Міхно Інеса, к.е.н., доцент кафедри бізнес-аналітики та цифрової економіки, Державний університет «Київський авіаційний інститут», https://orcid.org/0000-0003-3661-1965

Mikhno Inesa, PhD, associate Professor of the Department of Business Analytics and Digital Economy, The National University "Kyiv Aviation Institute", https://orcid.org/0000-0003-3661-1965

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У СИСТЕМАХ СТАЛОГО УПРАВЛІННЯ: ІНТЕГРАЦІЯ ПРИРОДНИХ ТА СОЦІАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SUSTAINABLE MANAGEMENT SYSTEMS: INTEGRATING NATURAL AND SOCIAL PROCESSES

Анотація. У статті досліджується роль штучного інтелекту як інструменту сталого управління природними та соціальними системами в умовах глобальних екологічних, економічних і соціальних викликів. Проаналізовано потенціал сучасних методів штучного інтелекту — машинного навчання, аналізу великих даних, інтелектуального моделювання та прогнозування — для підвищення ефективності управлінських рішень у сфері сталого розвитку. Особливу увагу приділено застосуванню ШІ в екологічному моніторингу, управлінні природними ресурсами, міському плануванні та соціально-економічних системах. Розглянуто основні переваги, ризики та етичні аспекти використання штучного інтелекту, а також окреслено перспективи його інтеграції у політики сталого розвитку. Отримані результати свідчать про значний потенціал ШІ як інструменту підтримки прийняття рішень, що сприяє досягненню збалансованого розвитку та підвищенню стійкості складних систем.

Ключові слова: штучний інтелект, сталий розвиток, економіко-математичні моделі, управління ресурсами, соціально-екологічні системи, прогностичне моделювання, адаптивні управлінські рішення, цифрова трансформація

Abstract. The article explores the role of artificial intelligence (AI) as a tool for the sustainable management of natural and social systems in the context of global environmental, economic, and social challenges. The potential of modern AI methods — including machine learning, big data analytics, intelligent modeling, and forecasting — is analyzed for enhancing the efficiency of managerial decision-making in the field of sustainable development. Particular attention is paid to the application of AI in environmental monitoring, natural resource management, urban planning, and socio-economic systems. The study examines the primary benefits, risks, and ethical aspects of utilizing artificial intelligence, while outlining the prospects for its integration into sustainable development policies. The results indicate that AI possesses significant potential as a decision-support tool, contributing to the achievement of balanced development and increasing the resilience of complex systems.

Keywords: artificial intelligence, sustainable development, economic-mathematical models, resource management, socio-ecological systems, predictive modeling, adaptive managerial decisions, digital transformation.

Вступ. Концепція сталого розвитку на сьогодні є фундаментальною теоретико-методологічною основою формування довгострокових стратегій соціально-економічного та екологічного розвитку. Вона передбачає гармонізацію економічних, соціальних і природоохоронних процесів з метою забезпечення стійкого функціонування суспільства в умовах зростаючих глобальних викликів. Серед таких викликів особливу актуальність мають

зміна клімату, виснаження природних ресурсів, деградація екосистем, інтенсифікація урбанізаційних процесів та посилення соціально-економічної диференціації.

Ефективне управління природними та соціальними системами в умовах їх високої складності, нелінійності та взаємозалежності потребує застосування інноваційних інструментів аналізу й підтримки прийняття рішень. Традиційні підходи управління дедалі частіше виявляються недостатніми для обробки великих масивів різнорідних даних і прогнозування динаміки складних систем у довгостроковій перспективі. У цьому контексті зростає науковий і практичний інтерес до використання штучного інтелекту як інструменту підвищення обґрунтованості управлінських рішень.

Штучний інтелект, зокрема методи машинного навчання, аналізу великих даних, інтелектуального моделювання та прогнозування, відкриває нові можливості для дослідження та управління природними й соціальними процесами. Його застосування дозволяє здійснювати оперативний моніторинг стану навколишнього середовища, оптимізувати використання природних ресурсів, підвищувати ефективність міського планування та сприяти формуванню адаптивних соціально-економічних систем.

Водночас інтеграція штучного інтелекту у процеси сталого управління супроводжується низкою методологічних, етичних і соціальних обмежень, пов’язаних із прозорістю алгоритмів, якістю та репрезентативністю даних, ризиками алгоритмічної упередженості й відповідальністю за прийняті рішення. Це зумовлює необхідність системного наукового аналізу потенціалу та меж застосування ШІ у контексті сталого розвитку.

Метою даної статті є комплексне дослідження штучного інтелекту як інструменту сталого управління природними та соціальними системами, визначення ключових напрямів його застосування, а також оцінка переваг і

потенційних ризиків впровадження відповідних технологій у управлінську практику.

Аналіз літератури. Дослідження застосування штучного інтелекту (ШІ) у сфері сталого розвитку активно розвиваються протягом останнього десятиліття, охоплюючи як природні, так і соціальні системи. У науковій літературі виділяють кілька основних напрямів.

Перший напрям стосується екологічного управління та ресурсокористування. Ряд досліджень показує, що алгоритми машинного навчання та прогнозні моделі ШІ дозволяють оптимізувати споживання енергоресурсів, зменшувати рівень забруднення та прогнозувати екологічні ризики (Van Wynsberghe, 2021). Економіко-математичні моделі з інтегрованими алгоритмами ШІ забезпечують багатокритеріальне управління природними ресурсами та дозволяють адаптивно коригувати стратегії сталого розвитку у реальному часі (Olawumi, M. A., & Oladapo, B. I., 2025).

Другий напрям охоплює соціальну сферу та управління людськими ресурсами. Дослідження вказують на ефективність ШІ у покращенні доступності соціальних послуг, плануванні робочого часу, освіти та дозвілля населення (Farrell, H. et al, 2025)). Автоматизація рутинних процесів дозволяє підвищити соціальний добробут, збільшити час на освіту та відпочинок і сприяє розвитку інклюзивних та соціально справедливих систем.

Третій напрям присвячений інституційно-технологічним аспектам інтеграції ШІ. Дослідження підкреслюють важливість стандартизації алгоритмів, цифрової трансформації органів управління та міждисциплінарної інтеграції даних для підвищення прозорості та адаптивності прийняття рішень (Saisubramanian, S. et al., 2022). Інтелектуальні системи прогнозування дозволяють динамічно коригувати

політики і стратегічні пріоритети, що є критично важливим для стійкого розвитку в умовах високої невизначеності.

Крім того, у літературі відзначається зростання інтеграції гібридних моделей, що поєднують економіко-математичні підходи з методами агент-орієнтованого моделювання та машинного навчання, що забезпечує більш точне прогнозування та адаптивне управління складними системами (Zaresefat, M., & Derakhshani, R., 2023).

Таким чином, сучасний науковий дискурс демонструє, що ШІ є ефективним інструментом для формування комплексних стратегій сталого розвитку, здатним одночасно враховувати економічні, екологічні та соціальні аспекти (Raisch, S., & Fomina, K., 2025). Проте література також зазначає необхідність подальших досліджень у сфері стандартизації методологій, оцінки ризиків алгоритмічної упередженості та інтеграції міждисциплінарних даних для забезпечення довгострокової стійкості соціально-природних систем.

Виклад основного матеріалу. Стале управління природними та соціальними системами передбачає прийняття рішень на основі комплексного аналізу багатофакторних процесів, що характеризуються високим рівнем невизначеності та динамічності. У цьому контексті штучний інтелект розглядається як інструмент, здатний інтегрувати різнорідні дані, виявляти приховані закономірності та формувати прогнозні сценарії розвитку систем.

Основними напрямами застосування ШІ у сталому управлінні є аналіз великих даних, інтелектуальне моделювання, оптимізація ресурсних потоків та підтримка прийняття управлінських рішень. Завдяки цим можливостям ШІ сприяє підвищенню адаптивності управлінських систем і забезпечує більш ефективне реагування на екологічні та соціальні виклики.

У сфері управління природними системами штучний інтелект активно використовується для екологічного моніторингу, оцінки стану екосистем та прогнозування змін навколишнього середовища. Алгоритми машинного навчання дозволяють обробляти дані дистанційного зондування Землі, кліматичні показники та результати екологічних спостережень з метою виявлення тенденцій деградації природних ресурсів.

ШІ також застосовується для оптимізації використання водних, земельних та енергетичних ресурсів. Інтелектуальні системи прогнозування сприяють зменшенню втрат, підвищенню ефективності управління та мінімізації негативного впливу антропогенної діяльності на довкілля. Особливе значення мають моделі, що поєднують екологічні, економічні та соціальні показники, забезпечуючи комплексний підхід до сталого розвитку.

Соціальні системи характеризуються складною структурою взаємодій між індивідами, інституціями та економічними процесами. Штучний інтелект використовується для аналізу соціально-економічних даних, прогнозування демографічних змін, оцінки рівня соціальної нерівності та підтримки формування ефективної соціальної політики.

Застосування ШІ у міському управлінні сприяє розвитку концепції «розумних міст», що передбачає оптимізацію транспортних систем, енергоспоживання, управління відходами та підвищення якості життя населення. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень дозволяють органам управління враховувати різні сценарії розвитку та мінімізувати соціальні ризики.

Інтеграція штучного інтелекту у державні та регіональні політики сталого розвитку створює передумови для формування науково обґрунтованих стратегій управління. ШІ сприяє підвищенню прозорості управлінських процесів, обґрунтованості стратегічного планування та ефективності використання публічних ресурсів.

Водночас ефективність впровадження інтелектуальних систем значною мірою залежить від інституційних умов, рівня цифрової зрілості та наявності відповідної нормативно-правової бази. Формування міждисциплінарного підходу, що поєднує технологічні, соціальні та управлінські аспекти, є ключовою умовою успішного застосування ШІ у сфері сталого управління.

Незважаючи на значний потенціал, застосування штучного інтелекту у сталому управлінні супроводжується низкою обмежень. До основних викликів належать проблеми якості та доступності даних, ризики алгоритмічної упередженості, недостатня прозорість моделей та складність інтерпретації результатів.

Окрему увагу необхідно приділяти етичним аспектам використання ШІ, зокрема питанням відповідальності за прийняті рішення, захисту персональних даних та забезпечення соціальної справедливості. Подолання зазначених викликів потребує розробки комплексних підходів до регулювання та контролю застосування інтелектуальних технологій у системі сталого розвитку.

Оптимізаційні моделі штучного інтелекту спрямовані на пошук найкращих управлінських рішень за наявності обмежених ресурсів і множинних критеріїв ефективності. У сфері сталого розвитку такі моделі застосовуються для оптимізації використання енергетичних, водних і земельних ресурсів, планування транспортних мереж та управління відходами.

Особливістю оптимізаційних моделей є поєднання економічних, екологічних і соціальних показників у багатокритеріальних функціях цілі. Це дозволяє формувати управлінські стратегії, орієнтовані на досягнення балансу між ефективністю та стійкістю систем.

Інтегровані гібридні моделі поєднують методи штучного інтелекту з класичними математичними, економічними та екологічними моделями.

Такий підхід дозволяє підвищити надійність прогнозів і забезпечити їх інтерпретованість для управлінських структур.

Гібридні моделі широко використовуються у стратегічному плануванні сталого розвитку, оцінці сценаріїв політик та аналізі впливу управлінських рішень на природні й соціальні системи. Вони створюють основу для формування науково обґрунтованих рішень у сфері сталого управління.

Узагальнюючи підходи, штучний інтелект у системі сталого управління може бути представлений у вигляді концептуальної моделі, що включає такі взаємопов'язані компоненти: збір і обробку даних, аналітичний модуль ШІ, систему підтримки прийняття рішень та механізми зворотного зв'язку. Така модель забезпечує адаптивне управління, орієнтоване на підвищення стійкості природних і соціальних систем.

Сталий розвиток передбачає одночасне досягнення кількох цілей, які часто є взаємно суперечливими. Економіко-математичні моделі багатокритеріального прийняття рішень дозволяють оцінювати альтернативні стратегії управління з позицій економічної ефективності, екологічної безпеки та соціальної справедливості.

Інтеграція штучного інтелекту у такі моделі забезпечує автоматизований аналіз великих масивів даних і підтримку вибору оптимальних управлінських рішень з урахуванням пріоритетів сталого розвитку.

Розглянемо систему сталого управління як динамічну багатокритеріальну задачу оптимізації, у якій одночасно враховуються економічні, екологічні та соціальні цілі.

Нехай

$$x(t) = (x_{1t}, x_{2t}, \ldots, x_{nt}) \quad (1)$$

— вектор управлінських рішень у момент часу t,

де x_{1t} — обсяг використання ресурсів, інвестицій або управлінських дій.

Визначимо три групи показників:

Економічна складова

$$E_t = f_E(x_t, z_t) \quad (2)$$

Екологічна складова

$$Q_t = f_Q(x_t, z_t) \quad (3)$$

Соціальна складова

$$S_t = f_S(x_t, z_t) \quad (4)$$

де

z_t — вектор зовнішніх факторів (ринкові умови, демографія, кліматичні чинники).

Задача управління формалізується як максимізація інтегрального критерію сталості:

$$\max F(x_t) = \sum_{t=1}^{T}(\alpha E_t - \beta Q_t + \gamma S_t) \quad (5)$$

де α, β, γ— вагові коефіцієнти пріоритетів сталого розвитку,

T — горизонт планування.

Модель доповнюється системою таких обмежень, як: ресурсні обмеження, екологічні обмеження, соціальні мінімальні стандарти, невід'ємність змінних $x_{it} \geq 0$.

Штучний інтелект використовується для апроксимації функцій:

$$\acute{E}_t = AI_E((x_t, z_t)\ ,$$

$$\acute{S}_t = AI_S((x_t, z_t)\ ,$$

$$\acute{Q}_t = AI_Q((x_t, z_t)\ , \quad (6)$$

та для адаптивного коригування ваг:

$$\alpha_t, \beta_t, \gamma_t = AI_w(y_t) \quad (7)$$

Де W позначає вектор вагових коефіцієнтів цільової функції сталого розвитку, які визначають пріоритети між економічними, екологічними та соціальними цілями на кожному кроці часу t. функція $AI_w(y_t)$означає, що штучний інтелект може адаптивно обчислювати ці ваги на основі поточного

стану системи, враховуючи зміни зовнішніх факторів, нові дані та управлінські пріоритети.

Змоделюємо міську систему управління ресурсами, де потрібно одночасно враховувати:

- економічну ефективність (E) — прибуток від інфраструктурних проектів;
- екологічну безпеку (Q) — рівень забруднення повітря;
- соціальний вплив (S) — доступність послуг для населення.

На час t дані системи показують:

- забруднення повітря високі;
- економічні показники задовільні;
- соціальні послуги на середньому рівні.

Тобто екологічна проблема є критичною.

ШІ аналізує дані y_t і формує ваги (α (нехай, 0,3), β (пріоритет – 0,5), γ (нехай 0,2) пропорційно важливості кожного критерію.

ШІ через алгоритми прогнозування може динамічно коригувати ваги на наступні періоди: наприклад, якщо забруднення зменшиться, то вага екології знизиться, а економіка та соціум отримають більший пріоритет.

$$F(x_t) = 0{,}3E_t - 0{,}5Q_t + 0{,}2S_t$$

Таким чином, управлінські рішення стають динамічними та збалансованими між економічними, екологічними та соціальними цілями.

Результатом від впровадження алгоритму, що зображено на рис. 1 може стати:

- Баланс економіки, екології та соціуму: завдяки динамічним вагам W та прогнозуванню на основі ШІ;
- Підвищення стійкості системи: управлінські рішення враховують майбутні сценарії розвитку, ресурси розподіляються оптимально;

•Покращення якості життя: люди отримують більше часу для навчання, творчості та відпочинку, що стимулює соціальне зростання і довгострокову стійкість.



Рис. 1. Алгоритм впливу застосування штучного інтелекту на формування управлінських рішень

У найближчі 2 роки прогнозується розвиток ШІ, що зображено у табл. 1.

Прогноз розвитку застосування штучного інтелекту у сталому управлінні природними та соціальними системами свідчить про його ключову роль у забезпеченні балансованого поєднання економічних, екологічних та соціальних цілей; завдяки адаптивному формуванню пріоритетів управлінських рішень (вектор ваг $W=(\alpha,\beta,\gamma)$ ШІ дозволяє підвищити ефективність ресурсокористування, прогнозувати екологічні ризики та оптимізувати соціальні процеси, включно з підвищенням доступності освітніх і соціальних послуг, забезпеченням соціальної інклюзії та збільшенням часу населення для навчання і відпочинку.

Таблиця 1

Прогноз розвитку застосування штучного інтелекту у сталому управлінні природними та соціальними системами

Тенденції	Соціально-екологічний ефект	Інституційні та технологічні перспективи
Зростаюча інтеграція штучного інтелекту як ключового інструменту управління складними природними та соціальними системами. Основними драйверами цього процесу є здатність ШІ до обробки великих обсягів даних, моделювання сценаріїв розвитку та підтримки прийняття управлінських рішень на основі прогнозних моделей.	Автоматизація рутинних процесів, що зменшує навантаження на населення та дозволяє більше часу виділяти на освіту, професійний розвиток та відпочинок;	Розвиток цифрової інфраструктури та забезпечення доступу до великих даних, що підвищує точність моделей та прогнозів;
Інтенсифікація інтеграції ШІ у державні, регіональні та корпоративні системи управління, що сприятиме підвищенню ефективності ресурсокористування та прискоренню прийняття рішень;	Підвищення стійкості природних систем через оптимізацію використання ресурсів та своєчасне реагування на екологічні ризики;	Стандартизація та регулювання алгоритмів ШІ, що дозволяє мінімізувати ризики алгоритмічної упередженості та забезпечити прозорість управлінських рішень;
Розвиток гібридних моделей, що поєднують економіко-математичні, агент-орієнтовані та прогностичні підходи, підвищуючи точність аналізу та адаптивність управлінських стратегій;	Стимулювання соціального розвитку за рахунок прогнозування потреб населення та оптимізації соціальних програм, що враховують добробут та рівень залученості громадян.	Міждисциплінарна інтеграція даних з економіки, екології, соціології та урбаністики для формування комплексних стратегій сталого розвитку.
Поширення прогнозних аналітичних систем, які дозволяють оцінювати вплив управлінських рішень на економіку, екологію та соціальну сферу у довгостроковій перспективі.	Покращення рівня інклюзії та доступності послуг, що сприяє підвищенню соціальної справедливості та формує більш збалансовану соціальну систему.	Інтелектуальне прогнозування та адаптація стратегій і кадрових змін, що підвищує адаптивність інституцій, сприяє ефективному використанню ресурсів та зменшує ризики, пов’язані з невизначеністю.

Інтеграція ШІ сприяє розвитку інституційної адаптивності шляхом інтелектуального прогнозування та динамічного коригування політик, підвищує прозорість управлінських рішень і стандартизацію практик, що у підсумку створює умови для довгострокового сталого розвитку, покращення добробуту населення та збалансованого використання природних ресурсів у контексті цифрової трансформації суспільства.

Висновки

1. Штучний інтелект як інструмент сталого управління демонструє високий потенціал у підвищенні ефективності управлінських рішень у природних та соціальних системах, забезпечуючи інтеграцію економічних, екологічних і соціальних показників у єдину аналітичну систему.

2. Економіко-математичні та гібридні моделі, інтегровані з алгоритмами штучного інтелекту, дозволяють формалізувати складні нелінійні залежності між ресурсами, економічними результатами, екологічним станом та соціальними ефектами, забезпечуючи багатокритеріальне та адаптивне управління.

3. Прогностичні та оптимізаційні моделі ШІ забезпечують можливість оцінки сценаріїв розвитку та автоматизованого коригування управлінських рішень у реальному часі, що сприяє підвищенню стійкості систем, зменшенню ризиків і більш збалансованому використанню природних ресурсів.

4. Соціальні ефекти впровадження ШІ включають оптимізацію часу населення для освіти та відпочинку, підвищення доступності соціальних і освітніх послуг, забезпечення інклюзії та підвищення добробуту громадян, що створює умови для сталого соціального розвитку.

5. Інституційно-технологічні ефекти полягають у підвищенні адаптивності органів управління через інтелектуальне прогнозування,

стандартизацію та прозорість рішень, що дозволяє формувати довгострокові стратегії сталого розвитку у контексті цифрової трансформації суспільства.

6. Прогнозні сценарії свідчать, що інтеграція ШІ у сталому управлінні природними та соціальними системами здатна забезпечити оптимальний баланс між ефективністю ресурсокористування, екологічною безпекою та соціальним добробутом, створюючи передумови для довгострокової стійкості та високої якості життя населення.

Список використаних джерел:

1. Farrell, H., Gopnik, A., Shalizi, C., & Evans, J. (2025). Large AI models are cultural and social technologies. *Science*, *387*(6739), 1153-1156.

2. Olawumi, M. A., & Oladapo, B. I. (2025). AI-driven predictive models for sustainability. *Journal of Environmental Management*, *373*, 123472.

3. Raisch, S., & Fomina, K. (2025). Combining human and artificial intelligence: Hybrid problem-solving in organizations. *Academy of Management Review*, *50*(2), 441-464.

4. Saisubramanian, S., Zilberstein, S., & Kamar, E. (2022). Avoiding negative side effects due to incomplete knowledge of AI systems. *AI magazine*, *42*(4), 62-71.

5. Van Wynsberghe, A. (2021). Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI. *AI and Ethics*, *1*(3), 213-218.

6. Zaresefat, M., & Derakhshani, R. (2023). Revolutionizing groundwater management with hybrid AI models: A practical review. *Water*, *15*(9), 1750.

References

1. Farrell, H., Gopnik, A., Shalizi, C., & Evans, J. (2025). Large AI models are cultural and social technologies. Science, 387(6739), 1153-1156 [in English].

2. Olawumi, M. A., & Oladapo, B. I. (2025). AI-driven predictive models for sustainability. Journal of Environmental Management, 373, 123472 [in English].

3. Raisch, S., & Fomina, K. (2025). Combining human and artificial intelligence: Hybrid problem-solving in organizations. Academy of Management Review, 50(2), 441-464 [in English].

4. Saisubramanian, S., Zilberstein, S., & Kamar, E. (2022). Avoiding negative side effects due to incomplete knowledge of AI systems. AI magazine, 42(4), 62-71 [in English].

5. Van Wynsberghe, A. (2021). Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI. AI and Ethics, 1(3), 213-218 [in English].

6. Zaresefat, M., & Derakhshani, R. (2023). Revolutionizing groundwater management with hybrid AI models: A practical review. Water, 15(9), 1750 [in English].