: розроблено авторами

Досліджуваний процес є дискретним ланцюгом Маркова, якщо для цього процесу може бути надано такий формальний опис. Є система, яка в кожен момент часу може перебувати в одному з m станів. Зміна системою стану (крок процесу) здійснюється тільки у фіксовані моменти часу. Відомі або можуть бути обчислені ймовірності того, що система, яка до чергового кроку була у стані S_i ($i = 1, 2, \dots, m$), унаслідок цього кроку перейде у стан S_j ($j = 1, 2, \dots, m$). Імовірність, що система виявиться в будь-якому стані за черговий крок процесу, залежить тільки від стану системи до чергового кроку та не залежить від того, як саме система виявилася в цьому стані. Переходи системи в можливі стани становлять повну групу несумісних подій.

Для використання дискретних ланцюгів Маркова оперативно-тактична постановка задачі повинна містити відомості, що дають змогу виявити визначення системи, що розглядається, можливі стани системи, крок процесу та моменти часу здійснення кроків, можливі переходи системи зі стану у стан за один крок, умови початкового стану системи.

У задачі, що розв'язується, систему утворюють корабель одного типу зі своїми властивостями, який має на меті досягнення берегової лінії, при цьому передбачається, що корабель, який отримав певну кількість влучань, надалі не розглядається («знищений»); кількість артилерійських гармат зі своїми властивостями, які ведуть вогонь із метою недопущення досягнення берегової лінії кораблями противника; передбачається, що відсутнє обмеження на використання снарядів.

Динамічний метод імітаційного моделювання для розв'язання завдання протидії полягає в послідовному виконанні п'яти кроків.

Крок 1: моделюється перетин зони досягнення артилерійських пострілів кожним кораблем. Для цього з огляду на розміри корабля визначається ймовірність влучання в нього на кожному з інтервалів дальності.

Крок 2: розраховується ймовірність k влучань у нього за заданої кількості артилерійських гармат та із заданою витратою снарядів. При цьому враховується припущення, що за умови загороджувального вогню корабель «отримує» снаряди, проходячи три еліпси розсіювання.

Крок 3: час моделювання розраховується з таких міркувань: t хвилин ведеться вогонь та q хвилин ведеться зміна налаштувань прицілювання. З огляду на вказаний інтервал часу та швидкість кожного з кораблів визначаються зони, тобто інтервали відстаней, на кожному з яких імовірні (середні) відхилення мають сталі значення. Кількість таких інтервалів і визначає кількість станів у ланцюзі Маркова. За допомогою отриманого ланцюга Маркова обчислюється необхідна кількість перетини зони досягнення артилерійських пострілів кожним видом кораблів.

Крок 4: для кожного виду кораблів обчислюється час влучання снарядом у зони.

Крок 5: за даними розрахунків кроку 4 отримуються загальні об'єми кількості застосованих гармат та витрачених снарядів.

Для використання вищезазначеного методу попередньо необхідно прийняти низку граничних умов і таких вихідних значень характеристик кораблів десанту та артилерійських гармат:

- мінімальна кількість влучених снарядів у кожний вид корабля для зупинення його дії (проте не знищення) наведена в таблиці 1;

- імовірні (серединні) відхилення снарядів залежно від дальності стрільби наведені в таблиці 2, кількість інтервалів дальності відповідає умові «перехід на наступний інтервал відбувається, коли поточне значення B_0 змінюється на 30 %» [11];

- завдання зупинки десанту виконує артилерійська батарея калібру 152–155 мм;

- розрахунки проводяться за прийнятими умовами для кожного виду кораблів окремо;

- якість розвідки не враховується;

- не враховується вогнева відповідь десанту;

- враховується, що корабель вогневої підтримки завжди перебуває на дальності від 26,5 до 16,7 км, де ймовірність враження дуже мала. Прийнято, що по кораблю вогневої підтримки ведеться загороджувальний вогонь для неможливості виконання ним завдання вогневої підтримки.

Результати моделювання. Розглядалося завдання знищення морського десанту в кількості однієї бригадно-тактичної групи або зупинення його висадки. Ця група забезпечується десантним кораблем (далі – ДК), кораблем вогневої підтримки (далі – КВП),

десантним катером (далі – ДКа), морським тральщиком (далі – МТЩ). Характеристики кораблів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1
Характеристики кораблів морського десанту та мінімальна кількість снарядів для зупинення їх дії

№ з/п	Найменування об'єкта	Кількість	Довжина, м	Ширина, м	Швидкість, км/год	Кількість снарядів для ураження (k)
1	Десантний корабель, пр. 775 (1171)	12	113,1	15,6	29,6	10
2	Корабель вогневої підтримки, пр. 21631-М	4	74,1	11	46,25	10
3	Морський тральщик	8	61	10,2	16,65	2
4	Десантний катер, пр. 21820	6	45	8,6	64,75	1

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 2
Імовірні (серединні) відхилення снарядів залежно від дальності стрільби

$x = z = 0$	Заряд	Інтервали дальності		B_0	B_0
		a_i	b_i		
1	Повний	20,6	26,5	89	13
2	Повний	15,2	20,6	62	7,3
3	Повний	13	15,2	43	4,4
4	Зменшений	9	13	30	4
5	Другий	7,4	9	20	2,9
6	Другий	6	7,4	17	2,2
7	Повний Прямий	3,5	6	32	1,6
8	Повний Прямий	2	3,5	36	0,9

Джерело: розроблено авторами, [11]

Для знищення морського десанту застосовуються артилерійські гармати, характеристики яких представлені в таблиці 3.

Таблиця 3
Характеристики артилерійських гармат

№ з/п	Технічні характеристики	Гармата 152–155 калібру
1	Візуальна прицільна дальність стрільби, м	до 10 000
2	Ефективна дальність стрільби, м	40 000
3	Бойова скорострільність, снарядів/хв	5
4	Час на перезарядку та прицілення, хв	2

Джерело: розроблено авторами

Першим етапом моделювання є визначення кількості артилерійських гармат у поточному часі та кількості використаних снарядів під час операції на кожному інтервалі у прийнятій моделі десантної операції. Така модель складається з послідовності, часу руху кожної кількості кораблів на рівні бригадно-тактичної групи (див.

табл. 4). Порядок дій кораблів різних видів та їх кількість під час виконання операції висадки морського десанту наведено в таблиці 5.

У таблиці 6 представлено результати моделювання ймовірностей влучання для кожного виду кораблів десанту на контрольних інтервалах дальності під час проведення морської операції.

Таблиця 4

Час та етапи проходження десантної операції

Етап	Оперативний час	Елементи етапу
1	-00.60-0.60	Перехід десантного загону
2	-00.00-0.60	Тактичне розгортання кораблів
3	+00.00-1.22	Пророблення проходів у мінних загородах до ізобати 5 м
2	+00.30-00.40	Перехід від вихідної лінії до району вогневих позицій
4	+00.40-00.55	Вогнева підготовка висадки
5	+00.55-02.55	Вогнева підтримка висадки
6	+00.35-01.22	Перехід 1-ї хвили ДК від вихідної лінії до ізобати 5 м
7	+00.40-01.00	Перехід ДКа від вихідної лінії до ізобати 5 м
8	+01.00-01.22	Пророблення проходів у протидесантних загородах від ізобати 5 м та висадка передових загонів
9	+01.22-01.42	Здійснення висадки 1-го ешелону морського десанту
10	+01.00-01.46	Перехід 2-ї хвили ДК від вихідної лінії до ізобати 5 м
11	+01.46-02.06	Здійснення висадки 2-го ешелону морського десанту
12	+01.22-02.06	Перехід 3-ї хвили ДК від вихідної лінії до ізобати 5 м
13	+02.10-02.30	Здійснення висадки 3-го ешелону морського десанту

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 5

Порядок дій кораблів різних видів під час виконання операції висадки морського десанту

Підрозділи	Засоби	Номер етапу												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ТГр КВП № 1	2 КВП													
ТГр КВП № 2	2 КВП													
КТГ № 1	4 МТЩ													
КТГ № 2	4 МТЩ													
Загін морської піхоти № 1	3 ДКа													
Загін морської піхоти № 2	3 ДКа													
КДГ № 1	4 ДК													
КДГ № 2	4 ДК													
КДГ № 3	4 ДК													

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 6

Результати моделювання ймовірностей влучання для кожного виду кораблів десанту на кожному з інтервалів дальності морської операції

Вид корабля	Інтервали дальності							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Імовірність влучання в разі пострілу одним снарядом								
Дка	0,02	0,06	0,14	0,21	0,38	0,51	0,34	0,33
КВП	0,05	0,12	0,26	0,38	0,63	0,78	0,55	0,51
МТЩ	0,04	0,09	0,21	0,31	0,53	0,68	0,46	0,43
ДК	0,10	0,24	0,48	0,65	0,88	0,96	0,77	0,71
Імовірність k влучань								
Дка	0,98	0,98	1,00	1,00	1,00	0,99	0,84	0,52
КВП	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-
МТЩ	0,97	0,98	1,00	1,00	1,00	0,99	0,79	0,32
ДК	0,03	0,07	1,00	1,00	1,00	0,96	0,18	0,00

Джерело: розроблено авторами

Результати моделювання враховували для кожного виду кораблів перебування на кожному інтервалі проведення десантної операції, наведеному в таблиці 2.

Варто зазначити, що розрахунки на інтервалах дальності з 1 по 6 включно моделювалися як груповий загороджувальний вогонь по цілі з урахуванням таких чинників:

- геометричні розміри умовного прямокутника, по якому ведеться вогонь для знищення корабля на кожному з інтервалів дальності, приймалися так, щоб еліпси розсіювання не перетиналися (див. рис. 3);
- на інтервалах дальності 7 та 8 було враховано, що вогонь ведеться прямою наводкою;
- розрахунок для інтервалів 1–6 здійснювався за умови, що корабель перетинає центри трьох еліпсів розсіювання, які утворюються артилерійськими залпами.

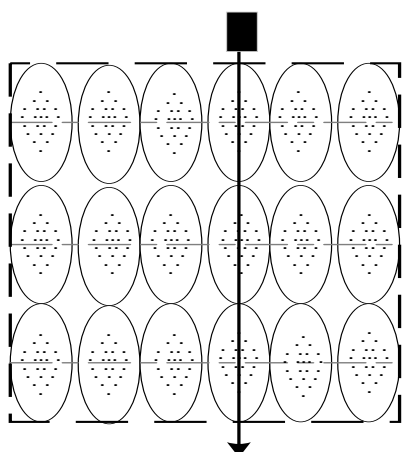


Рис. 3. Умовний прямокутник групового загороджувального вогню

Джерело: розроблено авторами

Для моделювання потрібного об'єму снарядів та артилерійських гармат розглянемо типові стани системи ланцюга Маркова на прикладі його застосування для враження ДКа: S_i – стан корабля (див. рис. 2). У прикладі, що розглядається, S_0 – стан «знищення»; S_i ($i = 1...7$) – стани «корабель збирає снаряди», які відбуваються під час проходження i -го умовного прямокутника; S_8 – стан досягнення кораблем берегової лінії.

Варто зауважити, що кількість станів для кожного виду кораблів різна, оскільки залежить від їх швидкості.

У задачі кроком процесу є сума часу, який витрачається на артилерійський вогонь та зміну налаштувань прицілів артилерійських гармат.

Переходи з одного стану в інший задаються матрицею переходів, яка утворюється з імовірностей за умовою, визначеною формулою. Матриця для ДКа має такий вигляд:

$$D = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,516 & 0 & 0,484 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,842 & 0 & 0 & 0,158 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,842 & 0 & 0 & 0 & 0,158 & 0 & 0 & 0 \\ 0,999 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,001 & 0 & 0 \\ 0,984 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,016 & 0 \\ 0,987 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,013 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Стани системи надалі описуються матрицею рядком, кожен i -ий елемент якого дорівнює поточній імовірності стану S_i . Наприклад, за початковий стан $\Pi_0 = (0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$ системи було прийнято умову, яка полягає в тому, що ймовірність стану S_1 дорівнює 1, а інші дорівнюють до нуля. Далі для знаходження інших станів використовується формула:

$$\Pi_{i+1} = \Pi_i \times S, \quad i = \overline{0...7}.$$

Результати розрахунку представимо в таблиці 7.

У такий спосіб розраховуються всі можливі поточні стани Π_i до першого досягнення ймовірності стану $S_0 \geq 0,95$. Для ДКа з вказаним вище початковим станом отримано такі матриці станів, які дають змогу зробити висновок, що корабель повинен перетнути три умовні прямокутники (див. рис. 3):

$$\Pi_1 = (0,516 \ 0 \ 0,488 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$\Pi_2 = (0,923 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,077)$$

$$\Pi_3 = (0,988 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,012 \ 0 \ 0).$$

Початковий стан Π_0 системи змінювався для кожного виду кораблів залежно від дальності, на якій було зроблено перший постріл. Такий підхід дав змогу отримати повні дані проходження десантної операції.

Таблиця 7
 Результати моделювання кількості бойових ресурсів для зупинення десантної операції

Час, хв	Кількість гармат на кожен вид кораблів				Усього гармат	Усього снарядів
	МТЩ	ДК	Дка	КПВ		
2	18	0	0		18	180
6	18	0	0		18	180
10	18	0	0		18	180
14	18	0	0		18	180
18	18	0	0		18	180
22	18	0	0		18	180
26	18	0	0		18	180
30	18	0	0	18	36	360
34	18	0	0	18	36	360
38	18	18	0	18	54	540
42	18	18	18		54	540
46	18	18	18		54	540
50	18	18	18		54	540
54	18	18	18		54	540
58	18	18	0	18	54	540
62	0	36	4		40	400
66	0	36	0	18	54	540
70	0	36	0	18	54	540
74	0	36	0	18	54	540
78	0	36	0	18	54	540
82	0	18	0	18	36	360
86	0	18	0	18	36	360
90	0	18	0	18	36	360
94	0	18	0	18	36	360
98	0	18	0		18	180
102	0	18	0		18	180
Усього						9580

Джерело: розроблено авторами

На другому етапі моделювання протидії десантній операції було отримано результати щодо кількості необхідних бойових ресурсів на кожному інтервалі часу за умови, що на кожен вид кораблів застосовувався один дивізіон із 18 гармат (швидкострільність – 5 снарядів за хвилину), час для прицілювання – 2 хв.

Оскільки під час моделювання виявлено, що за умови, що КВП завжди перебуває на дальності від 26,5 до 16,7 км, імовірність влучання дуже мала, то було прийнято, що умову ураження КВП ($k = 10$) необхідно замінити умовою втрати КВП здатності вести вогонь. Для цього враховувалися періодичні постріли по кораблях цього виду.

Висновки. Для визначення необхідних кількісних характеристик протидії сухопутної артилерії діям морського десанту було проведено моделювання, у якому ймовірність влучання в корабель розраховувалася залежно від таких вихідних даних: дальності пострілу, характеристик корабля та виду стрільби на різних інтервалах дальності. Кількість влучань залежно від прийнятих вихідних даних має випадковий циклічний характер. Тому влучання снаряду в ціль є випадковим процесом, що дало можливість використовувати ланцюг Маркова. Задача розглядалася без обмеження на кількість використаних снарядів. Для збільшення ймовірності зупинення десантної операції противника необхідно виконати певні дії. З одного боку, потрібно збільшити швидкострільність артилерійських гармат, суттєво підвищити якість розвідки та якість стрільби (влучання), що дасть змогу збільшити ймовірність влучання в умовах обмеженої кількості снарядів. З іншого боку, збільшення кількості артилерійських гармат та їх можливе зведення в єдину автоматизовану систему керування вогнем дасть можливість починати знищувати кораблі противника на менших відстанях, що дасть змогу ще більше підвищити ймовірність виконання бойового завдання та зменшити об'єм використаних снарядів. Надалі необхідно розглянути розв'язання саме такої оптимізаційної задачі.

Література:

1. Algorithmic Game Theory / eds. : N. Nisan, T. Roughgarden, E. Tardos, V.V. Vazirani. New York : Cambridge University Press, 2009. 776 p. URL: <https://www.cs.cmu.edu/~sandholm/cs15-892F13/algorithmic-game-theory.pdf>.
2. Новиков О.М., Новиков Д.О. Методология. Синтез, 2007. 668 с.
3. Lanchester F.W. Aircraft in Warfare: the Dawn of the Fourth Arm. London : Constable and Co, 1916. 243 p. URL: <https://ia802608.us.archive.org/9/items/aircraftinwarfar00lancrich/aircraftinwarfar00lancrich.pdf>.
4. Dupuy T.N. Understanding War: History and Theory of Combat. 2nd ed. Hauppauge : Nova Publishers, 1998. 312 p.
5. Dunnigan J.F. The Complete Wargames Handbook: How to Play, Design, and Find Them. New York : Quill, 1992. 333 p.
6. Devising a method for improving the efficiency of artillery shooting based on the Markov model / V.O. Boltenev, O.I. Brunetkin, Ye.V. Dobrynin, O.B. Maksymova, V.V. Kuzmenko, P.S. Gultsov, V.E. Demydenko,

O.V. Soloviova. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol 6. № 3(114). P. 6–17. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245854>.

7. Алексеев О.Г., Анисимов В.Г., Анисимов С.Г. Марківські моделі бою : навчальний посібник. 1985. С. 8.
8. Вентцель Є.С. Теорія ймовірностей : підручник для вузів. 6-те вид., стереотип. Вища школа, 1999. 576 с.
9. Математичні моделі бойових дій / П.М. Ткаченко та ін. 1969. 240 с.
10. Kemeny, J.G., Snell, J.L.: *Finite Markov Chains*. Springer, New York, 1960.
11. Таблиці стрільби для рівнинних і гірських умов 152-мм самохідної гармати 2С5 і 152-мм причіпної гармати 2А36, ТС РГ № 273. Осколково-фугасний снаряд ОФ29 : навчальний посібник. Львів : Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, 2017. 207 с.

References:

1. Nisan, N., Roughgarden, T., Tardos, E., Vazirani, V.V. (eds.) (2009). *Algorithmic Game Theory*. New York: Cambridge University Press, 776 p. Retrieved from: <https://www.cs.cmu.edu/~sandholm/cs15-892F13/algorithmic-game-theory.pdf> [in English].
2. Novykov, O.M., Novykov, D.O. (2007). *Metodolohiia [Methodology]*. Synteh, 668 p. [in Ukrainian].
3. Lanchester, F.W. (1916). *Aircraft in Warfare: the Dawn of the Fourth Arm*. London: Constable and Co, 243 p. Retrieved from: <https://ia802608.us.archive.org/9/items/aircraftinwarfar00lancrih/aircraftinwarfar00lancrih.pdf> [in English].
4. Dupuy, T.N. (1998). *Understanding War: History and Theory of Combat*, 2nd ed. Hauppauge: Nova Publishers, 312 p. [in English].
5. Dunnigan, J.F. (1992). *The Complete Wargames Handbook: How to Play, Design, and Find Them*. New York: Quill, 333 p. [in English].
6. Boltenkov, V.O., Brunetkin, O.I., Dobrynin, Ye.V., Maksymova, O.B., Kuzmenko, V.V., Gultsov, P.S., Demydenko, V.E., Soloviova, O.V. (2021). Devising a method for improving the efficiency of artillery shooting based on the Markov model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol 6, no. 3(114), pp. 6–17. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245854> [in English].
7. Alekseiiev O.H., Anisimov V.H., Anisimov Ye.H. (1985). *Markivski modeli boiu: navchalnyi posibnyk [Markov models of combat: a tutorial]*. 85 p.
8. Venttsel Ye.S. (1999). *Teoriia ymovirnostei: pidruchnyk dlia vuziv. 6-te vyd. [Probability theory: a textbook for universities. 6th edition]*. Vyscha shkola, 576 p.
9. Tkachenko P.M. *Matematychni modeli boiovykh dii [Mathematical models of combat operations]* 1969. 240 p. [in Ukrainian].
10. Kemeny, J.G., Snell, J.L. (1960). *Finite Markov Chains*. Springer, New York [in English].
11. n. a. (2017). *Tablytsi strilby dlia rivnynykh i hirskykh umov 152-mm samokhidnoi harmaty 2С5 i 152-mm pry-chipnoi harmaty 2А36, ТС РГ № 273. Oskolkovo-fugasnyi snariad ОФ29: navchalnyi posibnyk [Firing tables for plain and mountain conditions of the 152-mm self-propelled gun 2С5 and 152-mm towed gun 2А36, ТС РГ № 273. High-explosive fragmentation projectile ОФ29: training manual]*. Lviv: Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, 207 p. [in Ukrainian].