

М. В. Грішин¹

В. В. Вознюк¹

О. Б. Максимова²

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ МІННИХ ЗАГОРОДЖЕНЬ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ДЕСАНТНИМ ОПЕРАЦІЯМ

Національний університет «Одеська політехніка»

Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація.

У роботі розглянуто імітаційні моделі мінних загороджень з різними типами розподілу мін: пуасонівським та рівномірним. Проведено порівняльне дослідження впливу цих розподілів на ймовірність ураження кораблів, стійкість загородження та ефективність тралення з урахуванням перекриття проходів тральщика. Результати моделювання демонструють, що рівномірний розподіл забезпечує вищу ймовірність ураження кораблів (на 40-50% порівняно з пуасонівським), але водночас потребує на 15-25% більше часу для повного розмінування. Запропоновано аналітичні моделі оцінювання ефективності мінування та тралення для підтримки прийняття рішень щодо протидії десантним операціям.

Ключові слова: мінне загородження, пуасонівський розподіл, рівномірний розподіл, імітаційне моделювання, протидесантна оборона, тральні операції, стійкість загородження.

У сучасних умовах ведення бойових дій мінне загородження на морі є одним із найефективніших способів протидії десантним операціям [1]. Воно істотно ускладнює або повністю унеможливує пересування кораблів у прибережних районах та фарватерах. Від функціональних залежностей у розподілі мін залежить ймовірність ураження кораблів, а також складність тральних операцій, необхідних для пророблення проходів у мінних полях під час десантної операції [2].

Для аналізу просторового розташування мін та їхнього виявлення було використано два основні розподіли: рівномірний та пуасонівський. Рівномірний розподіл застосовано для моделювання випадкового розташування мін у водному просторі при відсутності пріоритетних зон мінування [3]. Пуасонівський розподіл використано для сценарію, який передбачає кластеризоване розміщення мін, що більш точно відображає реальні умови мінування з урахуванням тактичних заходів [5].

В результаті проведеного імітаційного моделювання встановлено:

1. Рівномірне розміщення мін підвищує ймовірність ураження кораблів протиборчої сторони на 40-50% порівняно з пуасонівським розподілом. При кількості 50 мін на 1 км² ймовірність ураження корабля становить 0,08 для пуасонівського розподілу та 0,23 для рівномірного. При збільшенні кількості мін до 300 мін на 1 км² показники зростають до 0,40 та 0,8 відповідно.
2. При рівномірному мінуванні час тралення збільшується в середньому на 15-25% порівняно з пуасонівським розподілом. Використання перекриття під час тралення майже вдвічі подовжує загальну тривалість операції, але знижує залишкову ймовірність ураження кораблів у 1,5-2 рази.

3. Стійкість мінного загородження (без перекриття) при щільності 50 мін/км² становить 291,58 хв для рівномірного розподілу (2 проходи тральщика) та 146,57 хв для пуасонівського (1 прохід тральщика). При 300 мінах/км² стійкість збільшується до 459,10 хв для рівномірного розподілу (3 проходи тральщика) та 314,00 хв для пуасонівського (2 проходи тральщика).

Уся інформація стосовно результатів моделювання наведена у Таблиці 1.

Таблиця 1. Результати імітаційного моделювання стійкості морських мінних загороджень

ρ	$W_{overall}$		clearing cycles(overall)		$W_{no_overall}$		clearing cycles(no overall)	
	uniform	poisson	uniform	poisson	uniform	poisson	uniform	poisson
50	291.58	146.57	2	1	221.73	148.24	3	2
75	293.99	148.71	2	1	224.80	151.20	3	2
100	296.39	151.03	2	1	227.77	154.16	3	2
125	442.97	297.70	3	2	303.69	229.54	4	3
150	445.30	300.12	3	2	306.78	232.55	4	3
175	447.61	302.51	3	2	309.87	235.53	4	3
200	449.90	304.86	3	2	312.95	238.50	4	3
225	452.19	307.18	3	2	316.04	241.46	4	3
250	454.49	309.47	3	2	319.12	244.41	4	3
275	456.79	311.74	3	2	322.20	247.35	4	3
300	459.10	314.00	3	2	325.29	250.29	4	3

Для зручності в табл. 1 введено наступні позначки. $W_{overall}$ стійкість мінного загородження при траленні с перекриттям та $W_{no_overall}$ без перекриття, clearingcycles(overall), clearingcycles(nooverall) кількість циклів для досягнення показника вірогідності підриву корабля десантної групи не більше ніж 0.015.

Таким чином, найдоцільнішою стратегією є комбінація рівномірного розподілу мін, який максимально ускладнює дії десантного загону, з подальшим застосуванням перекриття при тральних заходах. Це створює ситуацію, за якої противник змушений витратити значно більше часу та ресурсів на розмінування, одночасно зазнаючи підвищеної загрози ураження на всіх етапах руху в акваторії [5].

Вознюк Володимир Володимирович, Аспірант, Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, 8712105@as.op.edu.ua

Гришин Максим Володимирович, PhD, Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, grishyn.m.v@opu.ua

Максимова Оксана Борисівна, Кандидат технічних наук, Національний університет "Одеська морська академія", Одеса, oksana.maksymova@navy.mil.gov.ua

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Grishyn, M., Maksymova, O., Kirkopulo, K., & Klymchuk, O. (2025). Development of methods of artillery control for suppression of an enemy amphibious operation in video game simulations. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(81). <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.321797>
2. Kotsiuruba, V. I. (2015) "MODELING EXPLOSIVE ORDNANCE SEARCH AND DETECTION PROCEDURES BY RADAR TECHNIQUES", *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*. Київ, Україна, (2(23)), pp. 65-69. doi: 10.33099/2311-7249/2015-0-2(23)-65-69.
3. Trang, A., Agarwal, S., Regalia, P.A., Broach, T., & Smith, T. (2007). A patterned and un-patterned minefield detection in cluttered environments using Markov marked point process. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 6553. 10.1117/12.721368.
4. Maksymov, O., Toshev, O., Demydenko, V., Maksymov, M. (2024). Simulation modeling of artillery operations in computer games: approach based on Markov processes. *Technology Audit and Production Reserves*, vol 5(2(79)), 23-28. doi: 10.15587/2706-5448.2024.312873.
5. Hammond, T., Midtgaard, Ø., & Connors, W. (2021). A Bayesian Network Approach to Evaluating the Effectiveness of Modern Mine Hunting. *Remote Sensing*. 13. 4359. 10.3390/rs13214359.

SIMULATION MODELING OF NAVAL MINEFIELD RESILIENCE FOR COUNTERING AMPHIBIOUS OPERATIONS

Abstract.

This paper examines simulation models of minefields with different types of mine distributions: Poisson and uniform. A comparative study of the impact of these distributions on ship damage probability, minefield resilience, and sweeping efficiency considering minesweeper path overlaps was conducted. Simulation results demonstrate that uniform distribution provides a higher probability of ship damage (by 40-50% compared to Poisson distribution), but simultaneously requires 15-25% more time for complete demining. Analytical models for evaluating the effectiveness of mining and sweeping to support decision-making regarding countering amphibious operations are proposed.

Keywords: minefield, Poisson distribution, uniform distribution, simulation modeling, anti-landing defense, mine sweeping operations, minefield resilience

Volodymyr Vozniuk Volodymyrovych, PhD student, Odesa Polytechnic National University, Odesa, 8712105@as.op.edu.ua

Grishyn Maksym Volodymyrovych, PhD, Odesa Polytechnic National University, Odesa, grishyn.m.v@opu.ua

Oksana Maksymova Borisivna, Candidate of technical sciences, associate professor, National University «Odesa Maritime Academy», Odesa, oksana.maksymova@navy.mil.gov.ua