

УДК 004.8:793.7

DOI: 10.31673/2412-9070.2025.018463

**В. В. КАРАСОВСЬКИЙ**, студент;

ORCID: 0009-0001-5736-1304

**О. А. ДІБРІВНИЙ**, PhD, доцент,

ORCID: 0009-0007-8881-359X

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ВОРОЖИМИ СИЛАМИ У ІГРАХ TOWER DEFENCE

*Проведено аналіз ефективності використання штучного інтелекту для керування ворожими силами у іграх жанру Tower Defence. Дослідження зосереджується на оцінці потенціалу та переваг штучного інтелекту в оптимізації геймплею даного жанру.*

*Було розглянуто сучасні методи та алгоритми, а також результати експериментів щодо покращення складності та динаміки гри за допомогою штучного інтелекту. Висвітлюються перспективи подальшого використання штучного інтелекту для покращення ігрового досвіду в Tower Defence.*

**Ключові слова:** штучний інтелект; Tower Defence; управління ворожими силами; алгоритм машинного навчання; Partial Enumeration Optimization Method (PEOM); аналіз ефективності застосування штучного інтелекту.

### Вступ

У сучасному світі відеоігор, штучний інтелект відіграє все більш значущу роль у підвищенні рівня геймплейної складності та реалізму. Його використання стає не лише можливістю покращення ігрового досвіду, але й ефективним інструментом для оптимізації стратегічного планування та управління ворожими силами у жанрі Tower Defence (TD). TD, як жанр, відомий своєю потребою у стратегічному мисленні, швидкому прийнятті рішень та управлінні обмеженими ресурсами. У цьому контексті впровадження штучного інтелекту може стати краєвидним кроком у розвитку ігор цього жанру.

**Аналіз останніх наукових досліджень** у галузі використання штучного інтелекту у іграх жанру Tower Defence показують значні результати, які допомагають покращити якість геймплею. Згідно з аналізом, штучний інтелект може забезпечити ворожим силам різноманітні стратегії та тактики, що робить гру більш цікавою та викликає більше емоцій у гравців. Однак існує ризик непередбачуваних помилок та неефективних стратегій, тому постійне вдосконалення алгоритмів та методів використання штучного інтелекту є важливим для досягнення оптимальних результатів у іграх жану Tower Defence.

У 2021 році Yueming Xu та Tetsuro Tanaka вирішили спробувати створити гру Tower Defence, використовуючи алгоритми машинного навчання [1]. Цей експеримент мав на меті вивчити можливості застосування штучного інтелекту в геймдеві. Однак, отримані результати виявилися незадовільними. Виявилися проблеми з балансуванням гри, що призводило до невідповідності між рівнями складності та створенням цікавих геймплейних ситуацій. Такі труднощі підкреслили важливість не лише використання алгоритмів машинного навчання, але й їх правильного налаштування та взаємодії з елементами гри.

У статті "Computational Intelligence and Tower Defence Games" [2] автори дослідили потенціал використання обчислювального інтелекту у відеоіграх жанру Tower Defence. Вони зазначають, що TD-ігри є популярними та простими у програмуванні, що робить їх прекрасною платформою для тестування нових алгоритмів штучного інтелекту. Такі ігри також пропонують різноманітні виклики, що стимулює розробників до створення складних рівнів та штучного інтелекту противників. Автори описують декілька підходів до використання штучного інтелекту у TD-іграх, зокрема розробку алгоритму, який динамічно розміщує вежі на карті.

© Карасовський В. В., Дібрівний О. А., 2025

Дослідження показало, що використання алгоритму штучного інтелекту може значно покращити продуктивність гри порівняно з традиційними методами. Крім того, автори розглядають інші застосування AI у TD-іграх, такі як створення нових складних рівнів та розробка TD-агентів.

Diogo Miguel та João Paulo у своїй роботі "A Novel Procedural Content Generation Algorithm for Tower Defense Games" [3] пропонують використовувати метод підкріплення навчання (RL) для навчання агентів, які контролюють ворогів. Автори описують два експерименти. У першому експерименті вони досліджують, як RL може використовуватися для навчання агентів штучного інтелекту вибирати найкращі маршрути до бази гравця. У другому експерименті вони досліджують, як RL може використовуватися для навчання агентів атакувати базу гравця більш ефективно. Результати дослідження показали, що RL може використовуватися для створення адаптивних ворогів, які значно складніші, ніж вороги, створені традиційними методами.

При цьому, досліджуючи використання штучного інтелекту в TD, потрібно також ставити перед собою завдання виявлення потенційних викликів та обмежень, які можуть виникнути у процесі впровадження. Зокрема, ми звернемо увагу на питання балансу між гравцем та комп'ютером, вплив на геймплейну складність, а також можливість ефективного навчання штучного інтелекту в умовах, де гра стикається з постійною змінністю та непередбачуваністю.

Враховуючи зростаючий інтерес до TD як жанру та стрімкий розвиток технологій у сфері штучного інтелекту, це дослідження є важливим кроком у напрямку розуміння можливостей оптимізації геймплейного досвіду. Наша робота може стати цінним джерелом інформації для розробників відеоігор, які прагнуть вдосконалити свої продукти за допомогою передових технологій штучного інтелекту.

**Метою дослідження** є аналіз ефективності застосування штучного інтелекту для управління ворожими силами у іграх жанру Tower Defence. Основні завдання даного дослідження включають:

- оцінку поточних стратегій управління ворожими силами у іграх Tower Defence та виявлення їхніх переваг і недоліків;
- дослідження інноваційних підходів до використання штучного інтелекту для оптимізації управління ворожими силами;
- визначення оптимальних стратегій використання штучного інтелекту для досягнення найкращих результатів у іграх жанру Tower Defence;
- розробити алгоритм штучного інтелекту, оснований на методі Partial Enumeration Optimization Method (PEOM), який призначений для управління ворожими силами в іграх жанру Tower Defence.

### *Основна частина*

Для управління ворожими силами у іграх жанру Tower Defence було розроблено та впроваджено новий алгоритм, що використовує штучний інтелект. Цей алгоритм дозволяє ворожим силам приймати більш обдумані рішення під час гри, реагуючи на дії гравця та змінюючи свою стратегію залежно від обставин і стилю гри гравця. Проведені дослідження показали, що використання штучного інтелекту значно підвищує складність та динаміку гри, роблячи її більш захоплюючою для гравців.

На першому етапі дослідження було вивчено наявні методи створення типів поведінки ворога Tower Defence та виявлено їх обмеження. В результаті для подальшої розробки алгоритму був обраний Partial Enumeration Optimization Method (PEOM) через швидке та ефективне знаходження оптимальних налаштувань гри, зменшуючи обсяг необхідних обчислень та ресурсів, що потрібні для тестування різних варіантів [4]. Далі був розроблений алгоритм поведінки штучного інтелекту за етапами прогресу рівня, який не лише забезпечує створення варіативних та цікавих гральних сценаріїв, але й враховує фактори балансування складності і задоволення гравців, роблячи гру більш захоплюючою.

Після впровадження алгоритмів штучного інтелекту було проведено серію експериментів для оцінки їх ефективності. Метою експериментів було визначення впливу штучного інтелекту на геймплей та задоволення гравців.

Проведені тести охоплювали різноманітні аспекти гри, включаючи аналіз складності ворожих атак, ефективність виконання стратегій гравця та загальне враження від гри. Результати експериментів демонстрували, що використання штучного інтелекту дозволяє створити більш складні та цікаві ворожі сили, що підвищує інтенсивність гри та сприяє поглибленню іммерсії гравців.

Зокрема, розроблений алгоритм штучного інтелекту дозволяє ворогам адаптуватися до дій гравця, враховуючи його стратегію та обставини на полі бою. Це забезпечує більш складний та непередбачуваний хід подій, що робить гру більш захоплюючою та викликає більший інтерес у гравців.

Використання штучного інтелекту для управління ворожими силами у іграх жанру Tower Defense створює нові можливості для підвищення викликів та цікавості для гравців. Штучний інтелект не лише збільшує складність гри, але й пристосовується до стратегій гравців та реагує на їхні дії у реальному часі. Цей підхід гарантує різноманітні та захоплюючі сценарії гри, що робить ігровий процес більш захоплюючим та задовільним для усіх учасників.

### Обговорення результатів проведеного дослідження

Для розробки алгоритму штучного інтелекту, який керує поведінкою противника у стратегічній грі, був використаний метод Partial Enumeration Optimization Methods, застосований на використанні мови програмування C# у середовищі Unity2D. Алгоритми, побудовані на цьому методі, розглядають послідовність дій, вивчаючи поточний стан окремих частин і досягаючи їхнього кінцевого стану. Після вичерпання встановленого бюджету вибирається послідовність з найвищою придатністю, і перша дія з цієї послідовності виконується у грі. Для відбору оптимальних рішень використовуються еволюційні оператори, такі як кросинговер, мутація та елітарність.

З метою порівняння ефективності розробленого алгоритму з іншими методами управління противником у грі були проведені експерименти. Оцінювалися такі параметри, як рівень стратегічного планування, результативність досягнення перемоги та статистика успіхів. Результати досліджень свідчать, що розроблений алгоритм є ефективним для керування поведінкою

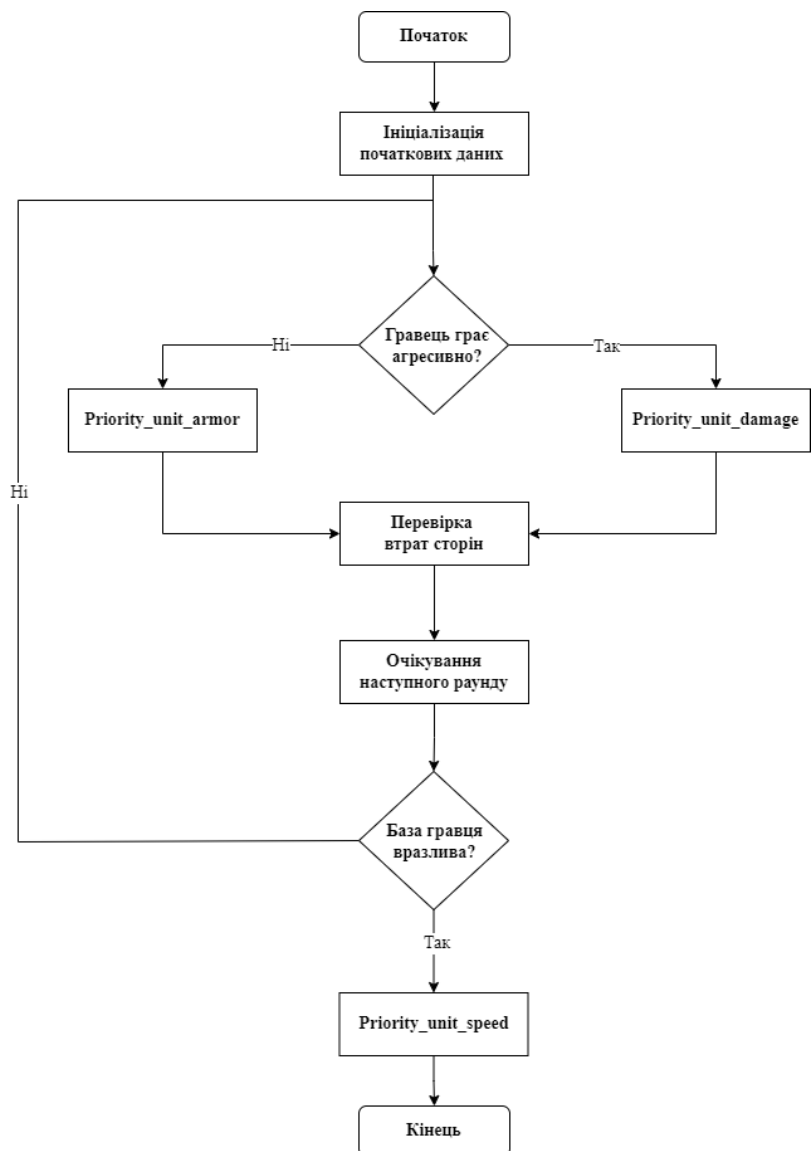


Рис. 1. Аналіз штучного інтелекту до поведінки гравця

противника у стратегічних іграх. У порівнянні з іншими методами, запропонований підхід демонструє швидший прогрес та забезпечує більшу кількість перемог завдяки правильному розподілу ресурсів.

### **Висновки**

За результатами дослідження методів створення штучного інтелекту для супротивників у іграх жанру покрокової стратегії було встановлено, що еволюційні алгоритми Partial Enumeration Optimization Method (PEOM) проявили себе як найбільш продуктивні та успішні порівняно з іншими існуючими підходами. Зокрема, метод PEOM виявився більш ефективним та показав вищу якість роботи порівняно з іншими методами. На основі цього було розроблено алгоритм, що здатний покращити результати роботи та успішно вирішувати поставлені завдання.

У процесі аналізу наявних розробок було виявлено ключові проблеми, пов'язані з передбачуваністю штучного інтелекту супротивника, такі як часті помилки в разі неповної або неточної інформації, обмеженість аналізу розгалужень та складність у керуванні великою кількістю можливих дій.

На основі аналізу теорії та практичного дослідження є доцільним у подальших розробках базуватися на принципі PEOM. Основним завданням у майбутніх роботах буде вдосконалення власного методу генерації сценарію поведінки супротивника в іграх жанру Tower Defense, а отже, виправлення недоліків попередніх методів та покращення результатів гри.

### **Список літератури**

1. Xu Y., Tanaka T. *Procedural content generation for tower defense games: preliminary experiment with reinforcement learning* // *The 26th game programming workshop*. 2021. С. 2–3. (дата звернення: 06.05.2024).
2. Phillipa Avery, Julian Togelius, Elvis Alistar, Robert Pieter van Leeuwen. *Computational Intelligence and Tower Defence Games* // *ResearchGate.net* 2011 С. 1-8. URL: [https://www.researchgate.net/publication/224246975\\_Computational\\_Intelligence\\_and\\_Tower\\_Defence\\_Games](https://www.researchgate.net/publication/224246975_Computational_Intelligence_and_Tower_Defence_Games) (дата звернення: 15.05.2024).
3. Diogo Miguel, João Paulo. *A Novel Procedural Content Generation Algorithm for Tower Defense Games* // *ACM Digital Library* 2022 С. 1-2. URL: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3564982.3564993> (дата звернення: 10.05.2024).
4. Marcus Ansley *Enums (an introduction to enumeration types with Unity)* // *Medium.com* 2021 С. 1-2. URL: <https://m-ansley.medium.com/enums-an-introduction-to-enumeration-types-with-unity-e4340c883da8> (дата звернення: 03.05.2024).

V. Karasovskiy, O. Dibrivny

### **ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO CONTROL ENEMY FORCES IN TOWER DEFENSE GAMES**

*This research paper is devoted to analyzing the effectiveness of using artificial intelligence to control enemy forces in Tower Defense games. In today's gaming world, Tower Defense games play an important role, and the use of artificial intelligence can greatly improve the gameplay and provide a more refined experience for players.*

*The topic of this article is devoted to the analysis of the effectiveness of using artificial intelligence to control enemy forces in tower defense games. The study examines the general characteristics and features of artificial intelligence. The results of the analysis show that the existing methods of shaping enemy behavior have both advantages and disadvantages.*

*A deep analysis of existing methodologies in this field revealed several key problems related to the predictability of enemy artificial intelligence. These problems include frequent errors due to incomplete or inaccurate information, limited opportunities to analyze different decision-making options, and the complexity of managing a large set of potential actions.*

*After a detailed review of both the theoretical foundations and empirical studies, it became clear that the application of the fundamental principles of the partial enumeration optimization method (PEOM) has significant potential for further development. The main goal of future research is to improve the current algorithms developed for creating scenarios of the behavior of opponents in turn-based strategy games. This is aimed at eliminating the shortcomings of previous methodologies and improving the overall efficiency and quality of the gaming experience.*

**Keywords:** Artificial Intelligence; Tower Defense; management of enemy forces; machine learning algorithm; Partial Enumeration Optimization Method (PEOM); analysis of the effectiveness of the use of artificial intelligence.

---