

УДК 681.5

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.3.39>

Д. Р. ЧАНКВЕТАДЗЕ

аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ORCID: 0009-0001-5958-1706

Л. І. ФЕШАНИЧ

кандидат технічних наук, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ORCID: 0000-0002-5156-2199

## ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИРОБНИЦТВО ДРОНІВ: ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ

У статті розглядається сучасний підхід до автоматизації виробництва дронів через інтеграцію новітніх технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ) та гнучких виробничих систем. Важливість ШІ в автоматизації підкреслюється через можливість адаптації виробничих ліній та зменшення витрат завдяки прогнозуванню збоїв і оптимізації процесів на основі аналізу великих даних.

Проаналізовані методи автоматизації, такі як правила навчання нейронних мереж (правило Хебба, "дельта", змагання та градієнтний спуск), використовуються для вдосконалення процесів на різних етапах виробництва. Підходи навчання з підкріпленням, зокрема алгоритм Deep Q-Learning, застосовуються для оптимізації складних виробничих систем, забезпечуючи динамічну адаптацію до непередбачуваних умов.

Система симуляційного моделювання грає ключову роль в оптимізації виробничих процесів, дозволяючи тестувати реакції на зміни умов без реального втручання. Використання фізичних моделей та інтелектуальних систем управління для моніторингу та контролю якості допомагає підвищити ефективність і зменшити кількість дефектів.

Основна увага приділяється застосуванню алгоритмів глибокого навчання, що моделюють принципи роботи нейронних мереж, для підвищення ефективності виробництва та зменшення кількості відмов обладнання. Системи автоматизації, такі як SCADA, DCS, PLC, MES, ERP та роботизовані виробничі системи, демонструють переваги у підвищенні продуктивності та якості виготовленої продукції.

Цей новий підхід до автоматизації виробництва дронів забезпечує значні переваги, включаючи зменшення витрат, підвищення гнучкості та адаптивності, а також поліпшення якості кінцевих продуктів через інтеграцію передових технологій та методів управління.

**Ключові слова:** автоматизація, штучний інтелект, цифрові технології, Deep Q-Learning, виробництво дронів, ефективність.

D. R. CHANKVETADZE

Postgraduate Student

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

ORCID: 0009-0001-5958-1706

L. I. FESHANICH

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

ORCID: 0000-0002-5156-2199

## INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DIGITAL TECHNOLOGIES IN DRONE MANUFACTURING: INNOVATIVE APPROACHES TO ENHANCING EFFICIENCY

The article explores a modern approach to drone manufacturing automation through the integration of cutting-edge technologies, particularly artificial intelligence (AI) and flexible manufacturing systems. The importance of AI in automation is highlighted by its ability to adapt production lines and reduce costs through predictive failure analysis and process optimization based on big data analytics.

The examined automation methods, such as neural network learning rules (Hebb's rule, delta rule, competition, and gradient descent), are utilized to enhance processes at various stages of production. Reinforcement learning approaches, particularly the Deep Q-Learning algorithm, are applied to optimize complex manufacturing systems, providing dynamic adaptation to unpredictable conditions.

*Simulation modeling plays a key role in optimizing manufacturing processes, allowing for testing responses to changing conditions without real-world intervention. The use of physical models and intelligent control systems for monitoring and quality control helps increase efficiency and reduce the number of defects.*

*The focus is on the application of deep learning algorithms that model the principles of neural networks to improve production efficiency and reduce equipment failures. Automation systems such as SCADA, DCS, PLC, MES, ERP, and robotic manufacturing systems demonstrate advantages in improving productivity and product quality.*

*This new approach to drone manufacturing automation provides significant benefits, including cost reduction, increased flexibility and adaptability, and improved quality of end products through the integration of advanced technologies and management methods.*

**Key words:** automation, artificial intelligence, digital technologies, Deep Q-Learning, drone manufacturing, efficiency.

### Постановка проблеми

Сучасний світ швидко розвивається, особливо у виробництві високотехнологічної продукції, як-от дрони. Ключовою умовою розвитку цього сектора є повна автоматизація виробництва з використанням інформаційних технологій і робототехнічних систем. Гнучкі технології дозволяють ефективно адаптувати виробничі процеси для удосконалення існуючих моделей та створення нових.

Автоматизація проектування, виготовлення, складання та управління виробничими процесами підвищує ефективність і якість продукції. Інноваційні технології та моделі промислової автоматизації зменшують фінансові витрати, кількість відходів, покращують безпеку та надійність продукції.

Сучасні методи автоматизації, такі як використання традиційних роботизованих систем і автоматизованих конвеєрів, часто стикаються з обмеженнями в умовах динамічних змін та складності виробничих процесів. Сучасний підхід до автоматизації вимагає інтеграції новітніх технологій, таких як штучний інтелект (ШІ), машинне навчання, і гнучкі виробничі системи, щоб забезпечити адаптивність і підвищити ефективність виробництва дронів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В сучасному світі інформаційні технології вже не просто відображаються у виробництві – вони трансформують його. Інтелектуальне виробництво стає ключовим чинником інтеграції інформаційних технологій з традиційними виробничими галузями. Впровадження промислових роботів на заводах може значно підвищити інтенсивність виробництва, що має особливе значення у серійному та масовому виробництві, таких галузях як автомобільна, металообробна, пластмасова, електронна, електрична та хімічна промисловості.

Інтелектуальне виробництво сприяє інтеграції інформаційних технологій з традиційними виробничими галузями. Впровадження промислових роботів може значно підвищити інтенсивність виробництва. Роботи все частіше використовуються для виконання складних завдань, таких як складання, шліфування, зварювання та пакування, і їх застосування продовжує розширюватися, особливо у серійному та масовому виробництві (автомобільна, металообробна, пластмасова, електронна, електрична та хімічна промисловості).

Для того, щоб сучасне виробництво стало більш гнучким, ефективним, безпечним, надійним та конкурентоспроможним, доцільно застосовувати ефективні моделі компонентно-базових систем промислової автоматизації, які базуються на використанні окремих компонентів (датчиків, контролерів, роботів, мереж). Ці компоненти можуть бути самостійними, але здатні ефективно взаємодіяти між собою за допомогою сучасних мережевих технологій.

Штучний інтелект вже активно впроваджується в покращення виробництва дронів, забезпечуючи значні переваги у вигляді підвищення ефективності, якості і надійності продукції. Ось деякі приклади:

**Оптимізація конструкції:** Використання алгоритмів машинного навчання для генеративного проектування дозволяє автоматично створювати і оцінювати різні варіанти конструкцій дронів. Це сприяє покращенню аеродинамічних характеристик, зменшенню ваги і підвищенню ефективності польоту.

**Проактивне, прогнозне обслуговування:** Системи на основі штучного інтелекту можуть аналізувати великі обсяги даних з сенсорів та прогнозувати час виникнення несправностей чи потребу в технічному обслуговуванні. Це дозволяє планувати ремонти заздалегідь і уникати непередбачених зупинок у виробництві дронів. ШІ обробляє дані вібрації, тепловізійні дані та аналіз оливи для оцінки стану обладнання. Такий підхід також допомагає точно забезпечувати запасні частини та прогнозувати простой для планування виробництва [1].

**Контроль якості:** Використання систем машинного навчання для візуального контролю дозволяє автоматично виявляти дефекти на виробничих лініях. Це значно підвищує якість продукції, зменшує відхилення від стандартів і забезпечує надійність готових дронів.

**Автономний політ:** Розробка алгоритмів штучного інтелекту для автономного польоту дронів дозволяє їм самостійно навігувати, уникати перешкод, оптимізувати маршрути та реагувати на зміни у середовищі. Це робить їх більш ефективними у різних умовах експлуатації.

**Безпечні, продуктивні та ефективні операції:** Виробники використовують колаборативних роботів (коботів) разом із людьми на виробничих лініях. Ці коботи працюють безпечно, виконуючи завдання, такі як підбір

деталей, експлуатація машин і проведення контролю якості. ШІ, керований машинним баченням, відіграє ключову роль у забезпеченні цієї співпраці [1].

**Інтелектуальні, автономні ланцюги постачання:** ШІ, машинне навчання (ML) і аналітика великих даних дозволяють виробникам досягати автономного планування. Це безперервне, повністю автоматизоване планування забезпечує продуктивність ланцюга постачання навіть у нестабільних умовах з мінімальним людським контролем. Агенти ШІ можуть розкласти складні виробничі лінії, оптимізуючи пропускну здатність та мінімізуючи витрати на переналагодження [1].

**Оптимізація виробничої лінії:** Алгоритми ШІ оптимізують виробничі лінії, підвищуючи ефективність і зменшуючи відходи. Ці алгоритми враховують такі фактори, як темпи виробництва, доступність матеріалів і графіки працівників для спрощення операцій [1].

**Забезпечення якості:** Системи контролю якості на основі ШІ виявляють дефекти, забезпечуючи постійну якість продукції. Машинне бачення та алгоритми глибокого навчання виявляють недоліки в режимі реального часу, зменшуючи необхідність у переробці та підвищуючи задоволеність клієнтів [1].

**Розробка нових продуктів:** ШІ допомагає в проектуванні та прототипуванні нових продуктів. Алгоритми генеративного дизайну досліджують безліч варіантів дизайну, оптимізуючи їх для продуктивності, вартості та можливості виробництва [1].

Компанії виробництва дронів використовують аналітику даних для вдосконалення процесів виробництва. Наприклад, DJI використовує дані з виробничих ліній для пошуку пунктів оптимізації та покращення продуктивності. Такі дані допомагають компаніям приймати обґрунтовані рішення щодо управління виробництвом [2].

Компанії, такі як DJI та Parrot, використовують алгоритми штучного інтелекту для оптимізації дизайну дронів. Це включає в себе вибір оптимальних матеріалів, конструкцій та параметрів виробництва для покращення якості та ефективності продукції [3].

Виробники дронів, такі як DJI та Parrot, використовують системи машинного бачення для автоматизованого контролю якості продукції. За допомогою цих систем вони можуть виявляти дефекти на виробничій лінії та уникати виробничих помилок, забезпечуючи високу якість своїх виробів [4].

Компанії виробництва дронів активно інвестують у навчання своїх працівників новим технологіям. Наприклад, DJI має програми навчання для співробітників з програмування, аналізу даних та використання робототехніки в виробництві. Це допомагає забезпечити наявність кваліфікованих кадрів для впровадження технологічних інновацій [5].

Дослідники з Harvard Business Review відзначають, що інтелектуальне виробництво не тільки змінює спосіб, яким ми виробляємо товари, але й відкриває перед підприємствами нові можливості для оптимізації процесів та підвищення продуктивності. Інтеграція штучного інтелекту, аналітики даних та автоматизованих систем стає ключовим фактором конкурентоспроможності [5].

Використання симуляційного моделювання з програмним забезпеченням Flexsim може стати ключовим елементом методу інтегрованого навчання для студентів інформаційно-технологічних спеціальностей. Цей метод спрямований на надання студентам практичних навичок у вирішенні завдань ефективності автоматизованих систем. Студенти отримують можливість експериментувати з різними варіантами налаштувань та параметрів систем, аналізувати результати та вплив різних стратегій на продуктивність та ефективність системи. Такий підхід дозволяє студентам краще розуміти принципи роботи автоматизованих систем та їх вплив на продуктивність виробництва [6].

#### **Формулювання мети дослідження**

Метою роботи є: Дослідити нові підходи до автоматизації виробництва дронів через інтеграцію штучного інтелекту та сучасних технологій машинного навчання. Вона акцентує увагу на потенціалі алгоритмів навчання з підкріпленням, таких як Deep Q-Learning, для оптимізації виробничих процесів у складних і динамічних середовищах. Окремо висвітлюється використання симуляційних технологій для моделювання та тестування виробничих процесів без необхідності реального втручання. Також запропоновано інноваційні методи оптимізації виробничих ліній за допомогою нейронних мереж і правил навчання, що дозволяють автоматизованим системам навчатися на власних помилках і безперервно вдосконалювати процеси.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Автоматизація виробництва дронів вже не є новим поняттям, проте інтеграція новітніх технологій, таких як штучний інтелект (ШІ) та гнучкі виробничі системи, відкриває нові горизонти для підвищення ефективності та якості продукції. У цій статті пропонується новий підхід до автоматизації, який враховує останні досягнення у сфері інформаційних технологій та робототехніки.

ШІ має потенціал кардинально змінити виробництво дронів, автоматизуючи складні завдання та забезпечуючи адаптивність виробничих ліній. Завдяки машинному навчання та аналізу великих даних, виробничі системи можуть самостійно налаштовуватися для досягнення оптимальної продуктивності. Наприклад, алгоритми ШІ здатні аналізувати дані з сенсорів у реальному часі для передбачення можливих збоїв у роботі обладнання та

автоматично налаштовувати виробничі процеси для запобігання простоїв, що в свою чергу зменшить собівартість продукції.

Автоматизація виробництва дронів базується на принципах, схожих до навчання нейронних мереж, де системи постійно вдосконалюються на основі аналізу доступних даних та оптимізації процесів. У цьому випадку автоматизація включає не тільки механізовані процеси, а й алгоритмічне навчання для кращої продуктивності.

Процес автоматизації дронів передбачає, що виробниче середовище постійно оновлюється та оптимізується з урахуванням нових параметрів, отриманих у ході роботи. Відбувається регуляція і налаштування виробничих ліній та обладнання, подібно до того, як у нейронних мережах налаштовуються вагові коефіцієнти для поліпшення результатів.

Під час автоматизації важливо дотримуватися певної послідовності: надходження вхідних даних (наприклад, специфікації деталей або параметри дронів), після чого система автоматизації коригує параметри виробництва, оптимізуючи процес. Внаслідок цього, виробниче середовище адаптується і здатне працювати з новими параметрами більш ефективно.

Система автоматизації використовує різні методи навчання для досягнення поставлених цілей. Це може бути контрольована автоматизація, де система налаштовується відповідно до чітких інструкцій (аналогічно до навчання з вчителем). Неконтрольована автоматизація, як і самонавчання, дозволяє системі самостійно визначати оптимальні шляхи для поліпшення виробничих процесів без чітких інструкцій. Змішана автоматизація поєднує ці два підходи, де частина параметрів контролюється за задалегідь визначеними правилами, а інша частина вдосконалюється за рахунок адаптивного навчання системи.

Ці методи дозволяють виробничим системам дронів бути більш гнучкими та продуктивними, забезпечуючи вищий рівень ефективності порівняно з традиційними виробничими методами.

Для автоматизації виробництва дронів сучасні правила навчання нейронних мереж можуть бути адаптовані для оптимізації процесів на різних етапах виробництва. Аналогічно до навчальних правил для нейронних мереж, автоматизовані системи можуть використовувати різні стратегії для поліпшення продуктивності та точності:

- Правило Хебба для виробництва

У виробництві дронів правило Хебба може застосовуватися для постійного вдосконалення процесів на основі взаємодії між окремими компонентами системи. Наприклад, якщо два виробничі кроки (скажімо, складання корпусу та встановлення електронних компонентів) виконуються успішно та синхронно, взаємозв'язки між цими етапами можуть бути підсилені. Це може привести до підвищення швидкості та зменшення ймовірності дефектів, оскільки системи стають більш узгодженими. Згідно з цим правилом (формула 1.1), якщо на  $k$ -тому кроці навчання два нейрони з виходами  $(x_j, y_i)$  одночасно збуджуються, то вага синаптичного з'єднання між ними збільшується, інакше вага зменшується.

$$\Delta W_{ij}(k) = r * x_j(k) * y_i(k), \quad (1)$$

де  $r$  – коефіцієнт швидкості навчання

- Правило «дельта» для калібрування виробничих процесів

У виробництві дронів правило «дельта» може використовуватися для калібрування та корекції неточностей на різних етапах виробничого процесу. Наприклад, система може аналізувати відхилення у точності деталей дрона і автоматично регулювати відповідні параметри (такі як тиск преса чи швидкість обробки) для зменшення цих відхилень. Це дозволяє знизити похибки і досягти вищої відповідності бажаним результатам.

- Правило змагання для кластеризації виробничих завдань

Метод змагання може бути використаний для оптимізації розподілу завдань між різними автоматизованими машинами на виробничій лінії. Система може змагатись за те, щоб найефективніший ресурс виконував певне завдання, наприклад, найбільш кваліфікований робот буде обиратися для складного складання. Це допомагає підвищити ефективність виробничих процесів, оскільки кожне завдання виконується тим ресурсом, який найкраще підходить для цієї роботи.

- Правило градієнтного спуску для налаштування параметрів

Правило градієнтного спуску може бути використане для поступового вдосконалення різних параметрів виробничого процесу. Наприклад, оптимізація швидкості конвеєра чи температурних режимів під час зварювання може здійснюватися шляхом пошуку мінімальних похибок у вихідних характеристиках дрона.

- Самоорганізовані карти для оптимізації розподілу ресурсів

Самоорганізовані карти можуть бути використані для адаптивного планування і кластеризації завдань на виробничій лінії. Система може автоматично групувати подібні завдання та розподіляти ресурси таким чином, щоб досягати найвищої ефективності, оптимізуючи витрати часу і ресурсів.

Застосування цих правил може зробити виробництво дронів більш гнучким, адаптивним і здатним швидко реагувати на зміни в умовах виробництва та вимогах до кінцевого продукту.

Deep Q-Learning (DQL), розроблений компанією DeepMind, став одним із найбільш значущих досягнень у галузі глибокого навчання з підкріпленням. Його унікальність полягає в поєднанні класичних методів Q-Learning із глибокими нейронними мережами, що дозволяє агентам навчатися вирішувати складні завдання у різних середовищах. У контексті автоматизації виробництва дронів, алгоритм DQL може бути використаний для оптимізації виробничих процесів, забезпечуючи динамічне реагування на непередбачувані умови, що виникають на лінії складання:

- Оптимізація виробничих процесів через навчання з підкріпленням

У виробничому середовищі, яке характеризується високим ступенем мінливості та складності, важливо навчити автоматизовані системи швидко адаптуватися до змін. Класичний Q-Learning базується на оцінці **Q-функції**, яка вимірює очікувану винагороду для кожної пари стан-дія. Це допомагає агенту визначати оптимальні дії у кожному стані. Але коли йдеться про виробничі системи дронів, які мають великий простір станів (наприклад, різні конфігурації деталей дрона, умови середовища тощо), традиційний підхід стає непрактичним через обмеження продуктивності та пам'яті.

Deep Q-Learning використовує глибокі нейронні мережі для апроксимації Q-функції, що дає можливість системам вивчати значно складніші виробничі середовища. Алгоритм навчається визначати, які дії в кожному стані виробничого процесу найефективніші для досягнення кінцевої мети, наприклад, підвищення точності складання або зменшення часу простою на лінії.

- Вирішення проблем складності в автоматизації виробництва дронів

Табличний підхід Q-Learning виявився менш ефективним для складних завдань через такі обмеження:

1. Проблеми продуктивності: Великий простір станів, що виникає у виробничих системах, особливо при роботі з багатьма параметрами дрона (наприклад, компоненти різних розмірів і форм), робить ітеративні операції надто повільними.

2. Проблема зберігання: Традиційні методи вимагають великих обсягів пам'яті для зберігання Q-таблиць, що складноє використання їх у виробничих системах.

3. Неперервний простір станів: Виробництво дронів передбачає обробку неперервних даних, таких як параметри польоту, які змінюються в залежності від дизайну. Табличний метод не може ефективно справлятися з такими ситуаціями.

Deep Q-Learning долає ці труднощі за допомогою нейронних мереж, які можуть моделювати складні залежності між станами і діями у виробничому процесі дронів.

- Використання Experience Replay для підвищення ефективності

При автоматизації складання дронів, критично важливо забезпечити стабільність та точність процесів. Алгоритм Deep Q-Learning використовує техніку Experience Replay для вирішення проблеми нестабільності при навчанні нейронних мереж. Ця техніка дозволяє повторно використовувати досвід, накопичений системою під час різних етапів виробничого процесу, що зменшує кореляцію між вибірками даних і забезпечує стабільніше навчання.

Наприклад, під час складання складних механізмів дронів, система може зустріти багато різних ситуацій, таких як несподівані відмови деталей або відхилення у точності. Завдяки Experience Replay, система зберігає минулі досвіди і використовує їх для поліпшення прийняття рішень у майбутньому, що дозволяє значно покращити ефективність виробництва.

- Використання Target Network для стабільного навчання

Щоб уникнути нестабільності в навчанні, яка виникає через постійне оновлення ваг Q-мережі під час виробничого процесу, у Deep Q-Learning використовується друга нейронна мережа, відома як Target Network. Вона допомагає забезпечити стабільність цільових значень Q протягом короткого часу, що дозволяє системі уникнути осциляцій у результатах під час оновлення ваг.

Наприклад, під час налаштування параметрів складання дрона (наприклад, калібрування сенсорів або моторів), стабільність цих параметрів є критично важливою для досягнення точної роботи дрона. Target Network дозволяє системі підтримувати стабільність під час таких налаштувань, зменшуючи ймовірність виникнення помилок через постійні зміни у моделях.

- Впровадження навчання з підкріпленням у реальні виробничі сценарії

Deep Q-Learning можна застосувати для оптимізації різних етапів автоматизації виробництва дронів. Це можуть бути такі задачі, як:

1. Розподіл завдань між роботами на виробничій лінії: навчання роботів координувати дії для швидкого і точного складання дронів.

2. Оптимізація маршруту складальних роботів: навчання ефективним маршрутам переміщення на лінії, з урахуванням перешкод і обмежень простору.

3. Управління якістю продукту: використання алгоритмів навчання для виявлення дефектів на ранніх стадіях виробництва та їх автоматичне усунення.

Використання таких підходів дозволяє досягти високої продуктивності, зменшити витрати та підвищити якість дронів, виготовлених на автоматизованих лініях.

Нова парадигма полягає у використанні симуляційного підходу для оптимізації різних стадій виробництва дронів – від дизайну компонентів до інтеграції готових систем. Симуляції дозволяють моделювати різні сценарії та тестувати реакції виробничих ліній на зміни умов без необхідності втручання в реальний процес.

Завдання автоматизації виробництва дронів вимагає моделювання фізики польоту, а також взаємодії компонентів дрону в межах складних виробничих ліній. Симуляція фізики у виробничому процесі базується на рушії PhysX від NVIDIA, який дозволяє інтегрувати фізичні моделі віртуальних дронів із виробничими середовищами.

Для реалізації цього процесу використовуються наступні елементи:

- RigidBody для моделювання динамічних властивостей дронів на різних етапах виробництва.
- Collider для визначення зіткнень під час складання та перевірки компонентів у симуляції.
- Physics Material для моделювання взаємодій під час процесу складання, таких як тертя та зчеплення, що можуть впливати на якість та стабільність кінцевого продукту.
- Joints для імітації динамічних вузлів, які дозволяють віртуальним роботам і дронам взаємодіяти з різними елементами виробничого конвеєру.

Гнучкі виробничі лінії, що складаються з модульних систем, дозволяють швидко адаптуватися до змін у вимогах ринку та виробництва. Модульні системи складаються з автономних компонентів (датчики, роботи, контролери), які можуть бути легко змінені або оновлені без значних витрат часу та ресурсів. Це забезпечує високу гнучкість та масштабованість виробництва, дозволяючи компаніям швидко реагувати на запити клієнтів та випускати нові моделі дронів.

Таблиця 1

#### Сучасні системи автоматизації, що застосовуються у виробництві дронів

Назва системи чи засобу автоматизації	Переваги у застосуванні
Системи нагляду та збору даних (SCADA)	Візуалізація процесів, моніторинг у реальному часі, автоматичний збір та аналіз даних, інтеграція з іншими системами, віддалений доступ та управління, підвищення надійності та зменшення витрат.
Розподілені системи управління (DCS)	Розподілена архітектура, висока обробка даних, гнучкість, надійність, інтеграція з іншими системами, централізоване управління.
Програмовані логічні контролери (PLC)	Програмування логіки управління обладнанням, контроль датчиків, виконання функцій для оптимізації виробництва.
Системи управління виробництвом (MES)	Відстеження та контроль процесів у реальному часі, оптимізація процесів, аналіз даних, контроль за споживанням енергоресурсів.
Системи планування ресурсів (ERP)	Інтеграція фінансів, управління запасами, планування та прогнозування виробництва.
Роботизовані виробничі системи	Підвищення продуктивності, якості, зменшення витрат, гнучкість, здатність працювати у небезпечних умовах.

Було розроблено такий підхід до реалізації Deep Q Learning алгоритму для автоматизації виробництва дронів:

#### 1. Моделювання середовища

Для моделювання виробничого середовища можна використовувати симуляцію, яка включає всі етапи виробництва дронів. Це може бути програмне забезпечення, яке моделює фізичні процеси, або віртуальне середовище, яке імітує реальні умови.

#### 2. Визначення станів і дій

- Стани (s):
  - o Поточний етап виробництва (наприклад, складання, тестування, упаковка).
  - o Стан компонентів (наприклад, наявність, якість).
  - o Параметри середовища (наприклад, температура, вологість).
  - o Час, що залишився до завершення виробництва.
- Дії (a):
  - o Виконання конкретних операцій (наприклад, складання компонентів, перевірка якості).
  - o Переміщення компонентів між етапами виробництва.
  - o Налаштування параметрів обладнання.

#### 3. «Винагороди»

Винагороди визначаються на основі ефективності виконання дій, якості кінцевого продукту та витрат часу.

Наприклад:

- Позитивна винагорода за успішне складання компонентів.
- Негативна винагорода за дефекти або затримки у виробництві.
- Позитивна винагорода за економію часу та ресурсів.

4. Архітектура нейронної мережі

Для апроксимації Q-функції використовується багатошарова перцептронна мережа (MLP) з кількома прихованими шарами. Приклад архітектури:

- Вхідний шар: кількість нейронів відповідає кількості параметрів стану.
- Приховані шари: 2–3 шари з 64–128 нейронами кожен, з активацією ReLU.
- Вихідний шар: кількість нейронів відповідає кількості можливих дій.

5. Алгоритм навчання

1. **Ініціалізація:**

- o Ініціалізуються параметри нейронної мережі

$$\theta$$

і цільової мережі

$$\theta^-$$

- o Встановлюється початковий стан

$$s_0$$

2. **Вибір дії:**

- o Використовується  $\epsilon$ -жадібна стратегія для вибору дії

$$a$$

з імовірністю  $\epsilon$  вибирається випадкова дія, з імовірністю  $1-\epsilon$  – дія, яка максимізує Q-функцію.

3. **Виконання дії:**

- o Виконується дія

$$a$$

отримується винагорода

$$r$$

і новий стан

$$s$$

4. **Оновлення Q-функції:**

- o Обчислюється цільове значення:

$$y = r + \gamma \max_{a'} Q(s', a'; \theta^-).$$

- o Оновлюються параметри нейронної мережі

$$\theta$$

для мінімізації функції втрат

$$L(\theta)$$

5. **Оновлення цільової мережі:**

- o Параметри

$$\theta^-$$

оновлюються кожні N кроків для стабільності.

**Висновки**

Сучасні інноваційні підходи в автоматизації виробництва дронів передбачають використання симуляцій для навчання роботів, що займатимуться складанням дронів. Окрім традиційних методів, таких як використання роботизованих маніпуляторів і автоматизованих конвеєрів, симуляційні середовища на зразок Unity можуть бути використані для впровадження алгоритмів машинного навчання, які здатні оптимізувати виробничий процес у реальному часі.

Інтеграція нейронних мереж для навчання робочих станцій дозволяє дронам автоматично коригувати параметри під час складання, враховуючи неочікувані події чи помилки на лінії. Це створює адаптивні виробничі системи, які можуть самонавчатися на помилках та збільшувати ефективність у довгостроковій перспективі.

Одним із перспективних напрямів є використання алгоритмів навчання з підкріпленням, таких як Deep Q-Learning, для оптимізації процесів на рівні взаємодії різних елементів виробничого циклу. Це дозволяє скоротити час навчання виробничих роботів і підвищити точність складання, зменшуючи кількість дефектів і підвищуючи швидкість виробництва.

Автоматизація виробництва дронів значно вдосконалюється завдяки інтеграції новітніх технологій, таких як штучний інтелект (ШІ) та гнучкі виробничі системи. Ці технології дозволяють підвищити ефективність та

якість продукції, забезпечуючи адаптивність виробничих ліній і можливість швидкого реагування на зміни у вимогах ринку.

ШІ грає ключову роль у цій трансформації, автоматизуючи складні завдання, забезпечуючи адаптивність виробничих процесів та оптимізуючи продуктивність через машинне навчання та аналіз великих даних. Інтелектуальні системи управління, засновані на ШІ, здатні виявляти відхилення від норми, прогнозувати проблеми та автоматично коригувати роботу обладнання, що зменшує кількість браку та підвищує якість продукції.

Гнучкі виробничі лінії, що складаються з модульних систем, дозволяють швидко адаптуватися до змін, що забезпечує високу масштабованість і гнучкість виробництва. Це особливо важливо для швидкої реакції на запити клієнтів та випуск нових моделей дронів.

#### **Перспективи подальших розвідок у даному напрямі:**

- Розвиток алгоритмів ШІ та машинного навчання: Подальший розвиток алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання, включаючи вдосконалення технік навчання з підкріпленням та архітектур нейронних мереж, може значно підвищити адаптивність та ефективність автоматизованих виробничих систем. Дослідження можуть зосереджуватись на покращенні продуктивності алгоритмів, зменшенні вимог до обчислювальних ресурсів та інтеграції більш складних процесів прийняття рішень.

- Інтеграція квантових обчислень: З розвитком технологій квантових обчислень, їх застосування в автоматизації виробництва дронів може забезпечити значні переваги у вирішенні складних оптимізаційних задач та моделюванні виробничих процесів. Дослідження в цій сфері можуть зосереджуватись на розробці нових квантових алгоритмів для підвищення ефективності автоматизованих систем.

- Розробка нових сенсорних технологій: Інноваційні сенсорні технології можуть вдосконалити моніторинг та контроль за якістю виробничих процесів. Дослідження можуть зосереджуватись на створенні нових типів датчиків та систем збору даних, які забезпечують більш точні та швидкі результати.

- Удосконалення симуляційних моделей: Подальше вдосконалення симуляційних моделей для виробництва дронів, включаючи моделювання складніших фізичних явищ та взаємодій компонентів, може допомогти у створенні ще більш реалістичних умов для тестування та оптимізації процесів.

- Гнучкість та масштабованість виробничих систем: Розвиток нових підходів до проектування гнучких та масштабованих виробничих систем дозволить швидше адаптуватися до змін в ринкових вимогах і технологічних умовах.

- Застосування біонічних і біоінспірованих технологій: Дослідження в області біонічних і біоінспірованих технологій можуть привести до створення нових методів для підвищення ефективності виробництва дронів, черпаючи натхнення з природних систем і процесів.

- Екологічні аспекти та стійкість: Розробка нових підходів для зменшення екологічного впливу виробництва дронів та підвищення стійкості виробничих процесів стане важливою частиною подальших досліджень. Це може включати впровадження технологій для зменшення відходів, повторного використання матеріалів та енергоефективних рішень.

#### **Список використаної літератури**

1. AI and Robotics in Manufacturing: How Automation is Transforming the Industry. [Електронний ресурс] : [веб сайт]. Режим доступу : Information Age – Intelligence for Technology Leaders (information-age.com).

2. The Rise of AI in Manufacturing: 6 Examples of AI in Action. [Електронний ресурс] : [веб сайт]. Режим доступу : Forbes.

3. AI in Manufacturing: The Fourth Industrial Revolution. [Електронний ресурс] : [веб сайт]. Режим доступу : Emerj Artificial Intelligence Research.

4. Artificial Intelligence in Manufacturing Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021–2026) – Mordor Intelligence. [Електронний ресурс] : [веб сайт]. Режим доступу : Market Research Company – Mordor Intelligence™.

5. How AI is Revolutionizing Manufacturing – Harvard Business Review. [Електронний ресурс] : [веб сайт]. Режим доступу : Harvard Business Review – Ideas and Advice for Leaders (hbr.org).

6. Чибіряк Я.І., Баранова І.В., Ніколаєнко К.О. Метод наскрізного навчання студентів ІТ- спеціальностей імітаційному моделюванню у середовищі flexsim для пошуку резервів підвищення ефективності автоматизованих систем / Я.І. Чибіряк, І.В. Баранова, К.О. Ніколаєнко // Науковий журнал.

#### **References**

1. AI and Robotics in Manufacturing: How Automation is Transforming the Industry. [Electronic resource]: [website]. Access mode: Information Age – Intelligence for Technology Leaders (information-age.com).

2. The Rise of AI in Manufacturing: 6 Examples of AI in Action. [Electronic resource]: [website]. Access mode: Forbes.



3. AI in Manufacturing: The Fourth Industrial Revolution. [Electronic resource]: [website]. Access mode: Emerj Artificial Intelligence Research.
4. Artificial Intelligence in Manufacturing Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021–2026). [Electronic resource]: [website]. Access mode: Market Research Company – Mordor Intelligence™.
5. How AI is Revolutionizing Manufacturing. [Electronic resource]: [website]. Access mode: Harvard Business Review – Ideas and Advice for Leaders (hbr.org).
6. Chybiriak Y.I., Baranova I.V., Nikolaienko K.O. The Method of Cross-Learning for IT Students in Simulation Modeling Using FlexSim to Identify Reserves for Improving Automated Systems Efficiency / Y.I. Chybiriak, I.V. Baranova, K.O. Nikolaienko // Scientific Journal.