

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ: ВИКЛИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Інеса Міхно, кандидат економічних наук, доцент
Національний авіаційний університет
03058, просп. Гузара Любомира, 1, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3661-1965>
e-mail: inessa.mihno@npp.nau.edu.ua

Прогнозування екологічно-економічних систем є однією з ключових задач сучасної науки, оскільки забезпечує основу для прийняття обґрунтованих рішень щодо сталого розвитку та ефективного управління природними ресурсами, економічними процесами та їх взаємодією. Еколого-економічні системи являють собою складні, багатофункціональні системи, що включають взаємозв'язок екологічних процесів (наприклад, забруднення навколишнього середовища, використання природних ресурсів) і економічних показників (зростання ВВП, виробничі витрати, зайнятість, інвестиції) та взаємодіють на частіше в умовах певної невизначеності. Прогнозування екологічно-економічних систем залишається важливим, але складним завданням, що вимагає комплексного підходу, здатного поєднувати різні методи та враховувати численні фактори. Досягнення точності прогнозів і мінімізація ризиків залежать від розвитку нових методів, кращого розуміння механізмів взаємодії екологічних і економічних процесів, а також від ефективної співпраці між науковцями, громадами, державними установами та бізнесом для реалізації принципів сталого розвитку.

Прогнозування екологічно-економічних систем в Україні стикається з численними складнощами, зокрема через політичну та економічну нестабільність, відсутність комплексних і інтегрованих даних, а також складність в інтеграції екологічних і економічних параметрів. Вплив зовнішніх факторів, таких як глобальні економічні зміни та війна, значно ускладнює створення точних прогнозів. Окрім того, високий рівень забруднення навколишнього середовища, зміни клімату та проблеми адаптації до сталого розвитку додають додаткові труднощі. Низький рівень екологічної свідомості та обмежена громадська участь у питаннях сталого розвитку, а також невизначеність у впливі змін клімату і технічних інновацій, ще більше ускладнюють оцінку довгострокових наслідків. Ці фактори створюють значні труднощі для прогнозування, однак водночас відкривають можливості для вдосконалення методів, розвитку міждисциплінарних підходів та інтеграції новітніх технологій у процес прогнозування. У світі прогнозування еколого-економічних систем найчастіше стикається з такими проблемами:

- складність і нелінійність взаємодії між їх елементами. Моделювання таких складних систем вимагає інтеграції численних факторів, серед яких природні, соціальні, технічні та економічні компоненти. Змінність і невизначеність параметрів, таких як попит на ресурси, рівень забруднення або ефективність екологічної політики, можуть значно ускладнити точність прогнозів;
- вплив зовнішніх факторів: глобальні зміни клімату, технологічні інновації, зміни у міжнародній економіці або політичних ситуаціях. Ці фактори часто важко передбачити, і їх вплив на систему може бути значним і непередбачуваним, що створює додаткові труднощі в створенні довгострокових прогнозів;
- адаптивність. Це адаптаційне реагування, що може бути як швидким, так і дуже повільним, залежно від характеру і масштабів змін. Тому прогнози часто мають великий ступінь невизначеності через постійні зміни в параметрах системи, які залежать від безлічі чинників;
- прогнозування ЕЕС потребує міждисциплінарного підходу, оскільки для аналізу цих систем важливо поєднувати знання з таких різних галузей, як екологія, економіка, соціологія, статистика та системний аналіз. Це ускладнює розробку універсальних моделей, які б могли точно охопити всі аспекти взаємодії природних і економічних процесів;

- невизначеність результатів через складність і багатофакторність взаємодії елементів. Тому важливо враховувати не лише основні сценарії розвитку, а й можливі ризики, що можуть виникнути внаслідок кризових ситуацій або неочікуваних змін. У цьому контексті важливо розглядати прогнози як інструменти для управління ризиками та забезпечення сталого розвитку, а не як точне передбачення майбутнього;
- інновації в галузі великих даних, штучного інтелекту, машинного навчання та комп'ютерного моделювання відкривають нові можливості для точнішого і оперативнішого прогнозування екологічно-економічних систем. Однак застосування таких технологій потребує висококваліфікованих фахівців і створення адекватних інструментів для інтеграції та аналізу складних даних;
- зв'язок з принципами сталого розвитку, яке вимагає балансування економічних, екологічних та соціальних інтересів. Роль державної політики, національних і міжнародних регуляцій, спрямованих на обмеження негативного впливу людської діяльності на навколишнє середовище, є критично важливою для формування науково обґрунтованих прогнозів.

Для прогнозування екологічно-економічних систем застосовуються різноманітні методи, включаючи економетричні моделі, системний аналіз, експертні оцінки, сценарні підходи, а також методи моніторингу та аналізу даних. Однак жоден з цих методів не є універсальним і вимагає точного налаштування під специфіку кожної конкретної ситуації.

При аналізі ініціатив та проєктів розвинутих країн, які можуть слугувати моделями для покращення прогнозування екологічно-економічних систем в Україні потрібна їх адаптація до реалій України та трансформація з урахуванням культурних і ментальних цінностей української спільноти. Однак, у розвинутих країнах існують методи, що демонструють, міждисциплінарні підходи та співпрацю з міжнародними партнерами для вирішення екологічних та економічних проблем (табл. 1).

Таблиця 1 – Можливі напрямки покращення прогнозування екологічно-економічних систем в Україні

№	Назва	Пояснення	Приклад
1	Покращення збору та інтеграції даних	Створення єдиної системи збору і обробки даних про екологічні та економічні процеси, що забезпечить їх взаємодію.	Німеччина: Проєкт " Umwelt Datenbank " — національна база даних, що інтегрує екологічні дані (викиди, використання ресурсів) для моніторингу екологічних змін в реальному часі.
2	Розвиток міждисциплінарних досліджень та співпраці	Заохочення співпраці між фахівцями з різних галузей (екологія, економіка, соціологія) для розробки комплексних моделей.	США: Проєкт " The Integrated Assessment Modeling (IAM) " — міждисциплінарне моделювання, яке об'єднує екологічні, економічні та соціальні аспекти для оцінки впливу змін клімату на економіку країни.
3	Використання сучасних технологій та моделей	Застосування технологій Big Data, AI, машинного навчання та комп'ютерного моделювання для створення точних прогнозів.	Фінляндія: Проєкт " Smart Forests " — використання IoT та великих даних для моніторингу здоров'я лісів, прогнозування впливу змін клімату на лісове господарство та лісову економіку.
4	Розвиток екологічної свідомості та громадської участі	Активна участь громадськості та бізнесу в питаннях сталого розвитку та екологічної політики для покращення точності прогнозів.	Швеція: Кампанія " Fossil Free Sweden " — ініціатива уряду, яка заохочує бізнеси та громадян до участі у скороченні викидів CO ₂ через інвестиції в зелені технології та екологічно чисту енергетику.

№	Назва	Пояснення	Приклад
5	Удосконалення екологічної та економічної політики	Розробка науково обґрунтованих довгострокових стратегій сталого розвитку, що інтегрують екологічні, економічні та соціальні аспекти.	Канада: "Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change" — стратегія, що включає заходи для скорочення викидів, підтримку інновацій в зеленій енергетиці та сталий економічний розвиток.
6	Інтеграція сталого розвитку у державне планування	Врахування екологічних факторів при розробці національних та місцевих стратегій розвитку.	Нідерланди: Проект "Green Deal" — урядова ініціатива для інтеграції сталих практик в міське планування та інфраструктуру, включаючи використання відновлюваних джерел енергії та скорочення викидів CO ₂ у містах.
7	Розвиток інфраструктури для управління екологічними ризиками	Створення національних та регіональних систем для оцінки та управління екологічними ризиками, що дозволяють оперативно реагувати на катастрофи.	Японія: "Smart City Projects" — розвиток інфраструктури для швидкого реагування на природні катастрофи (землетруси, цунамі) за допомогою інтелектуальних систем моніторингу навколишнього середовища та автоматизованих протипожежних систем.
8	Міжнародна співпраця	Співпраця з міжнародними організаціями для обміну досвідом та впровадження глобальних практик сталого розвитку.	Європейський Союз: "Horizon 2020" — програма, яка фінансує міжнародні дослідження та інновації в сфері кліматичних змін, екологічної безпеки та сталого розвитку, включаючи спільні проекти між країнами-членами.

Джерело: складено авторами на основі [1]

Країни, що лідирують у прогнозуванні екологічно-економічних систем, активно застосовують передові технології та інноваційні підходи для створення точних і оперативних прогнозів. Наприклад, Німеччина використовує інтеграцію екологічних і економічних даних через національні бази даних, що дозволяє прогнозувати вплив змін на навколишнє середовище і економіку. Швеція застосовує екологічне макроекономічне моделювання для розрахунку наслідків змін клімату і активно впроваджує стратегії сталого розвитку, у тому числі через політики щодо викидів CO₂. США мають розвинену систему оцінки змін клімату за допомогою моделей інтегрованого оцінювання, таких як National Climate Assessment, де аналізуються наслідки для економіки різних секторів, від сільського господарства до енергетики. Нідерланди використовують геоінформаційні системи та супутникові технології для моніторингу екологічних процесів і прогнозування їх впливу на інфраструктуру та сільське господарство, а Фінляндія застосовує Інтернет речей та великі дані для моніторингу здоров'я лісів і прогнозування змін у лісовому господарстві. Японія є лідером у використанні інтелектуальних систем для прогнозування природних катастроф, таких як землетруси та цунамі, а Великобританія активно працює з моделями, що оцінюють економічні і екологічні наслідки кліматичних змін, зокрема через інструменти Carbon Budgeting. Канада розвиває інтегровані моделі сталого розвитку в рамках програми "Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change", де прогнозуються економічні наслідки змін клімату для таких секторів, як енергетика і транспорт. Усі ці країни мають спільну рису — використання новітніх технологій, таких як великі дані, штучний інтелект, супутникові знімки та цифрові моделі, що дозволяє їм ефективно прогнозувати зміни в екологічних і економічних системах, а також адаптуватися до майбутніх викликів.

Інноваційні технології відкривають нові можливості для покращення прогнозування екологічно-економічних систем. Використання великих даних (Big Data) дозволяє обробляти величезні обсяги інформації в реальному часі для виявлення нових патернів і трендів, а шту-

чний інтелект (AI) та машинне навчання забезпечують створення адаптивних моделей для прогнозування складних екологічних і економічних процесів. Інтернет речей (IoT) надає можливість моніторингу довкілля через датчики, що з'єднані в єдину мережу, а супутникові технології та геоінформаційні системи (GIS) дозволяють відстежувати глобальні екологічні зміни. Технологія блокчейн може сприяти прозорості в управлінні природними ресурсами, а цифрові близнюки дозволяють створювати віртуальні моделі реальних систем для точнішого прогнозування їх поведінки. Також інтерфейси між людиною та машиною, зокрема VR та AR, допомагають візуалізувати прогнози й полегшують прийняття рішень у сфері екологічної політики та економіки, що в сукупності дозволяє досягати більш точних і оперативних прогнозів щодо екологічних і економічних змін.

Прогнозування екологічно-економічних систем є критично важливим для сталого розвитку, оскільки дозволяє вчасно виявляти потенційні ризики та можливості, пов'язані з екологічними змінами та економічними процесами. Сучасні підходи до прогнозування ЕЕС вимагають інтеграції різноманітних даних, включаючи екологічні, економічні та соціальні індикатори, що дозволяє створювати більш точні та обґрунтовані прогнози.

Країни, що лідирують у цій сфері, активно застосовують інноваційні технології, такі як великі дані, штучний інтелект, Інтернет речей, геоінформаційні системи та супутникові технології. Це дозволяє їм ефективно моніторити навколишнє середовище, прогнозувати вплив змін клімату, забруднення та природних катастроф на економіку і соціальну сферу. Розвинені моделі сталого розвитку, що об'єднують екологічні та економічні аспекти, є основою для розробки політик, які сприяють не тільки збереженню природних ресурсів, але й забезпеченню економічної стабільності.

Аналіз досвіду країн, таких як Німеччина, Швеція, США, Нідерланди, Фінляндія, Японія, Велика Британія та Канада, показує важливість міждисциплінарного підходу до прогнозування ЕЕС та створення національних і міжнародних інструментів для інтеграції екологічних і економічних моделей. Крім того, ці країни демонструють успіх у застосуванні інноваційних технологій для управління ризиками та адаптації до змін, зокрема через використання цифрових близнюків, блокчейн-технологій, а також інтеграцію прогнозування змін клімату в державне і бізнес-планування.

Для України важливим є перенесення цих успішних практик з урахуванням національних особливостей. У країні необхідно розвивати інфраструктуру для збору та аналізу даних, посилювати міждисциплінарне співробітництво та застосовувати сучасні технології для прогнозування змін в екологічно-економічних системах. Тільки таким чином можна забезпечити сталий розвиток і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та економіку, що є важливим для майбутнього країни.

Таким чином, розвиток технологій прогнозування ЕЕС має величезний потенціал для покращення управління природними ресурсами, зменшення екологічних ризиків та забезпечення економічної стійкості. Це не тільки сприятиме досягненню цілей сталого розвитку, але й допоможе створити більш справедливую та екологічно безпечну глобальну економіку.

Література:

1. European Union. (2012). *WEEE Directive, 2012/19/EU*. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
2. European Environment Agency. (2022). *The European environment: State and outlook 2020*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/soer/2020>
3. World Bank. (n.d.). *Environmental projects*. The World Bank. Retrieved November 27, 2024, from <https://www.worldbank.org/en/topic/environment>