

О. М. КОНДРАТОВ, В. П. СЕВЕРИН, Д. К. ПОПАЗОВ, С. М. ЛЮБАРСЬКИЙ, О. М. НІКУЛІНА

ВИКОРИСТАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ, ІДЕНТИФІКАЦІЇ, ОПТИМІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ ТА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У статті представлено комплексний підхід до створення інтелектуальних систем управління динамічними об'єктами на основі сучасних методів обчислювального інтелекту. В умовах обробки високорозмірних, нестабільних та слабоформалізованих даних у реальному часі традиційні методи моделювання є недостатньо ефективними, що особливо критично для промислових і транспортних систем, де помилки управління можуть призводити до значних втрат. Дослідження спрямоване на розробку адаптивних замкнутих контурів управління, які поєднують ідентифікацію поточного стану, прогнозування та вибір оптимального керуючого впливу в умовах невизначеності. Запропонована архітектура інтегрує модулі збору й обробки даних, ідентифікації параметрів, оптимізації та підтримки прийняття рішень. Основою моделювання є гібридні алгоритми машинного навчання, зокрема поєднання згорткових нейронних мереж і трансформерних архітектур, а також метагевристичних методів. Передбачено механізми онлайн-донавчання з мінімальною зміною ваг та використання універсальної пам'яті трансформера для адаптації до змін середовища. Дистанційна ідентифікація параметрів реалізується шляхом аналізу мультимодальних потоків даних, включаючи відео та сенсорні сигнали, із застосуванням методів виявлення об'єктів, сегментації сцени та аналізу оптичного потоку. Система підтримки рішень має дворівневу структуру: прецедентно-правильовий рівень для оперативної обробки типових ситуацій і оптимізаційний рівень на основі багатокритеріального аналізу за Парето. Використання пояснювального AI забезпечує прозорість рішень, а адаптація моделей здійснюється із застосуванням навчання з підкріпленням. Результати підтверджують ефективність підходу в промислових, транспортних та міських системах і визначають перспективи подальшого розвитку з урахуванням мультиагентних та нейроморфних технологій.

Ключові слова: штучні нейронні мережі, інтелектуальна технологія, архітектура застосунків, нейронна мережа, модель, інформаційна система, програмне забезпечення, машинне навчання, технологія.

O. KONDRATOV, V. SEVERYN, D. POPAZOV, S. LIUBARSKYI, O. NIKULINA

APPLICATIONS OF COMPUTATIONAL INTELLIGENCE FOR MODELING, IDENTIFICATION, OPTIMIZATION OF CONTROL INFORMATION SYSTEMS AND DECISION SUPPORT

The article presents a comprehensive approach to creating intelligent control systems for dynamic objects based on advanced computational intelligence methods. In the context of processing high-dimensional, unstable, and poorly formalized data in real-time, traditional modeling methods are insufficiently effective, which is especially critical for industrial and transport systems where control errors can lead to significant losses. The research is aimed at developing adaptive closed-loop control contours that combine current state identification, prediction, and the selection of optimal control influence under uncertainty. The proposed architecture integrates modules for data collection and processing, parameter identification, optimization, and decision support. The modeling core relies on hybrid machine learning algorithms, specifically a combination of Convolutional Neural Networks and Transformer architectures, as well as metaheuristic methods. Mechanisms for online re-training with minimal weight change and the use of Universal Transformer Memory are provided for adaptation to environmental changes. Remote parameter identification is realized by analyzing multimodal data streams, including video and sensor signals, using methods of object detection, scene segmentation, and optical flow analysis. The Decision Support System has a two-level structure: a rule-based level for operational processing of typical situations and an optimization level based on multi-criteria Pareto analysis. The use of Explainable AI ensures the transparency of decisions, and model adaptation is carried out using Reinforcement Learning. The results confirm the effectiveness of the approach in industrial, transport, and urban systems and outline the prospects for further development by incorporating multi-agent and neuromorphic technologies.

Keywords: artificial neural networks, intelligent technologies, applications architecture, neural network, model, information system, software, machine learning, technology.

Вступ. У сучасному інформаційному суспільстві, яке характеризується швидкою цифровізацією та зростанням складності динамічних процесів, постає актуальна науково-практична проблема: невідповідність традиційних методів моделювання, оптимізації та прийняття рішень новим викликам. Ці виклики пов'язані з необхідністю аналізувати високорозмірні, нестабільні та слабоформалізовані дані (такі як відеопотоки, сенсорні показники, просторово-часові сигнали) в режимі реального часу.

Вказана проблема має безпосередній зв'язок із низкою важливих завдань. На практичному рівні – це завдання підвищення ефективності та надійності управління складними системами (промисловими, транспортними, енергетичними), де запізніле чи неточне рішення може призвести до значних матеріальних втрат або аварійних ситуацій. На науковому рівні – це завдання розробки нових методологій, здатних не лише обробляти дані, але й

створювати замкнуті цикли адаптивного управління, що включають ідентифікацію стану системи, його прогнозування та вибір оптимального керуючого впливу в умовах невизначеності.

Саме тому все більшого поширення набуває застосування методів обчислювального інтелекту (ОІ), які поєднують у собі гнучкість нейронних мереж, здатність до навчання та самоорганізації, а також можливість побудови систем прийняття рішень в умовах невизначеності.

Водночас важливо не лише застосовувати окремі ML/AI-алгоритми, а будувати повноцінні інтелектуальні системи, що інтегрують в собі засоби моделювання, ідентифікації, оптимізації та прийняття рішень. Це дозволяє створювати керуючі комплекси нового покоління, здатні адаптуватися до змін у середовищі та підвищувати ефективність процесів у промислових, транспортних, енергетичних та інших системах.

© О. М. Кондратов, В. П. Северин, Д. К. Попазов, С. М. Любарський, О. М. Нікуліна, 2025

Сучасні розробки у сфері обчислювального інтелекту, зокрема для управління динамічними системами, базуються на значному науковому фундаменті, що підтверджується аналізом ключових джерел інформації.

Розглянута теоретико-методологічна база обчислювальних методів для моделювання, прогнозу та оптимізації [1]. Проведено аналіз інформаційних технологій для дистанційної ідентифікації динамічних об'єктів [2]. Систематизовано сучасні підходи до задач моделювання та оптимізації. Запропоновано використання метаевристик (PSO, GA) для складних систем [1]. Розглянуті методи дистанційної ідентифікації динамічних об'єктів на основі трансформерів [2-5]. Набули значного розвитку технології обробки даних на основі YOLO-архітектур [6-8], мультіагентних систем [9], FlowNet [10, 11]. Проведені дослідження доводять ефективність використання гібридних моделей (DETR+YOLO) для виявлення динамічних об'єктів [6], синхронізації даних з різних джерел [9], оптичного потоку для аналізу руху динамічних об'єктів (точність вище 90%) [11, 12]. Перспективним напрямом є розробки квантових алгоритмів з прискоренням обчислень за рахунок Liger Kernel та універсальних трансформерів [13-15]. В інтелектуальних системах управління для прийняття оптимальних рішень зростає роль Explainable AI [16] та мультимодальної обробки даних (відео+сенсори) [17].

Таким чином, розробка моделей і архітектур обчислювального інтелекту, що дозволяють здійснювати повний цикл управління динамічними системами – від збору даних до реалізації адаптивного управління, є актуальним науковим і практичним завданням, вирішення якого має міждисциплінарне значення.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка моделей і архітектур обчислювального інтелекту для моделювання, ідентифікації, оптимізації інформаційних управляючих систем та підтримки прийняття рішень.

Для досягнення цієї мети визначено ряд актуальних наукових задач:

- розробити архітектуру інтелектуальної системи управління на основі гібридних ML/AI-моделей, здатних до адаптації в реальному часі;
- створити інформаційну технологію для автоматизованої ідентифікації параметрів динамічних об'єктів за відеопотоком, оптичним потоком та сенсорними даними;
- інтегрувати механізми оптимізації (метаевристики, підкріплювальне навчання) у модулі керування для підвищення ефективності рішень;
- надати рекомендації з побудови системи прогнозування та підтримки прийняття рішень на базі explainable AI для забезпечення прозорості та обґрунтованості рішень в умовах невизначеності.

Значним викликом є забезпечення обчислювальної ефективності таких систем в умовах потокової обробки даних у реальному часі.

Таким чином, інтеграція обчислювального інтелекту в сучасні технології відкриває нові горизонти для покращення управління, прогнозування та оптимізації процесів у багатьох сферах.

Аналіз використаних літературних джерел.

Огляд літературних джерел охоплює широкий спектр напрямів, що стосуються моделювання, ідентифікації та оптимізації систем з використанням обчислювального інтелекту. Робота [1] надає методологічні основи для побудови інтелектуальних систем, а джерело [2] описує практичні підходи до дистанційної ідентифікації динамічних об'єктів. Значну увагу приділено архітектурам YOLO [8] та їх сучасним модифікаціям YOLOv11 [7] і DEYO [6], що забезпечують високу швидкість і точність виявлення об'єктів.

Дослідження [3, 5, 9, 12] стали підґрунтям для побудови систем підтримки прийняття рішень у реальному часі, а роботи [4, 10, 11] розкривають методи аналізу оптичного потоку та біосигналів, зокрема EMG. Ефективне використання обчислювальних ресурсів, розглянуте у [13], є важливим для розробки масштабованих і оптимізованих моделей штучного інтелекту.

Досягнення у сфері трансформерів та stereo matching, описані в [14, 15], створюють основу для високоточних адаптивних моделей. Статті [16, 17, 18], що містять авторські підходи до ідентифікації та підтримки рішень, підтверджують наукову обґрунтованість та практичну цінність запропонованих рішень. Аналіз підтверджує доцільність подальшої розробки нових інтелектуальних систем.

Інтелектуальна система управління. На рис. 1 представлена загальна структура інтелектуальної системи управління динамічними системами, де основна увага зосереджена на зборі, попередній обробці даних, ідентифікації структури системи, оптимізації та реалізації інтелектуальних алгоритмів (ML/AI/NN/Fuzzy) [1, 16]. Ця схема інтегрує модулі для повного циклу обробки даних, аналізу та прийняття рішень. Модуль оптимізації відіграє ключову роль, поєднуючи методи еволюційного пошуку, підкріплювального навчання та метаевристик (PSO, GA тощо). Нижче наведено детальний опис кожного компонента

Модуль збору даних об'єднує джерела даних, такі як відеопотоки (наприклад, з камер спостереження) [3, 9], сенсори (датчики руху, акселерометри, GPS тощо), зовнішні системи (метеодатчики, бази даних). Функції цього модуля полягають в реалізації інтерфейсів для отримання даних у реальному часі, а також в попередній фільтрації шуму та артефактів.

Модуль попередньої обробки включає основні етапи: нормалізація, тобто приведення даних до єдиного масштабу (наприклад, стандартизація відеокadrів); сегментація як виділення областей інтересу (наприклад, об'єктів у кадрі); оптичний потік (FlowNet) з аналізом руху об'єктів між кадрами. У цьому модулі використовуються інструменти –

бібліотеки OpenCV і TensorFlow для обробки зображень.

Модуль ідентифікації структури та параметрів використовує моделі CNN (згорткові мережі) для виділення ознак об'єктів (наприклад, YOLO-NAS [8]) і трансформери для аналізу довгострокових залежностей у послідовностях даних. Вихідні дані цього модуля – параметри динамічних об'єктів (координати, швидкість, прискорення) та стан системи (наприклад, "аварійний режим").

Модуль оптимізації включає такі методи як метаевристики PSO (оптимізація роєм частинок), генетичні алгоритми (GA), підкріплювальне навчання (RL) для адаптації стратегій керування. Ціль оптимізації – мінімізація енерговитрат, часу реакції або оптимізація інших цільових функцій.

Модуль прийняття рішень реалізує наступні підходи: Rule-based системи з готовими правилами для стандартних сценаріїв і гібридні моделі ML + Explainable AI з поясненнями рекомендацій (наприклад, LIME/SHAP [16]). Результатом цього

модуля є команди для виконавчих пристроїв (наприклад, зміна траєкторії дрона).

Зворотний зв'язок та адаптація включають механізми моніторингу результатів з порівнянням очікуваних і фактичних показників, оновлення моделей з періодичним донавчанням мереж на нових даних, інтеграції з хмарними платформами (наприклад, AWS/GCP) для зберігання та аналізу історії дій.

Стрілки на рис. 1 показують потік даних між модулями.

Запропонована архітектура забезпечує адаптивність з можливістю "навчання" на нових даних, масштабованість з обробкою великих обсягів інформації завдяки оптимізованим алгоритмам, надійність з резервуванням критичних модулів (наприклад, дублювання сенсорів).

Циклічне навчання та механізм зворотного зв'язку забезпечують адаптацію системи до змін середовища, що підвищує її надійність і точність.

Ця схема є основою для побудови реальних систем у промисловості, транспорті та Smart City.

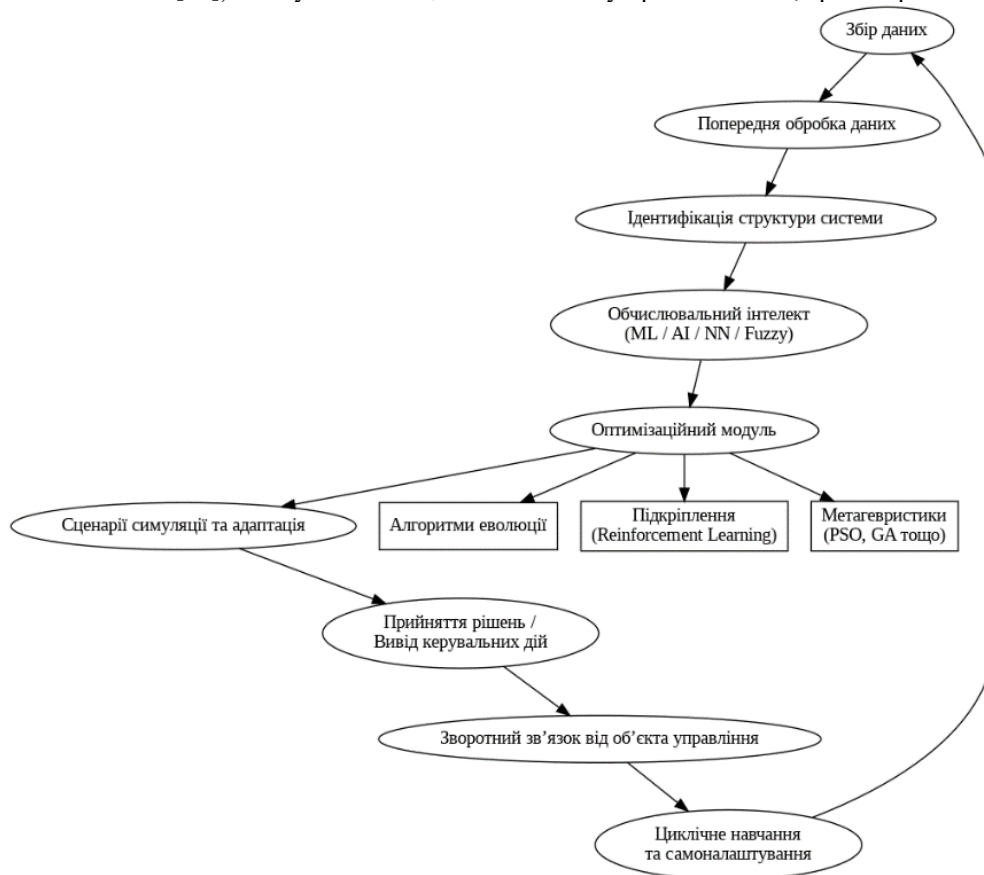


Рис. 1. Загальна структура інтелектуальної системи управління

Обробка сигналів та ідентифікація об'єктів. На рис. 2 представлено етапи аналізу вхідних даних з відео, сенсорів та зображень, які проходять через модуль попередньої обробки: оптичний потік (FlowNet), EMG Pose (emg2pose), аналіз сцени (Stereo Anywhere). Далі відбувається виділення ознак за допомогою CNN, трансформерів та їх варіацій із пам'яттю, а також ідентифікація параметрів об'єкта: положення, швидкості, траєкторії тощо.

На рис. 2 детально представлено етапи обробки мультимодальних даних (відео, сенсори, зображення) для ідентифікації параметрів динамічних об'єктів. Нижче наведено структурований опис кожної складової.

Вхідні дані включають джерела сигналів: відеопотік (наприклад, RGB/інфрачервоні камери); сенсорні дані (IMU-датчики, лідари, радары); статичні зображення (аерофотозйомка, супутникові знімки). Формат даних для відео – послідовність кадрів у

форматі H.264/RAW, а для сенсорів – часові ряди з частотою.

Попередня обробка даних може виконуватись модулями: оптичний потік (FlowNet) за алгоритмом FlowNet 2.0 (архітектура CNN) з функцією обчислення векторів руху між кадрами та виходом у вигляді tensor $[H \times W \times 2]$ з компонентами (Δx , Δy); EMG Pose (emg2pose) з входом у вигляді сигналів електроміографії (8-канальні); Stereo Anywhere з особливістю zero-shot стереозіставлення, входом пари зображень з різною базою та виходом у вигляді глибинної карти з роздільною здатністю 640×480 .

Виділення ознак виконується за архітектурами: згорткові мережі (CNN) з моделлю YOLO-NAS (попередньо навчена на COCO) та шарами CSPDarknet + SPPF + PAFNet і виходом bounding boxes та confidence scores; трансформери з пам'яттю модифікації Evolved Transformer Memory з особливістю зберігання контексту з застосуванням для прогнозування траєкторій.

Метод визначення ідентифікації параметрів динамічних об'єктів надано в табл. 1, де для таких

параметрів як положення, швидкість, прискорення, орієнтація наведені методи визначення цих параметрів та абсолютна похибка.

Вихідні інтерфейси включають формати виведення у вигляді JSON-стрічки з полями:

```
json
{
  "object_id": 102,
  "position": [x,y,z],
  "velocity": 3.2,
  "trajectory": [[x1,y1], [x2,y2]]
}
```

Системи-споживачі інформації – хмарні платформи (AWS IoT Core) та локальні системи керування (ROS 2 Node).

Ключові технології включають апаратне прискорення на основі NVIDIA Jetson для Edge-обчислень та TensorRT для оптимізації інференсу, програмний стек з бібліотеками OpenCV та PyTorch і протоколами MQTT для передачі даних.

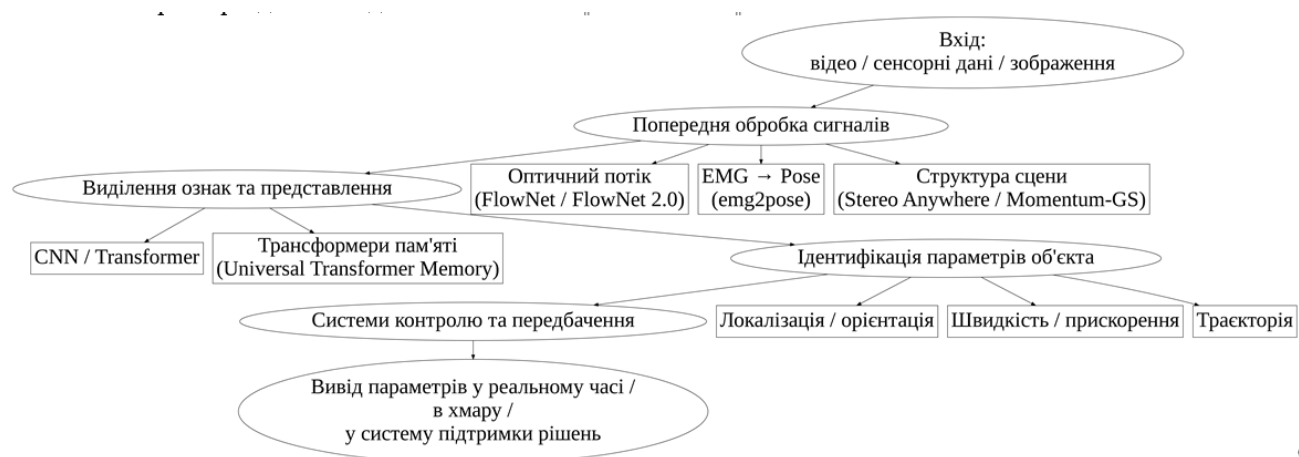


Рис. 2. Аналіз, прогнозування, прийняття рішень

Таблиця 1 – Метод визначення ідентифікації параметрів

Параметр	Метод визначення
Положення	Stereo Triangulation
Швидкість	Optical Flow + Kalman Filter
Прискорення	IMU Sensor Fusion
Орієнтація	Quaternion from EMG

Приклад роботи системи для дрона: камера фіксує перешкоду (дерево), FlowNet визначає відносну швидкість, YOLO-NAS класифікує об'єкт, модуль оптимізації генерує нову траєкторію, рішення передається до контролера двигунів.

Така схема демонструє високу ефективність для задач управління автономними транспортними засобами та промисловими моніторинговими системами, а також виконувати AR/VR трекінг у реальному часі.

Результати передаються в хмарні системи або системи підтримки рішень, забезпечуючи високу швидкість обробки та точність ідентифікації.

Для подальшого вдосконалення передбачається інтеграція квантових сенсорів та нейроморфних обчислювальних модулів.

Аналіз, прогнозування та прийняття рішень.

На рис. 3 представлено архітектуру системи аналізу, прогнозування та оптимізації. Вхідні дані агрегуються та контекстуалізуються з урахуванням великих відеопотоків, мультикамерного моделювання та оптимізації обчислювальних ресурсів (наприклад, Liger Kernel). У модулі прогнозування застосовуються сучасні моделі: DETR+YOLO, Boosting, YOLO-NAS.

Рекомендації формуються як на основі правил, так і моделей машинного навчання, доповнюються поясненнями (Explainable AI), оптимізуються з урахуванням цільових функцій, обмежень і компромісів (Pareto). Усі дії системи моніторяться і відбувається адаптація моделей на основі зворотного зв'язку.

На рис. 3 представлено комплексну багаторівневу систему аналізу, прогнозування та оптимізації, яка інтегрує сучасні методи AI для обробки великих даних,

прогнозування та генерації керуючих рішень. Надано детальний опис структури:

На вхідному рівні даних використовуються джерела інформації: мультикамерні відеопотоки (4K@60fps, HDR), IoT-сенсори (температура, вібрація, тиск), геопросторові дані (LiDAR, GPS/ГЛОНАСС), корпоративні бази даних (SQL/NoSQL). Технології агрегації можуть бути реалізовані на базі Liger Kernel з підтримкою tensor-форматів (TFRecord, Arrow) та з автоматичним балансуванням навантаження.

Модуль попереднього аналізу включає підсистеми контекстуалізації даних з просторово-

часовим вирівнювання потоків і нормалізацією часових міток (PTP v2), оптимізації ресурсів з динамічним масштабуванням обчислень та пріоритизацією задач (QoS-рівні). Використані алгоритми адаптивного субдискретизування відео (Bilinear++) та штучного шуму для анонімізації (GDPR-сумісний).

Ядро прогнозування складається з моделей виявлення об'єктів, сегментації сцени та прогнозування станів. Застосування моделей аналізу сценаріїв та прогнозування наведені в табл. 2.

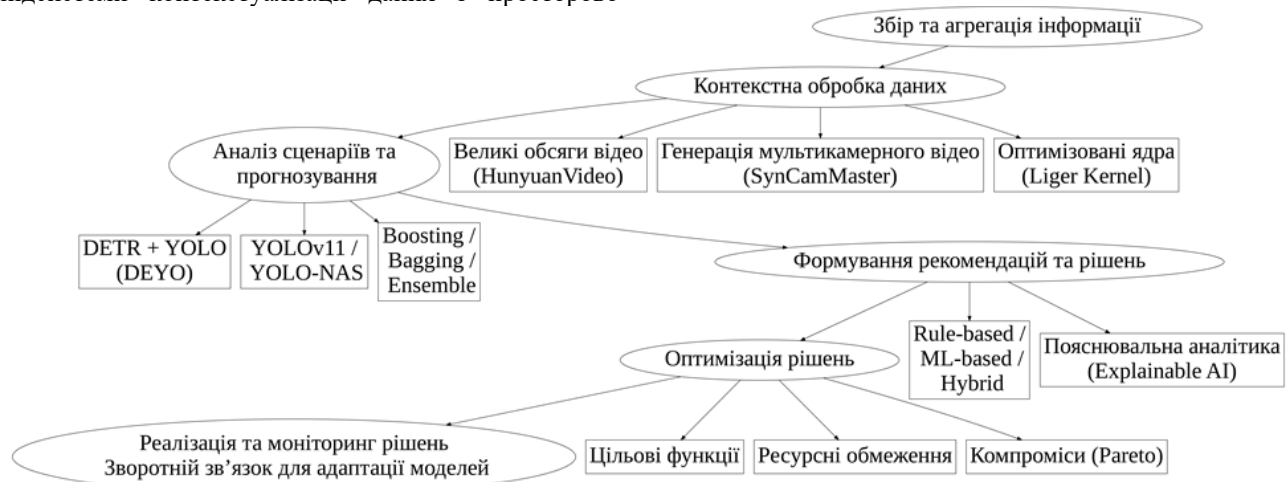


Рис. 3. Аналіз, прогнозування, прийняття рішень

Таблиця 2 – Застосування моделей аналізу сценаріїв та прогнозування

Модель	Застосування
DETR+YOLO	Виявлення об'єктів
YOLO-NAS	Сегментація сцени
Градiєнтний бустинг	Прогнозування станів

Особливості реалізації схеми прогнозування полягають в використанні гібридної архітектури (CNN + Transformer), механізму online-донавчання (Δ -ваги < 0.001), Evolved Universal Transformer Memory.

Система підтримки рішень має два рівні обробки – Rule-based рівень та оптимізаційний рівень. Rule-based рівень включає прецедентні правила (Drools Engine), використовує Explainable AI (XAI) з інтерпретацією за допомогою SHAP/LIME [16] і генерацією звітів у форматі PMML. Оптимізаційний рівень використовує метод Парето для багатокритеріального аналізу та може бути реалізований на CUDA [1, 9].

Вихідні інтерфейси мають формати виведення REST API (Swagger-документація), стрімінг наприклад через Apache Kafka, візуалізацію у Power BI/Tableau. Керуючі впливи: PID-регулятори (промислові системи), набори рекомендацій (для операторів), екстрені alerts (SMS/месенджери).

Механізми моніторингу рішень включають компоненти Health Check System з контролем затримок (SLA) і діагностикою дрейфу даних (KS-тест) та

адаптаційний контур з корекцією моделей через RL (TD3 алгоритм) та оновленням кожні 24 години.

Така інформаційна технологія може мати широке галузеве застосування: розумні міста з оптимізацією світлофорів і прогнозуванням пікового навантаження; промисловість з предиктивним обслуговуванням і динамічним плануванням виробництва; транспорт з маршрутизацією в аеропортах та автономними складськими системами. Перспективи розвитку полягають в інтеграції квантових sampling-алгоритмів, використанні нейроморфних чипів для обробки відео та в розподіленому навчанні на federated-архітектурі. Ця схема є універсальним каркасом для побудови AI-систем з підтримкою складних операційних середовищ.

Висновки. Запропоновані схеми дозволяють наочно представити комплексний підхід до створення інтелектуальних систем: від збору даних до реалізації оптимізованих рішень. Взаємодія блоків штучного інтелекту, оптимізації та систем зворотного зв'язку забезпечує гнучкість і адаптивність в управлінні складними об'єктами.

У роботі запропоновано підхід до створення інтелектуальних систем управління динамічними об'єктами з використанням методів обчислювального інтелекту. Отримано такі основні результати:

Створено архітектуру інтелектуальної системи управління, яка поєднує модулі збору даних, попередньої обробки, ідентифікації параметрів, оптимізації та прийняття рішень. Основу системи

складають адаптивні алгоритми машинного навчання, включаючи гібридні CNN/Transformer-архітектури з пам'яттю.

Розроблено інформаційну технологію дистанційної ідентифікації параметрів динамічних об'єктів, яка реалізує обробку відеоданих за допомогою методів оптичного потоку (FlowNet), EMG-аналізу (emg2pose) і сенового розпізнавання (Stereo Anywhere), з подальшим виділенням ознак і визначенням просторово-часових характеристик об'єктів.

Інтегровано сучасні методи оптимізації в модулі керування: зокрема, еволюційні алгоритми (PSO, GA), навчання з підкріпленням та метаевристики. Це забезпечило адаптивність управління до змін середовища та підвищення ефективності прийняття рішень.

Систему прогнозування та підтримки прийняття рішень доцільно реалізувати з використанням ансамблів моделей (Boosting, YOLO-NAS), а також rule-based і hybrid-підходами з пояснюваними механізмами (Explainable AI). Вона буде забезпечувати обґрунтованість рішень, автоматичну адаптацію та оптимізацію під цільові функції з урахуванням обмежень і компромісів.

Таким чином, запропонована система демонструє комплексний підхід до створення гнучких і адаптивних засобів керування складними об'єктами. Вона може бути основою для подальшої інтеграції з мультиагентними архітектурами, квантовими алгоритмами, а також використання в критично важливих сферах, що вимагають високої точності, надійності та пояснюваності. Запропонована архітектура інтегрує перевірені методи та інновації, що забезпечує її наукову новизну та практичну цінність. У майбутньому можливе розширення таких систем через інтеграцію з квантовими алгоритмами, мультиагентними платформами, а також впровадження explainable AI у критично важливих сферах.

Список літератури

1. Krzywanski J., Sosnowski M., Grabowska K., Zylka A., Lasek L., Kijo-Kleczkowska A. *Advanced Computational Methods for Modeling, Prediction and Optimization – A Review*. URL: <https://doi.org/10.3390/ma17143521> (дата звертання: 15.05.2025)
2. Нікуліна О. М., Северин В. П., Кондратов О. М., Рекова Н. Ю. Аналіз інформаційних технологій для дистанційної ідентифікації динамічних об'єктів. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків. НТУ «ХПІ», 2023. № 1 (9). С. 110–115.
3. HunyuanVideo: A Systematic Framework For Large Video. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.03603> (дата звертання: 15.05.2025)
4. emg2pose: A Large and Diverse Benchmark for Surface Electromyographic Hand Pose Estimation. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.02725> (дата звертання: 15.05.2025)
5. StableAnimator: High-Quality Identity-Preserving Human Image Animation. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.17697> (дата звертання: 15.05.2025)
6. DEYO: DETR with YOLO for End-to-End Object Detection. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.16370> (дата звертання: 15.05.2025)

7. YOLOv11: An Overview of the Key Architectural Enhancements. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.17725> (дата звертання: 15.05.2025)
8. A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. URL: <https://doi.org/10.3390/ma17143521> (дата звертання: 15.05.2025)
9. SynCamMaster: Synchronizing Multi-Camera Video Generation from Diverse Viewpoints. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.07760> (дата звертання: 15.05.2025)
10. FlowNet: Learning Optical Flow with Convolutional Networks. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1504.06852> (дата звертання: 15.05.2025)
11. FlowNet 2.0: Evolution of Optical Flow Estimation with Deep Networks. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1612.01925> (дата звертання: 15.05.2025)
12. Momentum-GS: Momentum Gaussian Self-Distillation for High-Quality Large Scene Reconstruction. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.04887> (дата звертання: 15.05.2025)
13. Liger Kernel: Efficient Triton Kernels for LLM Training. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.10989> (дата звертання: 15.05.2025)
14. Stereo Anywhere: Robust Zero-Shot Deep Stereo Matching Even Where Either Stereo or Mono Fail. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.04472> (дата звертання: 15.05.2025)
15. An Evolved Universal Transformer Memory. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.13166> (дата звертання: 15.05.2025)
16. Кондратов О. М., Северин В. П., Попазов Д. К., Любарський С. М., Нікуліна О. М. Аналіз методів обчислювального інтелекту для моделювання, ідентифікації, оптимізації систем та підтримки прийняття рішень. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. Харків. НТУ «ХПІ», 2024. № 2 (9). С. 35–44.
17. Нікуліна О. М., Северин В. П., Кондратов О. М., Ольховий О. М. Моделі дистанційної ідентифікації параметрів динамічних об'єктів з використанням трансформерів виявлення та оптичного потоку. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків. НТУ «ХПІ», 2024. № 1 (11). С. 52–57.
18. Копп О. М., Нестеренко І. С. Модель вибору інструментів штучного інтелекту для підтримки процесів розробки програмного забезпечення. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. Харків. НТУ «ХПІ», 2024. № 2 (9). С. 45–49.

References (transliterated)

1. Krzywanski J., Sosnowski M., Grabowska K., Zylka A., Lasek L., Kijo-Kleczkowska A. *Advanced Computational Methods for Modeling, Prediction and Optimization—A Review*. Available at: <https://doi.org/10.3390/ma17143521> (accessed 15.05.2025)
2. Nikulina O. M., Severyn V. P., Kondratov O. M., Reкова N. Y. Analiz informatsiynykh tekhnolohii dlia dystantsiinoi identyfikatsii dynamichnykh ob'ektiv. [Analysis of information technologies for remote identification of dynamic objects]. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KhPI": sb. nauch. tr. Temat. vyp.: Sistemnyy analiz, upravlenie i informatsionnye tekhnologii* [Bulletin of the National Technical University "KhPI": a collection of scientific papers. Thematic issue: System analysis, management and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., no. 1 (9), pp. 110–115.
3. HunyuanVideo: A Systematic Framework For Large Video. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.03603> (accessed 15.05.2025)
4. emg2pose: A Large and Diverse Benchmark for Surface Electromyographic Hand Pose Estimation. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.02725> (accessed 15.05.2025)
5. StableAnimator: High-Quality Identity-Preserving Human Image Animation. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.17697> (accessed 15.05.2025)
6. DEYO: DETR with YOLO for End-to-End Object Detection. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.16370> (accessed 15.05.2025)

7. YOLOv11: An Overview of the Key Architectural Enhancements. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.17725> (accessed 15.05.2025)
8. A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. Available at: <https://doi.org/10.3390/make5040083> (accessed 15.05.2025)
9. SynCamMaster: Synchronizing Multi-Camera Video Generation from Diverse Viewpoints. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.07760> (accessed 15.05.2025)
10. FlowNet: Learning Optical Flow with Convolutional Networks. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1504.06852> (accessed 15.05.2025)
11. FlowNet 2.0: Evolution of Optical Flow Estimation with Deep Networks. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1612.01925> (accessed 15.05.2025)
12. Momentum-GS: Momentum Gaussian Self-Distillation for High-Quality Large Scene Reconstruction. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.04887> (accessed 15.05.2025)
13. Liger Kernel: Efficient Triton Kernels for LLM Training. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.10989> (accessed 15.05.2025)
14. Stereo Anywhere: Robust Zero-Shot Deep Stereo Matching Even Where Either Stereo or Mono Fail. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.04472> (accessed 15.05.2025)
15. An Evolved Universal Transformer Memory. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.13166> (accessed 15.05.2025)
16. Kondratov O. M., Severyn V. P., Popazov D. K., Liubarskyi S. M., Nikulina O. M. Analiz metodiv obchysluvalnoho intelektu dlia modeliuvannia, identyfikatsii, optymizatsii system ta pidtrymky pryiniattia rishen [Analysis of computational intelligence methods for modeling, identification, optimization of systems and decision support]. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KhPI": sb. nauch. tr. Temat. vyp.: Stratehichne upravlinnya, upravlinnya portfelyamy, prohramamy ta proektamy* [Bulletin of the National Technical University "KhPI": a collection of scientific papers. Thematic issue: Strategic management portfolio program and project management]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., no. 2 (9), pp. 35-44.
17. Nikulina O. M., Severyn V. P., Kondratov O. M., Olhovoy O. M. Modeli dystantsiinoi identyfikatsii parametriv dynamichnykh ob'ektiv z vykorystanniam transformeriv vyivavleniia ta optychnoho potoku. [Models of remote identification of parameters of dynamic objects using detection transformers and optical flow]. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KhPI": sb. nauch. tr. Temat. vyp.: Sistemnyy analiz, upravlenie i informatsionnye tekhnologii* [Bulletin of the National Technical University "KhPI": a collection of scientific papers. Thematic issue: System analysis, management and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., no. 1 (11), pp. 52-57.
18. Kopp A. M., Nesterenko I. S. Model vyboru instrumentiv shuchnoho intelektu dlia pidtrymky protsesiv rozrobky prohramnoho zabezpechennia. [A model for selecting artificial intelligence tools to support software development processes]. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KhPI": sb. nauch. tr. Temat. vyp.: Stratehichne upravlinnya, upravlinnya portfelyamy, prohramamy ta proektamy* [Bulletin of the National Technical University "KhPI": a collection of scientific papers. Thematic issue: Strategic management portfolio program and project management]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., no. 2 (9), pp. 45-49.

Надійшло (received) 15.09.2025

Відомості про авторів / About the Authors

Кондратов Олексій Михайлович (Kondratov Oleksii Mikhailovich) – аспірант, старший викладач кафедри інформаційних систем та технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; старший викладач кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень ТОВ «ТУ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, Україна; e-mail: kondratovolexiy@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6367-9944>.

Северин Валерій Петрович (Severyn Valerii Petrovych) – д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: valerii.severyn@khp.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2969-6780>.

Попазов Дмитро Костянтинівич (Popazov Dmytro Kostiantynovych) – аспірант кафедри інформаційних систем та технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: dmytro.popazov@cs.khpi.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4717-0995>.

Любарський Сергій Михайлович (Liubarskyi Serhii Mikhailovich) – аспірант кафедри інформаційних систем та технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: serhii.liubarskyi@cs.khpi.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5454-3019>.

Нікуліна Олена Миколаївна (Nikulina Olena Mykolaivna) – д-р техн. наук, професор, завідувачка кафедри інформаційних систем та технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; професор кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень ТОВ «ТУ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, Україна; e-mail: elniknik02@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2938-4215>.