УДК 004.8:005.52

АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ НА ОСНОВІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Лобода Ю.Г., к.пед.н, доц. [1], Мільченко О.О.[2]
[1,2] Національний університет «Одеська юридична академія»
[1,2] Україна, Одеса
[1] loboda@onua.edu.ua; [2] anganalex@gmail.com

Анотація. *У статті розглянуто концепцію адаптивного управління ресурсами на основі багатокритеріальної оптимізації із застосуванням методів штучного інтелекту. Запропоновано гібридний підхід, що поєднує нейромережеве прогнозування, еволюційні алгоритми та інтерактивні механізми участі експерта. Представлено архітектуру інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень та результати експериментального моделювання для задачі управління енергетичними ресурсами. Показано, що застосування запропонованого підходу дозволяє підвищити ефективність розподілу ресурсів у динамічних умовах функціонування складних систем.*

Ключові слова: *адаптивне управління; багатокритеріальна оптимізація; штучний інтелект; еволюційні алгоритми; системи підтримки прийняття рішень; машинне навчання*

Вступна частина. Сучасні складні системи, включно з енергетичними мережами, транспортними комплексами, виробничими підприємствами та інформаційною інфраструктурою, функціонують в умовах високої невизначеності та динамічності зовнішнього середовища. Ефективне управління ресурсами в таких системах вимагає одночасного врахування різних, часто суперечливих критеріїв: мінімізації витрат, максимізації продуктивності, забезпечення надійності та дотримання екологічних норм. Класичні методи прийняття рішень на основі статичних моделей не завжди дозволяють ефективно реагувати на швидкі зміни. У цьому контексті актуальними стають адаптивні системи управління, здатні автоматично коригувати стратегії на основі аналізу поточного стану та прогнозування майбутніх подій [1]. Еволюційні алгоритми, такі як NSGA-II, довели свою ефективність у широкому класі задач багатокритеріальної оптимізації [2], однак їх інтеграція з методами штучного інтелекту у динамічних середовищах залишається актуальною проблемою. Рекурентні нейронні мережі LSTM успішно застосовуються для прогнозування часових рядів у задачах енергетики та логістики [3].

Метою роботи є розробка ефективного методу адаптивного управління ресурсами шляхом інтеграції багатокритеріальної оптимізації та методів штучного інтелекту, що дозволяє підвищити ефективність прийняття рішень у динамічних умовах функціонування складних систем.

Основна частина. Теоретичною основою дослідження є концепція багатокритеріальної оптимізації, що спрямована на знаходження компромісних рішень між множиною цілей. Застосовується поняття оптимальності Парето (Pareto optimality), згідно з яким рішення вважається оптимальним, якщо неможливо покращити жоден із критеріїв без погіршення іншого. Множина всіх оптимальних рішень утворює фронт Парето, який є основою для прийняття управлінських рішень.

Для пошуку оптимальних рішень Парето широкого застосування набули еволюційні алгоритми оптимізації. Алгоритм NSGA-II забезпечує ефективне наближення до фронту Парето за рахунок механізмів недомінованого сортування популяції рішень та застосування елітарної стратегії селекції [3].

Ключовою ідеєю запропонованого підходу є використання нейромережевих моделей для прогнозування динаміки системи на основі історичних даних. Рекурентні нейронні мережі архітектури LSTM здатні виявляти довгострокові залежності у часових рядах і успішно застосовуються для прогнозування попиту на електроенергію та оцінки генерації відновлюваних джерел енергії [4, 5].

Розроблена архітектура гібридної системи підтримки прийняття рішень об'єднує три взаємопов'язані модулі:

– модуль предиктивної аналітики здійснює збір та попередню обробку вхідних даних, навчання нейромережевих моделей на історичних даних та формування прогнозів ключових параметрів системи. Архітектура нейронної мережі включає два послідовні LSTM-шари, механізми регуляризації та повнозв'язний вихідний шар для формування багатокрокових прогнозів;

– модуль еволюційної оптимізації використовує прогнозні дані для формулювання задачі багатокритеріальної оптимізації стратегій управління. Застосування алгоритму NSGA-II дозволяє знайти множину Парето-оптимальних рішень, кожне з яких представляє певний компроміс між критеріями ефективності;

– інтерактивний модуль забезпечує взаємодію з особою, що приймає рішення, надаючи можливість аналізу компромісів між критеріями та вибору остаточного варіанта стратегії управління.

Адаптивність системи забезпечується механізмом безперервного навчання, що дозволяє коригувати параметри моделей на основі нових даних у процесі функціонування системи, це забезпечує стійкість до поступових змін характеристик керованого об'єкта та зовнішнього середовища.

Для експериментальної апробації було обрано задачу управління енергетичними ресурсами в мікрогриді з відновлюваними джерелами енергії. Розглядалася система з сонячними панелями, вітрогенераторами, акумуляторними батареями та підключенням до центральної енергомережі. Критеріями оптимізації виступали мінімізація витрат, мінімізація викидів парникових газів та максимізація надійності енергопостачання. Використовувалися реальні дані споживання та генерації з європейських датасетів за період дванадцяти місяців.

Експериментальне дослідження включало порівняння гібридного підходу з базовими методами: статичною оптимізацією, еволюційною оптимізацією без прогнозування та жадібним алгоритмом. Результати продемонстрували переваги запропонованого підходу за всіма показниками. Точність прогнозування досягла рівня сучасних стандартів застосування LSTM-моделей у енергетичній галузі [5]. Економічна ефективність проявилася у зниженні загальних витрат при збереженні інших критеріїв на прийнятному рівні.

Висновок. Запропонований метод адаптивного управління ресурсами, що інтегрує багатокритеріальну оптимізацію на основі еволюційних алгоритмів з нейромережевим прогнозуванням. Розроблена архітектура гібридної системи підтримки прийняття рішень об'єднує модулі предиктивної аналітики, еволюційної оптимізації та інтерактивної взаємодії з експертом. Експериментальне дослідження на задачі управління енергетичними ресурсами підтвердило ефективність запропонованого підходу порівняно з традиційними методами. Практична значущість визначається можливістю застосування розробленого підходу в різних

предметних областях: енергетика, транспортна логістика, планування виробництва та управління фінансовими портфелями. Модульна архітектура забезпечує гнучкість налаштування під специфічні вимоги конкретної предметної області. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення підходу для розподілених мультиагентних систем та інтеграцію методів пояснюваного штучного інтелекту для підвищення прозорості прийняття рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Coello, C. (2006). Evolutionary multi-objective optimization: A historical view of the field. Computational Intelligence Magazine. *IEEE Computational Intelligence Magazine.* Vol. 1, no. 1, (pp. 28-36). https://doi.org/10.1109/MCI.2006.1597059.

[2] Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Trans. Evol. Comput., 6*, (pp. 182-197). https://doi.org/10.1109/4235.996017

[3] Sak, H., Senior, A., Beaufays, F. (2014) Long short-term memory recurrent neural network architectures for large scale acoustic modeling. *Proc*. *Interspeech*, (pp. 338-342), doi: 10.21437/Interspeech.2014-80

[4] Staudemeyer, R., & Morris, E. (2019). Understanding LSTM - a tutorial into Long Short-Term Memory Recurrent Neural Networks. *ArXiv*, abs/1909.09586.

[5] Mienye, I., Swart, T., & Obaido, G. (2024). Recurrent Neural Networks: A Comprehensive Review of Architectures, Variants, and Applications. *Inf.*, 15, 517. https://doi.org/10.3390/info15090517.

Loboda Yu.G., Milchenko O.

Adaptive resource management based on multi-objective optimization with artificial intelligence methods

Abstract*. The article examines the concept of adaptive resource management based on multi-criteria optimization with the application of artificial intelligence methods. A hybrid approach combining neural network forecasting, evolutionary algorithms, and interactive expert participation mechanisms is proposed. The architecture of an intelligent decision support system and results of experimental modeling for energy resource management tasks are presented. It is demonstrated that the application of the proposed approach enables improved efficiency of resource allocation under dynamic operating conditions of complex systems.*

Keywords*: adaptive management; multi‑objective optimization; artificial intelligence; evolutionary algorithms; decision support systems; machine learning.*