

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Острозька академія»
Економічний факультет
Кафедра економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня магістра

на тему: **«Моделювання впливу економічного розвитку
на навколишнє середовище»**

Виконала:

студентка 2 курсу, групи МЕК-61
спеціальності 051 «Економіка»
освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
Гурина Марія Миколаївна

Керівник:

кандидат психологічних наук, доцент
Зубенко Ігор Ростиславович

Рецензент:

Front-end Developer “DOODLE”, LLC
Місай Володимир Віталійович

"РОБОТА ДОПУЩЕНА ДО ЗАХИСТУ"

**Завідувач кафедри економіко-математичного моделювання
та інформаційних технологій _____ (проф. Ольга КРИВИЦЬКА)**
(підпис)

Протокол № 5 від 24 листопада 2022 р.

Острог, 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОСТРОЗЬКА АКАДЕМІЯ»

Економічний факультет
Кафедра економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій
Спеціальність 051 «Економіка»
Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
економіко-математичного
моделювання та інформаційних
технологій

проф., д.е.н. Ольга КРИВИЦЬКА
“ ____ ” _____ 202__ року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Гуриної Марії Миколаївни

1. Тема роботи: **Моделювання впливу економічного розвитку на навколишнє середовище**

керівник роботи: *Зубенко Ігор Ростиславович, кандидат психологічних наук, доцент*

затверджено наказом ректора Національного Університету «Острозька академія» від 29 жовтня 2021 р. №110

2. Термін здачі студентом закінченої роботи на кафедрі: *09 грудня 2022 року*

3. Вихідні дані до роботи: *наукові праці вчених в галузі економічного розвитку та забезпечення сталості розвитку навколишнього середовища країн, дані Світового банку, дані нормативно-правових документів в сфері забезпечення стійкого економічного та екологічного розвитку.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *1) теоретичні аспекти дослідження моделювання впливу факторів на навколишнє середовище; 2) методичні засади моделювання благополуччя навколишнього середовища; 3) прогнозування та регулювання екологічного стану та економічного розвитку в Україні.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): графічно візуалізувати моделі багатофакторної функції, функції STRIPAT та прогнозування рівня забруднення, схематично відобразити динаміку показників впливу на середовище.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Зубенко І.Р., кандидат психологічних наук, доцент кафедри економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій	02.03.2022	02.03.2022
Розділ 2	Зубенко І.Р., кандидат психологічних наук, доцент кафедри економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій	04.05.2022	04.05.2022
Розділ 3	Зубенко І.Р., кандидат психологічних наук, доцент кафедри економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій	29.05.2022	29.05.2022

7. Дата видачі завдання: 01 листопада 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вивчення літератури	до 03.02.2022	
2.	Розробка змісту (плану)	до 02.03.2022	
3.	Ознайомлення керівника з текстом кваліфікаційної роботи (чорновий варіант):		
3.1	Розділ 1	до 04.05.2022	
3.2	Розділ 2	до 29.05.2022	
3.3	Розділ 3	до 30.09.2022	
4.	Ознайомлення керівника з текстом кваліфікаційної роботи із врахуванням зауважень	до 16.11.2022	
5.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	до 23.11.2022	
6.	Рецензування кваліфікаційної роботи	до 09.12.2022	
7.	Здача роботи на кафедру Реєстрація на Moodle	до 09.12.2022	

Студент _____ Марія ГУРИНА

Керівник роботи _____ Ігор ЗУБЕНКО

АНОТАЦІЯ
кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня магістра

Тема: «**Моделювання впливу економічного розвитку на навколишнє середовище**»

Автор: Гурина Марія Миколаївна

Науковий керівник: кандидат психологічних наук, доцент Зубенко Ігор Ростиславович

Захищена «.....».....2022 року.

Короткий зміст праці:

Вже в кінці ХІХ століття піднімалося питання екологічної проблематики і його як фактору впливу на соціально-економічний розвиток. Сьогодні розвиток економіки безумовно впливає на довкілля, оскільки створення нових виробництв призводить як і до позитивних, так і негативних змін в навколишньому середовищі. А сталий розвиток - це один з головних курсів постіндустріального суспільства. Тому у першому розділі дослідження розкрито питання важливості сталого розвитку для екологічного благополуччя, особливості його забезпечення і його зв'язок з національною безпекою. Також охарактеризовано показники що використовуються для оцінювання навколишнього середовища, такі як комплексний екологічний показник, індекс екологічної стійкості, індекс розвитку людського потенціалу як агрегований індикатор сталого розвитку, «екологічний слід» та інші. У другому розділі проаналізовано різні підходи до моделювання екологічного стану країни, а саме модель розрахунку інтегрованого еколого-економічного показника з функцією забруднення, модель на основі розсіювання за формулами Гауса, моделі поверхні трансформації, факторний аналіз, ІРАТ та STRIPAT моделі та інші. Потім, для того, щоб побудувати економетричну модель залежності екологічного стану України від показників економічного розвитку, був обраний результативний показник – рівень забруднення повітря частками РМ_{2,5}. А факторними ознаками були обрані такі показники: індекс промислового виробництва в Україні, ВВП на душу населення за паритетом купівельної спроможності, прямі іноземні інвестиції в країну, частка інвестиційних витрат в структурі ВВП, частка виробництва енергії в Україні за допомогою відновлюваних джерел. І опісля порівняно результати цієї моделі з моделлю STRIPAT. Третій розділ дає нам зрозуміти прогноз за даною моделлю рівня забрудненості на наступний період, а також економічну ефективність впровадження даної моделі. І окрім того, описані різні напрями покращення екологічного стану та економічного розвитку в Україні.

Ключові слова: економіко-екологічне моделювання, сталий розвиток, економічне зростання, забруднення.

_____ *Марія ГУРИНА*

ANNOTATION
qualification work
to obtain a master's degree

Topic:

Author:

Academic supervisor: Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor
Ihor Zubenko

Protected by ".....".....2022.

Summary of the work:

At the end of the 19th century, the issue of environmental issues and its impact on socio-economic development was raised already. Nowadays, the development of the economy definitely affects the environment, since the creation of new industries leads to both positive and negative changes in the environment. And sustainable development is one of the main courses of post-industrial society. Therefore, in the first chapter of the study, the question of the importance of sustainable development for ecological well-being, the peculiarities of its provision and its connection with national security is revealed. Indicators used for environmental assessment are also characterized, such as a comprehensive environmental indicator, an index of ecological sustainability, an index of human potential development as an aggregated indicator of sustainable development, "ecological footprint" and others. The second chapter analyzes various approaches to modeling the ecological state of the country, namely the model for calculating the integrated ecological and economic indicator with the pollution function, the model based on Gaussian scattering, transformation surface models, factor analysis, IPAT and STRIPAT models, and others. Then, in order to build an econometric model of the dependence of the ecological state of Ukraine on indicators of economic development, an effective indicator was chosen - the level of air pollution with PM2.5 particles. And the following indicators were chosen as factor indicators: the index of industrial production in Ukraine, GDP per capita at purchasing power parity, direct foreign investments in the country, the share of investment costs in the structure of GDP, the share of energy production in Ukraine using renewable sources. And then the results of this model were compared with the STRIPAT model. The third section allows us to understand the forecast based on this model of the level of pollution for the next period, as well as the economic efficiency of the implementation of this model. And in addition, various directions for improving the ecological condition and economic development in Ukraine are described.

Keywords: economic-ecological modeling, sustainable development, economic growth, pollution.

_____ *Mariia HURYNA*

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	7
1.1. Сутність сталого розвитку як запоруки екологічного благополуччя	7
1.2. Характеристика показників оцінювання навколишнього середовища	12
1.3. Особливості забезпечення сталого економіко-екологічного розвитку	18
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ МОДЕЛЮВАННЯ БЛАГОПОЛУЧЧЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	26
2.1. Підходи до моделювання екологічного стану країни	26
2.2. Аналіз даних та відбір факторів показників моделювання	36
2.3. Моделювання впливу показників економічного розвитку на стан навколишнього середовища в Україні	47
РОЗДІЛ 3. ПРОГНОЗУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТА ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ В УКРАЇНІ	62
3.1. Прогнозування екологічного стану в Україні	62
3.2. Економічна ефективність впровадження запропонованої моделі	68
3.3. Напрями покращення екологічного стану та економічного розвитку в Україні	75
ВИСНОВКИ	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89
ДОДАТКИ	97

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Екологічна проблематика ще три десятиліття тому сприймалася як один із факторів обмеження соціально-економічного розвитку, проте в даний час, у межах уявлення про еколого-економічну стійкість, екологічні пріоритети є рівноправними із соціальними та економічними. Якість довкілля як особливе благо та мета розвитку є ознакою постіндустріального суспільства. Стійкий розвиток традиційно сприймається в контексті екологічної безпеки господарської діяльності, проте дослідження постіндустріального суспільства та проблем глобалізації внесли корективи до цих уявлень.

Розвиток економіки пов'язаний із впливом на довкілля, оскільки створення нових та розширення існуючих виробництв призводить до позитивних економічних та соціальних результатів, але має і негативні сторони, зокрема може погіршуватися екологічна обстановка. Тому важливою науковою проблемою є оцінка впливу економічного розвитку на довкілля. Складність полягає у неоднозначності впливу залежно від виду діяльності та структури інвестицій – створення нових виробництв збільшує тією чи іншою мірою навантаження, а модернізація виробництв може її суттєво знизити.

Різні сценарії розвитку економіки України або її регіонів можуть призводити до позитивних або ж негативних екологічних наслідків, які важливо враховувати при прийнятті рішень. Для вирішення поставленої проблеми насамперед необхідна розробка відповідного інструментарію, математичних моделей та методик, які дозволять дослідити взаємозв'язок економічних та екологічних показників, виявити існуючі закономірності та зробити необхідні оцінки. Потрібно побудувати нові, досить прості та зручні для аналізу спостережуваних процесів моделі, які описують зв'язок показників, які характеризують навколишнє середовище, та економіко-соціальних показників, параметри яких мали б певний зміст, зрозумілий економістам та екологам. Дані моделі повинні дозволити

визначати взаємозв'язок параметрів функцій та показників різних рівнів (економіки в цілому та окремих галузей або макрорегіонів), оцінювати вплив структурних зрушень в економіці та зміни структури інвестицій за видами, досліджувати розподіл ресурсів між галузями (макререгіонами) та прогнозувати оптимальні та достовірні значення за різними критеріями.

Розвиток економіки призводить, в основному, до кількісного зростання, більшість проектів здійснює частіше за все негативний вплив, створення нових виробництв збільшує тією чи іншою мірою навантаження на довкілля. Інші проекти, інноваційні та пов'язані зі зміною структури економіки, можуть мати позитивний вплив, наприклад, модернізація виробництва, перехід до нових технологій можуть суттєво знизити навантаження на навколишнє середовище. Слід зазначити, що основний вплив мають реконструкція і технічне переозброєння виробництва, пов'язані з вкладеннями у машини та устаткування.

Вплив економічних факторів на навколишнє середовище досліджували такі науковці: Аверкіна М. Ф., Акоюн В., Александров І. О., Антонюк О. П., Артемчук В. О., Батлук В. А., Гавриш О. А., Григорків В. С., Крихівський М. В., Новікова О. Ф., Огаренко Т. Ю., Пашута М. Т., Сафранов Т. А., Тарасенко Д. Л., Тимошенко Л. В., Третьяк О. О., Хаапанен Л., Кузнець С., Несвіт К., Ромер Р., Солоу Р. Проте, удосконалення потребують принципи побудови економетричних моделей залежності благополуччя навколишнього середовища від факторів економічного розвитку країни.

Мета кваліфікаційного дослідження – здійснення моделювання впливу економічного розвитку на навколишнє середовище України. Відповідно до мети, були поставлені такі завдання:

- Проаналізувати сутність сталого розвитку як запоруки екологічного благополуччя;
- Здійснити характеристику показників оцінювання навколишнього середовища;

- Визначити особливості забезпечення сталого економіко-екологічного розвитку;
- Проаналізувати підходи до моделювання екологічного стану країни;
- Здійснити аналіз даних та відбір факторів показників моделювання;
- Здійснити моделювання впливу показників економічного розвитку на стан навколишнього середовища в Україні;
- Виконати прогнозування екологічного стану в Україні;
- Оцінити економічну ефективність впровадження запропонованої моделі;
- Визначити напрями покращення екологічного стану та економічного розвитку в Україні.

Об'єктом роботи є вплив економічного розвитку на навколишнє середовище України. Предметом роботи є економіко-екологічний розвиток України.

Виконане дослідження передбачає застосування деяких методів наукового дослідження. Метод абстрагування в роботі використаний для розробки різних абстрактних від конкретності понять. Моделювання – це метод наукового пізнання, сутність якого полягає в заміні при дослідженні досліджуваного предмета або явища спеціально влаштованою аналогічною моделлю, що містить істотні риси оригіналу. В даному дослідженні моделювання було використано для дослідження залежності показників екологічного стану атмосферного повітря від показників економічного розвитку України. Прийом деталізації узагальнюючих економічних показників дозволяє розкривати їх послідовно: виявлені при первісній деталізації складові показники піддаються подальшій деталізації, яка триває до встановлення першопричин тих чи інших результатів.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в результаті дослідження була апробована модель оцінки залежності показників екологічного стану

атмосферного повітря (середньорічний рівень часток PM_{2,5} в повітрі) від показників економічного розвитку України (ВВП на душу населення за паритетом купівельної спроможності, індекс промислового виробництва, прямі іноземні інвестиції, рівень валових приватних інвестиційних витрат у відсотках від ВВП, частка виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел у відсотках від загального виробництва).

Інформаційною базою дослідження є наукові праці вчених в галузі економічного розвитку та забезпечення сталості розвитку навколишнього середовища країн, дані Світового банку, дані нормативно-правових документів в сфері забезпечення стійкого економічного та екологічного розвитку.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який складається з 73 найменувань, 1 додатку. Кваліфікаційна робота містить 8 таблиць, 13 рисунків. Основний текст викладено на 83 сторінках.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

1.1. Сутність сталого розвитку як запоруки екологічного благополуччя

У літературі, присвяченій питанням сталого розвитку, відзначається значущість спроможності промисловості до розв'язання основних завдань соціально-економічного зростання у складних умовах, з огляду на ефективне використання її трудового, науково-технічного, виробничого, ресурсного, соціального та екологічного потенціалу. Як зазначає Несвіт К., «в роботах закордонних дослідників (Енріке, Кнорінги, Сераджелдіно, Шнайдера, Штрибул, Ходжсона) простежується намагання узагальнити та відзначити роль соціального потенціалу у досягненні цілей стійкого розвитку, дослідити шляхи його капіталізації і впливу на обсяг створюваної доданої вартості, в той час як вітчизняні вчені (Антонюк, Грішнова, Кіндзерський, Коваль, Колота, Новікова та ін.) зосереджуються більше на визначенні складових соціального потенціалу промисловості, обґрунтуванні пріоритетних напрямів його нарощування. Зважаючи на вагомий науковий внесок проведених досліджень, відзначимо, однак, недостатнє урахування впливу кластерного чиннику розвитку промисловості, а саме можливостей соціального потенціалу промислових комплексів та об'єднань, що призводить до втрати критично важливих елементів, таких як усталена соціальна спільність, встановлення міцних виробничих взаємин, функціонування на засадах довіри, співпраці і взаємодопомоги, ощадливого використання наявних ресурсів» [69, с. 66].

Рівень розвитку країни – це економіко-екологічна категорія, що характеризує забезпеченість населення матеріальними і духовними благами, а також ступінь задоволення суспільно визнаних потреб, які відповідають

соціально-економічному розвитку країни. Для оцінки рівня і якості життя населення держави, регіонів використовуються різні методики, проте єдиний показник, що дає об'єктивну оцінку даної категорії, так і не був розроблений. Сталий розвиток – це розвиток, при якому задоволення потреб нинішніх поколінь здійснюється без шкоди для можливостей майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби [37, с. 266].

Поняття сталого соціально-економічного розвитку пов'язується із задоволенням кінцевих результатів відтворення – матеріальних і духовних потреб населення. Відповідно до цього стійкість відтворення розглядається як соціально-економічне поняття і визначається у вигляді системи економічних відносин, що забезпечує безперервне підтримання стабільності або економічного зростання в умовах оптимальної пропорційності при мінімальних витратах і екологічної безпеки, що сприяє більш повному задоволенню матеріальних і духовних потреб населення країни і її регіонів.

Сталий розвиток економіки в кожній країні і окремому регіоні поряд із загальними законами функціонування і розвитку має специфічні особливості, які визначаються умовами виробництва, ресурсним потенціалом, менталітетом населення і т. д. У період економічного підйому починається поживлення всіх складових виробництва, формується стійкий рівень попиту, зумовлений зростанням рівня життя. При цьому слід зазначити, що досягнення підйому економіки має свою ціну і певні негативні наслідки. У зв'язку з цим мистецтво досягнення стійкості полягає у виборі оптимальних пріоритетів і відповідної стратегії досягнення мети [35, с. 12].

Поняття «стійкість», «сталість» переважно розглядали для кожного даного історичного етапу. Розвиток теорії еволюційної економіки (біля витоків якої стояв Н. Д. Кондратьєв) заснований на тому, що в економіці через певні проміжки часу відбувається витіснення одного домінуючого технологічного укладу іншим, який, в свою чергу, сам стає домінуючим укладом. Кожен наступний уклад виявляється в деякому сенсі більш ефективним, ніж попередні. У врахуванні цих переходів від укладу до укладу,

що супроводжуються зростанням масштабів виробництва, продуктивності праці, ускладненням господарських зв'язків і відносин, полягає процес економічної еволюції на макрорівні. Врахування цього і дозволяє підтримувати сталий розвиток економіки [16].

Досягнення сталого розвитку – одна з найбільш актуальних проблем, що стоять перед усіма країнами світу. Мета – забезпечити економічне піднесення і одночасно захистити ресурсну базу і навколишнє середовище з урахуванням інтересів майбутніх поколінь. Стійкість економічного розвитку являє собою такий стан економіки, при якому підтримується стабільність вихідних (кінцевих) параметрів розвитку виробничих, соціальних і економічних показників.

При цьому до розуміння стійкості економічного розвитку можна підходити двояко.

1. Підтримка стабільності заданого рівня будь-яких кінцевих економічних показників. У цьому випадку мова йде про стабілізаційну стійкості.

2. Підтримка стабільності граничних показників економічного зростання, наприклад підтримку певних темпів щорічного приросту ВВП або підтримання інфляції в заданих межах. В даному випадку мова йде про динамічну стійкість.

Сталий розвиток як ключове поняття включає дві основні ознаки: по-перше, виживання і невизначено довгий розвиток цивілізації (суспільства), по-друге, збереження навколишнього природного середовища, перш за все біосфери. Таким чином, сталий розвиток – це гармонійний (збалансований) розвиток суспільства і навколишнього природного середовища [16].

На думку одних економістів, під стійкістю виробництва звичайно розуміють здатність протистояти негативним впливам, переважно стихійним силам природи, здатність попередити або послабити спади виробництва. Стійко розвиненим може бути визнане лише таке виробництво, яке

забезпечує задоволення певного набору конкретних потреб з мінімальними витратами і в найкоротші терміни, виходячи з наявних ресурсів і реальних можливостей ефективного застосування. Стійка економіка, на думку інших вчених, передбачає перехід від нинішнього використання ресурсів до економіки їх системного відтворення. Ядром системи стійкості розвитку виступає підсистема відтворення якісних ресурсів, головним серед яких є людський потенціал. Якщо виходити із загальних позицій, то сталий розвиток слід розуміти як розвиток, що враховує рівновагу інтересів нинішнього і майбутніх поколінь.

Отже, основу формування концепції сталого розвитку повинна складати ідея динамічно збалансованої взаємодії економічної, соціальної та екологічної сфер суспільного розвитку. При цьому соціально-економічна основа сталого розвитку зумовлює реалізацію в глобальному масштабі комплексу заходів, спрямованих на [50, с. 143]:

- боротьбу з бідністю і злиднями;
- зміну структури споживання;
- регулювання зростання населення;
- збереження здоров'я людини;
- сприяння сталому розвитку регіонів.

З категорією стійкості тісно пов'язана категорія стабільності, яка характеризує незмінність, сталість будь-якого параметра динаміки розвитку. В економічній теорії і практиці це досить важлива характеристика економічного показника. Тим часом категорія стійкості соціально-економічного розвитку більше за обсягом і фундаментальне економічне визначення. Вона включає поняття стабільності, зокрема стабільності основних соціально-економічних і екологічних показників господарської системи. Разом з тим, стійкість економічного розвитку має на увазі також і комплекс умов, факторів і заходів регулюючого впливу, що забезпечують за рахунок економічної рівноваги стабільність кінцевих показників [56].

Еволюція концепції стійкого розвитку призвела до появи четвертого (інституційного) виміру або соціального капіталу, що означає можливість суспільства сприяти стійкому розвитку тоді, коли буде досягнуто найвищої стійкості людського капіталу. Стійкий розвиток соціального виміру передбачає, що людина повинна брати участь у прийнятті та реалізації рішень, які стосуються не лише її, а й суспільства в цілому. Цього можна досягти, інвестуючи в потенціал людського розвитку, що забезпечуватиме можливість кожного індивіда на комфортне свідоме життя, яке не спиратиметься лише на матеріальні блага. Людина розглядається не лише як об'єкт, на який орієнтована концепція, а і як засіб втілення цієї концепції [56].

Науковець Л. Хаапелен зазначає, що існує «необхідність еволюції в розумінні концепції стійкого розвитку та її спроможності забезпечувати потреби тих країн, які вже досягли стійкого стану та високого рівня життя. Необхідність подолання негативних ефектів економічного зростання, характерних для розвинених країн, може бути зменшена за рахунок вірно побудованої концепції стійкого розвитку країн зі значно нижчими стандартами життя» [63].

На думку Аверкіної М. Ф., «стійкість – це можливість системи за певних зовнішніх і внутрішніх впливів адаптовуватись, забезпечувати якісні, позитивні зміни, з мінімальними девіаціями, передбачати досягнення рівноваги, соціо-еколого-економічної безпеки, балансу між соціо-еколого-економічними процесами та сприяти переважанню темпів відтворення над темпами споживання ресурсів у процесі організації логістичних потоків» [1].

Однією з умов встановлення і підтримання стійкості ринкового обігу є утворення необхідного товарного запасу, постійний контроль за його структурою, станом, швидкістю обороту, витратами на його утримання. Сталість і безперервність розширеного відтворення вимагають, щоб засоби виробництва і продукти праці в їх русі утворювали запас. Стійким може бути визнане виробництво, що має незначні коливання по роках або по сезонах, що

погашає коливання за рахунок оптимальних запасів. У той же час якщо зростаючі обсяги виробництва не задовольняють розумні потреби, таке виробництво навряд чи можна визнати стійким. Стійким може вважатися виробництво, при якому скорочення виробленої продукції пов'язане з появою в результаті НТП нової, менш енерго- і металомісткої продукції. Ось чому не слід ставити знак рівності між стійкістю і стабільністю. Стійкість розвитку – не синонім стабільності економічного розвитку (хоча і пов'язана з нею) [39, с. 241].

Проблема стійкості розвитку тісно пов'язана з національною безпекою. Розробка будь-якої програми еколого-економічної безпеки повинна будуватися, виходячи із загальної концепції переходу країни і її регіонів на шлях сталого розвитку. І це передбачає посилення ролі державного регулювання процесу сталого соціально-економічного розвитку.

1.2. Характеристика показників оцінювання навколишнього середовища

Визначну роль у оцінюванні навколишнього середовища грають екологічні показники. В якості таких показників можуть виступати показники, що характеризують стан здоров'я людини та довкілля. Тому метою процесу забезпечення екологічної безпеки є досягнення максимально сприятливих показників здоров'я людини та високої якості довкілля.

Необхідно визначити також показники, за якими можна було б кількісно оцінювати стан та якість довкілля. Одним із таких показників є стійкість екосистем, яка класифікується відповідно до показників самовідновлення систем [30, с. 165]:

– природний стан – спостерігається фоновий антропогенний вплив, біомаса максимальна, біологічна продуктивність мінімальна;

- рівноважний стан – швидкість відновлюваних процесів вища або дорівнює темпу порушення, біологічна продуктивність більша за природну, біомаса починає знижуватися;
- кризовий стан – антропогенні порушення перевищують за швидкістю природно-відновні процеси, але зберігається природний характер екосистем, біомаса знижується, біологічна продуктивність різко підвищена;
- критичний стан – відворотна заміна екосистем, які раніше існували під антропогенним впливом, на менш продуктивні, біомаса мала і знижується;
- катастрофічний стан – важкозворотний процес закріплення малопродуктивної системи, біомаса та біологічна продуктивність мінімальні;
- стан колапсу – незворотна втрата біологічної продуктивності, біомаса близька до нуля.

Крім розглянутої вище класифікації, необхідна і медико-соціальна шкала за такими градаціями [30, с. 166]:

- благополучна зона (ситуація) – відбувається стійке зростання тривалості життя, захворюваність населення знижується;
- зона напруженої екологічної ситуації – ареал, у якого спостерігається перехід стану природи від кризового до критичного.

Екологічна оцінка середовища проживання на урбанізованій території включає аналіз таких середовищ і факторів: повітряного басейну (виявлення джерел забруднення та оцінка небезпеки забруднення середовища), водного басейну, ґрунтів (оцінка санітарно-гігієнічного стану), рослинного світу (оцінка ступеня та якості озеленених територій), тваринного світу (оцінка видового складу), шумового режиму території (виявлення джерел шуму та оцінка рівнів шуму), а також вібраційного, електромагнітного та температурного впливу на навколишнє середовище тощо. Оцінка зазначених чинників доквілля необхідна для прийняття управлінських рішень щодо запобігання неприпустимих рівнів впливів.

Індикатори – це численні значення ряду параметрів екологічного стану екосистеми. Ці величини вважаються узагальненими показниками, що характеризують стан та динаміку розвитку екосистем. Одним із важливих індикаторів якості міського середовища є частка площі озелених територій у загальній площі міста. Існують інші індикатори оцінки стану екосистеми: індикатор ефективності використання ресурсів, індикатор доступності об'єктів міст, індикатор стану повітряного середовища і т. д. [19].

Враховуючи певні особливості різних населених пунктів, система індикаторів може змінюватись і розширюватись залежно від особливостей регіону: наявність природних ресурсів, напрямки промисловості, чисельності населення, місцевих традицій тощо.

В основі способу опису стану екосистем з використанням екологічних індикаторів та індексів лежать експертні методи. Слід зазначити, що загальної теорії, що ґрунтується на системних методах, для комплексної екологічної оцінки стану міських територій та країн, на даний момент не існує.

Кінцевою метою природоохоронних заходів є забезпечення такого вмісту шкідливих речовин у повітрі, воді чи ґрунті, що шкідливо не вплине на якість довкілля та на здоров'я населення. У світовій практиці існує два принципово різні підходи до вирішення цієї проблеми. Перший – шкідливі речовини, які потрапляють від підприємств у довкілля, не повинні негативно впливати на природні екосистеми загалом. Другий – дотримання екологічних нормативів для шкідливих речовин [10].

В основу методологічних принципів визначення комплексних екологічних показників, які дозволяють оцінити якість міського середовища, покладено виділення основних екологічних характеристик та їх кількісне приведення до єдиного показника. Загалом визначення комплексного показника K можна представити у вигляді:

$$K = \sum_{i=1}^n k_i \quad (1.1)$$

де k_i – оцінка спостережуваного прояву i -ї екологічної характеристики, бали; w_i – вага (коефіцієнт ваги, коефіцієнт значущості) i -ї екологічної характеристики, частки одиниці [49, с. 112].

Розкладання екологічних характеристик на категорії необхідне для бальної оцінки, яка дозволяє зіставити різні характеристики, привівши до єдиної розмірності – балів. Кожна категорія може характеризуватись як кількісно, так і якісно.

Міжнародне співтовариство розглядає показники стану навколишнього середовища як комплексний інструментарій для виміру та репрезентації еколого-економічних тенденцій в країні. Виходячи з цих позицій, виділяються три основні типи показників:

- 1) показники сучасного екологічного стану, які визначають існуючі екологічні параметри;
- 2) показники впливу або тиску, які відображають антропогенний вплив на навколишнє середовище;
- 3) показники, що регулюють вплив на навколишнє середовище, за допомогою яких визначається, як різні агенти реагують на специфічний вплив.

Останній тип показників пов'язаний з впровадженням конкретних заходів при розробці екологічної політики. Крім того, багато системних підходів акцентують основну увагу на показниках антропогенного впливу на навколишнє середовище та показниках реагування навколишнього середовища на техногенний тиск [30].

У даний час загальний показник, що враховує всі забруднювачі, називають сумарним коефіцієнтом комплексного забруднення та визначають формулою:

$$K_k = \sum_i \frac{C_i}{GDK_i}, \quad (1.2)$$

де C_i – вміст i -го елементу, GDK_i – гранично допустимі концентрації i -го елементу.

Індекс екологічної стійкості визначений у доповіді, підготовленій групою вчених з Єльського та Колумбійського університетів для Всесвітнього економічного форуму в Давосі (2001 Environmental Sustainability Index) [61, с. 143]. Значення індексу розраховується за 22 індикаторами, кожен індикатор визначається усередненням 2-5 змінних. Усього виділено 67 змінних.

Цей індекс дозволяє проводити порівняння між країнами за рівнем екологічної стійкості, оцінювати результати природоохоронної політики, виявляти найкращі результати, визначати країни, яким загрожує екологічна криза, зіставляти економічне зростання та охорону природи. Крім того, індекс дає можливість приймати більш обґрунтовані рішення, спираючись на аналітичні та кількісні дані.

До агрегованих індикаторів сталого розвитку часто відносять індекс розвитку людського потенціалу (Human Development Index) (ІРЛП), що відбиває головним чином соціальні аспекти сталого розвитку [62]. Цей індекс розроблено в рамках Програми Розвитку ООН (UNDP) та розраховується на основі трьох показників: довголіття, яке вимірюється як тривалість майбутнього життя при народженні (з ваговим коефіцієнтом 1/3); досягнутий рівень освіти, що вимірюється як сукупний індекс грамотності дорослого населення (з ваговим коефіцієнтом 2/9) та сукупної частки учнів, які надійшли до навчальних закладів першого, другого та третього рівнів (з ваговим коефіцієнтом 1/9); рівень життя, що вимірюється на базі реального ВВП на душу населення на основі паритету купівельної спроможності (з ваговим коефіцієнтом 1/3).

Досить активно у світі робляться спроби розрахувати інтегральні агреговані індекси, що базуються насамперед на екологічних параметрах.

Агрегований індекс живої планети (ІЖП) (Living Planet Index) для оцінки стану природних екосистем обчислюється в рамках щорічної доповіді Всесвітнього Фонду Дикої Природи (World Wild Fund) [62]. ІЖП вимірює природний капітал лісів, водних та морських екосистем та розраховується як середнє з трьох показників: чисельність тварин у лісах, у водних та морських екосистемах.

Досить конструктивний показник – «екологічний слід», також запропонований у рамках щорічної доповіді Всесвітнього Фонду Дикої Природи (тиск на природу) (The Ecological Foot-print) [64]. Показник «екологічний слід» (тиск на природу) вимірює споживання населенням продовольства та матеріалів в еквівалентах площі біологічно продуктивної землі і площі моря, які необхідні для виробництва цих ресурсів і поглинання відходів, що споживаються, а споживання енергії – в еквівалентах площі, необхідної для абсорбції відповідних викидів CO₂.

Статистичним відділом Секретаріату ООН запропоновано систему еколого-економічного обліку (СЕЕУ) (a System for Integrated Environmental and Economic Accounting – 1993), спрямовану на облік екологічного чинника у національних статистичних даних [70]. Дана система описує взаємозв'язок між станом природного навколишнього середовища та економікою країни, яка виражена шляхом ув'язування прийнятої ООН системи національних рахунків (СНР, 1993) з урахуванням екологічних факторів і природних ресурсів. «Зелені» рахунки базуються на коригуванні традиційних економічних показників за рахунок двох величин: вартісної оцінки виснаження природних ресурсів та еколого-економічної шкоди від забруднення.

Таким чином, представлені нами результати аналізу зарубіжних та вітчизняних індикаторів оцінки навколишнього середовища дозволили зробити висновок, що існуючий набір показників не дозволяє повною мірою оцінювати екологічні можливості сталого розвитку країни, що спричинило

розробку авторами методики визначення коефіцієнтів, що характеризують вплив секторів економіки на екологічну ситуацію в країні.

Використання системи індикаторів виявлення екологічних можливостей сталого розвитку країни дозволить:

- визначити безпечні сектори економіки з найменшим екологічним забрудненням території, які забезпечують конкурентні переваги регіону;
- згрупувати сектори економіки за категоріями: «безпечні», «сектори, які стабілізуються», «помірно-шкідливі» та «небезпечні» для подальшої розробки заходів щодо ефективного управління ними.

1.3. Особливості забезпечення сталого економіко-екологічного розвитку

Навколишнє середовище, у даному випадку, – це складне поняття, що включає у собі як соціальні, так і природні чинники, що у нерозривному зв'язку, обумовлені взаємодією нашого суспільства та природи. Не підлягає сумніву постулат, що природа існувала до людини, а людина поза природою існувати не може. Звідси випливає, що пріоритетне становище займає природа; суспільство також виступає невід'ємною частиною навколишнього середовища, і ці явища разом утворюють її зміст. Можна стверджувати, що довкілля – явище соціально-екологічне.

Вибір шляхів забезпечення сталого розвитку держави має здійснюватися з урахуванням її стратегічних цілей, реалій сьогодення, тенденцій розвитку світової спільноти, місця та ролі країни у світі. Тобто, основна мета подальшого розвитку в парадигмі стійкості та шляхи її досягнення є унікальними для кожного регіону і є результатом аналізу його минулого та сьогодення, ціннісних імперативів, конкретних умов [50].

Критерієм сталого розвитку для країни має стати не нарощування обсягів виробництва, а потенціал його збільшення в умовах покращення якісних показників навколишнього природного середовища.

Економіко-екологічний зріз сталого розвитку на рівні держави, її регіонів та окремих галузей виводить на одне з перших місць продуктивні сили, які функціонують та розвиваються відповідно до закону бумерангу. Таким чином, система «природа – продуктивні сили – виробничі відносини» розвивається з тенденцією до самоприскорення процесів. У відповідь на показники середовища існування, що погіршуються, виникають механізми, що прагнуть її поліпшити (зміна поколінь техніки, ресурсозберігаюче виробництво та інші). У результаті, відповідно до закону бумерангу сучасна цивілізація розвивається галопуючими темпами, ставлячи перед собою нові завдання та проблеми.

Успішність реалізації концепцій, стратегій та програм еколого-економічного розвитку залежить від системи розміщення продуктивних сил, що склалася, відповідності їх сучасним економічним, соціальним, екологічним умовам існування суспільства [48, с. 8].

До факторів сталого розвитку у такому разі можна віднести [2]:

- збалансованість та пропорційність, що означає таке розміщення виробництва, при якому зберігалася б рівновага між виробничими потужностями та обсягом виробництва з одного боку, та наявністю сировинних, енергетичних, водних, земельних, трудових, фінансових ресурсів регіону. Стійкий розвиток останнього має спиратися на дотримання цього принципу за умови не тільки споживання, а й максимального відновлення вилучених ресурсів та навколишнього природного середовища;
- комплексне розміщення виробництва, що забезпечує найвигіднішу спеціалізацію регіону з урахуванням територіального поділу праці. Воно може бути реалізоване через комплексне використання ресурсів та відходів виробництва, створення єдиної інфраструктури;
- раціоналізацію розміщення продуктивних сил, що передбачає прагнення до зближення виробництва та джерел сировини, палива, трудових ресурсів та споживачів для мінімізації витрат на виробництво продукції,

зниження втрат під час транспортування, підвищення ефективності виробництва;

– охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, використання ресурсозберігаючих технологій. На даному етапі реалізація цього принципу як підвищить ефективність використання всіх видів ресурсів і конкурентоспроможність продукції, так і дозволить зберегти потенціал економічного розвитку, процвітання майбутніх поколінь;

– різноманітність форм господарювання, що має сприяти демократизації суспільства, розвитку та вдосконаленню ринкового механізму за рахунок найбільш повної реалізації переваг усіх форм господарювання у різних сферах діяльності у рамках законодавства;

– забезпечення здорових умов життя та праці населення. Це становище включає як екологічний, так і соціальний аспект. Сприятливі умови праці та життя покращать здоров'я нації за рахунок зменшення кількості професійних захворювань, запобігання появі нових, допоможуть покращити демографічну ситуацію за рахунок збільшення народжуваності та зниження дитячої та материнської смертності;

– вирівнювання рівня економічного та соціального розвитку територій, регіонів, областей країни. Заходи щодо скорочення розриву повинні використовувати грошові, політичні, економічні важелі для досягнення результату у найкоротший термін.

Також варто дослідити іноземний досвід забезпечення сталого економіко-екологічного розвитку країн.

Розробка ідеї сталого розвитку почалася восени 1983 р., коли згідно з резолюцією 38/361 Генеральної Асамблеї ООН було створено Міжнародну Комісію у справах навколишнього середовища та розвитку. За визначенням Комісії ООН зі сталого розвитку (1992 р.), його мета – «задовольняти потреби сучасного суспільства, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої потреби. Теорія сталого розвитку є альтернативою

парадигмі економічного зростання, яка ігнорує екологічну небезпеку від розвитку за екстенсивною моделлю» [53].

За показниками готовності та участі в розробці заходів щодо сталого розвитку виділяють 4 групи країн [35]:

1. Ранньою високою активністю;
2. Запізнілою високою активністю;
3. Запізнілою середньою активністю;
4. Пізньою низькою активністю.

До першої групи відносять: Швеція, Великобританія, Нідерланди, які накопичили певний позитивний досвід у цій галузі, хоча мають між собою певні відмінності. У цих країнах спільно діють державні органи і органи місцевого самоврядування, недержавні організації, виділяються кошти на проведення відповідних природоохоронних, рекламних, освітніх програм і заходів. Населення поводиться активно, контролюючи владу в питаннях охорони навколишнього середовища.

До другої групи належать: Данія, Фінляндія, Норвегія, які тільки з 1997 року почали активні дії з реалізації концепції сталого розвитку, вважаючи, що вони вже багато зробили в 80-х роках ХХ століття. Однак, як зазначається, «в цих країнах стратегія сталого розвитку відображена в національній політиці і отримала необхідні правові основи. У цих країнах місцеві органи влади повинні звітувати перед центральними органами про свої результати в питаннях переходу до сталого розвитку, особливо з питань збільшення ресурсозабезпечення, зниження забруднення, збільшення біорізноманіття тощо» [54, с. 102].

Данія, Фінляндія Норвегія, Ісландія, Швеція, у 2005 – 2008 рр. впроваджували «Скандинавську стратегію сталого розвитку», в якій виділені такі питання:

- зміна клімату;
- збереження біологічного різноманіття;
- розвиток і збереження природного й культурного середовища;

- морські ресурси та їх збереження;
- забезпечення якості та безпеки продуктів харчування;
- діяльність хімічної промисловості, енергетики, транспорту, сільського господарства з позицій сталого розвитку;
- організації взаємодії бізнесу та виробництва;
- участь громадськості в проблемах сталого та гармонійного розвитку.

До третьої групи належать: Австрія, Німеччина, які ще пізніше підключилися до виконання глобальних програм сталого розвитку, а після Ріо-92 тут був тривалий період «мовчання», лише з 1997 року вони не тільки стали брати активну участь в міжнародних конференціях по сталому розвитку, але і значно активізували свою роботу в цьому напрямку. Тут «росте активність населення, розробляються проекти і програми, приймаються законодавчі акти тощо. Однак, вузьким місцем в реалізації концепції сталого розвитку є питання широкої участі населення і встановлення місцевих пріоритетних аспектів розвитку згідно «Порядку денного на 21 століття» [41, с. 88].

До четвертої групи належать країни: Іспанія, Італія, Ірландія, Франція. Жодна з названих країн не брала участі в підготовці глобальних програм сталого розвитку, а внутрішні дії по охорони навколишнього середовища та розвитку не зазначалися особливою активністю. Наприклад, в Іспанії «регіональні агентства екологічного спрямування знаходяться тільки в стадії формування. Міністерство з питань навколишнього середовища тут було створено лише в 1996 році. У Франції, хоча Міністерство у докільля і було створено в 1971 році, але активна екологічна політика не проводиться» [54, с. 103].

Слід розглянути програму сталого розвитку Швеції (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Програма Національної стратегії сталого розвитку Швеції

Основні сфери	Мета
---------------	------

Майбутнє навколишнє середовище	<ul style="list-style-type: none"> – Нетоксичне навколишнє середовище, збалансоване морське середовище, процвітаючі прибережні території та групи островів збереження біологічної різноманітності; – Ефективне використання енергії та транспорту, політика комплексних виробів і матеріально ефективних циклів, ефективне управління водними та земельними ресурсами.
Обмеження у зміні клімату	<ul style="list-style-type: none"> – До 2050 р. – загальний викид CO₂ на душу населення в рік має бути нижче на 4,5 т; – Затвердити програму співпраці з компаніями з виробництва машин, відповідно до існуючої структури енергетики і транспорту, підвищити податки на викиди вуглекислого газу й понизити податки на використання робочої сили, підвищити суспільну обізнаність

Продовження табл. 1.1

Населення та його здоров'я	<ul style="list-style-type: none"> – Мотивувати працю людей старшого покоління, проголосити мобільність праці та можливості знайти роботу. Гарантувати економічну безпеку в разі втрати доходу; – Розгляд пропозицій парламентського комітету щодо забезпечення можливості подальшої праці людям пенсійного віку, затвердити план дій здоров'я і праці.
Соціальна справедливість, добробут і безпека	<p>Новий Соціальний Акт, затверджений парламентом в 2001 р.: інтегрований підхід до зниження рівня злочинності, включити пріоритети зі зниження тендерної нерівності та проголошення рівних прав національних меншин у всі сфери політики.</p> <p>Конвенція прав дитини, затверджена в 2002 р.</p>
Зайнятість і навчання в досвідченому суспільстві	<ul style="list-style-type: none"> – Стати провідною нацією в галузі досліджень для внеску до сталого розвитку, за допомогою розподілу фінансових ресурсів, гарантуючи більш соціальний набір кадрів і підтримуючи міждисциплінарні курси сталого розвитку на академічному рівні. – Впровадити план дій для освіти у сфері сталого розвитку, підтримувати наукові проекти і дослідження в сфері інновацій, зайнятості, соціальних досліджень, навколишнього середовища, сільського господарства, планування просторового розвитку.

*Джерело: складено за даними [35]

Можна відзначити, що у Швеції спостерігається високий стандарт якості життя: середня тривалість життя шведів є однією з найвищих у світі (для чоловіків – 76 років, для жінок – 82).

Кожній державі притаманний свій напрямок на шляху до сталого розвитку, враховуючи позитивний досвід державної політики розвинутих країн, що досягли успіхів на шляху до сталого розвитку.

Таблиця 1.2

Координація питань щодо сталого розвитку деяких країн

Країна	Орган відповідальний за сталий розвиток	Повноваження
Австрія	Комітет з питань сталого розвитку	Координація діяльності щодо забезпечення сталого розвитку між різними міністерствами
Швеція	Координаційна група з питань сталого розвитку	Кординація сталого розвитку в рамках урядових установ, виконує функцію аналітичного центру і сприяє подальшій розробці урядових установ, виконує функцію аналітичного центру і сприяє подальшій розробці Національної стратегії сталого розвитку.

Продовження табл. 1.2

Норвегія	Кабінет зі сталого розвитку	Несе відповідальність за забезпечення узгодженості щодо політики сталого розвитку політики
Фінляндія	Національна Комісія зі сталого розвитку	Просування стратегічних цілей сталого розвитку в рамках національної та адміністративної політики, а також активізація діалогу між різними суспільними силами. Заохочення і конкретизація процесів реалізації, сприяє узгодженості секторальної політики та адміністрації.
Великобританія	Робоча група з питань сталого розвитку Підкомітет з питань довкілля та енергетики	Об'єднання зусиль службовців і міністрів уряду з метою стимулювання дій з певних питань сталого розвитку
Німеччина	Комітет державних секретарів з питань сталого розвитку	Відповідає за розробку і реалізацію Національної стратегії сталого розвитку Німеччини.

*Джерело: складено за даними [35]

Як зазначається в Національній парадигмі сталого розвитку України, «протягом останніх 20-30 років у економічно розвинутих країнах світу

накопичено значний досвід щодо використання різних інструментів державної підтримки економічного, соціального та екологічного розвитку. Загалом, можна виділити такі поширені форми впливу держави на соціально-економічні процеси: цільові програми; державне регулювання процесів економічного і соціального розвитку; установа особливих організаційно-правових режимів регулювання; сприяння в отриманні комерційних кредитів під державні гарантії; бюджетні інвестиції; створення економічних кластерів; маркетинг і просування територій; створення науково-технологічних парків; розвиток політики, спрямованої на трансферт технологій; розробка та реалізація спеціальних програм навчання; підтримка створення нових компаній; надання фінансової підтримки приватним компаніям» [48].

Отже, можна відзначити, що для досягнення покращення якості життя населення управлінські органи, поряд із засобами їх влади, формують механізми впливу на національні господарства, його потенціал, внутрішні процеси, умови діяльності підприємств та життя громадян. Державна політика, зокрема державне регулювання, соціально-економічна ситуація та зовнішня політика, її умови та досягнення, закономірності однозначно впливають на систему державного управління для забезпечення сталого розвитку та благополуччя навколишнього середовища та економіко-екологічної безпеки.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ МОДЕЛЮВАННЯ БЛАГОПОЛУЧЧЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1. Підходи до моделювання екологічного стану країни

Моделювання екологічного стану країни передбачає синтез різномірних соціальних, економічних, науково-технічних та екологічних факторів. Водночас використання виключно грошових оцінок та ігнорування універсальних фізичних вимірників не дає можливості здійснити цей синтез і різко знижує ефективність управління. Перевагою моделювання як складного напрямку наукових досліджень, покликаного об'єднати в математичних формах явища принципово різної природи, є те, що за такого методу дослідження можна вивчити об'єкт з огляду на його створену просторову характеристику, що часто неможливо в ході натурних спостережень.

Еколого-економічне моделювання дає можливість аналізувати стан складних динамічних систем, оцінювати процеси, які в них відбуваються, розробляти прогнози й варіанти реакції системи на природні явища й управлінські рішення [19, с. 153], оцінювати ефективність прийнятих рішень, спрямованих на сталий розвиток країни, а також виявляти ключові чинники цього розвитку.

Особливе значення еколого-економічне моделювання має для встановлення результативності інвестицій в природоохоронну діяльність в межах еколого-економічної взаємодії та визначення на цій основі додаткових ресурсів для покращення соціальних параметрів розвитку регіонів.

Як варіант вирішення зазначеної проблеми пропонуємо застосувати модель розрахунку інтегрованого еколого-економічного показника, де слід використати функцію забруднення (як найвагомішу в еколого-економічній системі), яка може враховувати два чи три фактори та будуватися за окремими або комплексними (інтегрованими) показниками [52, с. 131].

Так, в разі використання двох факторів формула розрахунку інтегрованого еколого-економічного показника матиме такий вигляд:

$$E(t) = F(X_1(t), X_2(t), t), \quad (2.1)$$

де $E(t)$ – досліджуваний еколого-економічний показник; $X_1(t)$ – фактор, який показує економічний розвиток і зазвичай здійснює негативний вплив на екологічні параметри довкілля (розуміється розмір ВВП, інвестицій у промисловість чи нове будівництво, інші показники економічного розвитку); $X_2(t)$ – фактор, який відображає грошову оцінку цілеспрямованої діяльності, спрямованої на підвищення якості екологічних параметрів, зазвичай здійснює позитивний вплив на навколишнє середовище (маються на увазі витрати на охорону навколишнього природного середовища, інвестиції в природоохоронні проекти, гроші на розвиток альтернативної енергетики тощо). При цьому доцільно здійснити низку припущень: функція F є однозначною, безперервною та такою, що двічі диференціюється, внаслідок збільшення витрат одного фактору зазвичай відбувається зниження його ефективності. Числове значення факторів завжди більше за нуль або дорівнює йому [52].

Більшістю фахівців у галузі екологічної безпеки пропонується весь спектр можливих станів території за рівнем екологічної безпеки розділити на чотири зони [53]: зона екологічної норми, ризику, кризи, лиха. При цьому передбачається запровадження відповідних характеристик рівня екологічної безпеки:

- 1) нормальний рівень (присвоюється символ – Н);
- 2) екологічний ризик (надається символ – ЕР);
- 3) екологічна криза (надається символ – ЕК);
- 4) екологічне лихо (символ – ЕБ).

Порогові значення для розмежування основних станів визначаються експертним шляхом, у тому числі за допомогою наявних авторських напрацювань та даних теоретичних досліджень, що публікуються у спеціальній довідковій та науково-технічній літературі.

При визначенні порогових значень отриманого розрахунковим шляхом параметра (коефіцієнта небезпеки) автори виходили з таких тверджень:

1) Екологічна техноємність становить частку загальної екологічної ємності території, що визначається коефіцієнтом варіації відхилень характеристичного складу середовища від природного рівня, і зростання цього рівня мінливості впливам, що досягли межі стійкості природного комплексу території, тому кратність перевищення техногенного впливу над техноємністю має становити не більше 1 (для умов стійких систем);

2) Науковими дослідженнями, за якими у 80-х роках, було доведено, що понад 50 % всіх відтворених основних компонентів (по повітрю – це кисень) рослинні угруповання використовують забезпечення своїх біологічних потреб, тобто, з теоретичної точки зору ця та частина основної субстанції, яка не повинна підлягати вилученню. Отже, з позицій збереження рівноваги системи та можливостей її нормального відтворення, умова за кратністю перевищення має бути скоригована на коефіцієнт 0,5, що було закладено в основу угруповання при оцінці рівня екологічної безпеки [53].

Методи екологічного моделювання можна умовно поділити на фізичні та математичні. При фізичному моделюванні явище, що вивчається, відтворюється в тому чи іншому масштабі зі збереженням його фізичної природи. Математичне моделювання є способом дослідження екологічних явищ шляхом вивчення процесів, що мають різний фізичний зміст, але описуються однаковими математичними співвідношеннями.

Важливим моментом є складання математичної моделі на підставі формалізованої (змістовної) схеми явища, що вивчається. При цьому виділяються відомості, що безпосередньо характеризують об'єкт спостереження, проводиться постановка мети та завдань дослідження з

переліком шуканих величин та вимог до них, задаються початкові умови. Рішення математичних моделей може здійснюватися аналітично, чисельними методами, на обчислювальних машинах. Математична модель складної системи (куди відносять екологічні системи) складається з математичних моделей підсистем, їх елементів та математичних моделей, взаємодіючи між підсистемами. Процес побудови моделей екологічних об'єктів є трудомістким і вимагає від розробників знань про об'єкт моделювання, так і навичок у системотехніці та моделюванні.

Основною ознакою віднесення системи до складної є зміст у ній процесу розв'язання (отже, наявність мети). Необхідна також наявність наступних ознак [16]:

- безліч взаємопов'язаних та взаємодіючих елементів;
- багатофакторність мети;
- можливість розбиття системи на підсистеми;
- управління безліччю інформаційних, енергетичних, речових потоків у системі;
- взаємодія із зовнішнім середовищем.

Для математичного моделювання процесів поширення забруднювальних речовин в атмосфері і побудови полів забруднень на малих і середніх відстанях застосовують найрізноманітніші моделі. Однією з найпоширеніших в Україні є модель на основі розсіювання за формулами Гауса, що передбачає оцінювання поширення забруднення вздовж координатних осей, а також використовує теорію масопереносу (так звані «градієнтні» або К-моделі), яка базується на розв'язанні рівняння турбулентної дифузії. Саме за цією моделлю здійснюється розрахунок поширення забруднювальних речовин в атмосферному повітрі за методикою «ОНД-86», відповідно до якої розраховуються і нормуються усі стаціонарні джерела викидів [34].

Нижче приводиться класифікація моделей забруднення атмосферного повітря, запропонована Zannetti [5, с. 11]. Такі моделі включають:

- 1) Ейлерові моделі, що дозволяють чисельно розв'язувати рівняння атмосферної дифузії;
- 2) Гауссові моделі, відповідно до яких розподіл концентрацій характеризується як гауссівський в горизонтальному та вертикальному напрямках;
- 3) Лагранжеві моделі, в яких або відстежуються процеси в рухомих масах повітря, або використовуються умовні частинки для імітації процесів розсіювання;
- 4) Напівемпіричні моделі, що базуються, головним чином, на емпіричній параметризації;
- 5) Стохастичні моделі, що базуються на напівемпіричних або статистичних методах і орієнтовані на проведення аналізу співвідношення між якістю атмосферного повітря і вимірюваннями атмосферних параметрів або на прогнозування випадків підвищеного забруднення повітря;
- 6) Рецепторні моделі, які розглядають виміряні концентрації забруднювачів в рецепторній точці і оцінюють процентний внесок різних джерел в цій концентрації. Вказаний вище перелік моделей відноситься до моделей забруднення повітряного середовища. Моделі розсіювання описують процеси турбулентної дифузії в атмосфері, і сюди з представленої класифікації можна віднести моделі категорії 1-3 і частково категорії 4 [57, с. 115].

Останніми роками проведено велику кількість комплексних та спеціальних досліджень взаємопов'язаних економічних, соціальних та екологічних компонент розвитку сучасної спільнот [59, с. 166] з урахуванням національної специфіки соціально-екологічного розвитку загалом. Особлива увага приділялася розгляду конкретних способів імплементації міжнародно визнаних інструментів і механізмів сталого розвитку [68, с. 176] в різні сфери суспільного життя України.

Важливо, щоб застосовувані інструментарії, які описують зв'язок економічних і екологічних показників, (а через них і соціальних) мали б

певний сенс, зрозумілий економістам, екологам та управлінцям. Необхідно також враховувати той суттєвий момент, що природоохоронна діяльність в цілому та окремі проекти, спрямовані на поліпшення природоохоронних систем, ведуть до зменшення шкідливого впливу на природу та соціум з різним ступенем ефективності, яку необхідно оцінити з високим рівнем точності, виходячи з детального аналізу даних. Крім того, частина поточних витрат і інвестицій не викликає змін стану навколишнього середовища, що також потребує врахування в спеціальних інструментах, які б з однаковою успішністю могли б досліджувати виробничі і еколого-економічні процеси [52].

Еколого-економічне моделювання дає можливість аналізувати стан складних динамічних систем, оцінювати процеси, які в них відбуваються та розробляти прогнози і варіанти реакції системи на природні явища та управлінські рішення [19], а також оцінювати ефективність прийнятих рішень, спрямованих на сталий розвиток регіону і виявляти ключові чинники цього розвитку.

Для дослідження проблеми компромісу між економікою та довкіллям використовується також модель поверхні трансформації, в якій якість довкілля є незалежною змінною. Для побудови моделі використовується система рівнянь, що описують двосекторну економіку, в якій випуск продукції супроводжується забрудненням довкілля та погіршенням її якості. У цю систему входять такі функції: функція емісій (забруднень), зумовлених виробництвом продукції; виробнича функція; функція емісій, зумовлених факторами виробництва, що вводяться; функція природоохоронної діяльності; функція дифузії; функція еколого-економічних збитків; ресурсне обмеження, що лімітує можливості виробництва та природоохоронної діяльності.

Оптимальний розподіл ресурсів між двома секторами економіки та охороною навколишнього середовища може бути зображений графічно за допомогою моделі поверхні трансформації та математично шляхом

вирішення оптимізаційної задачі для розглянутої системи рівнянь з урахуванням ресурсного обмеження. Модель дозволяє визначити межі виробничих можливостей та ефективного розподілу ресурсів між секторами економіки та охороною навколишнього середовища, але лише за умови певних припущень. До того ж, на практиці виміряти еколого-економічні збитки та якість довкілля досить важко [57].

Факторний аналіз є сукупністю методів багатовимірною статистичного аналізу, що застосовуються для вивчення взаємозв'язків між значеннями змінних. За допомогою факторного аналізу можливе виявлення прихованих змінних факторів, які відповідають за наявність лінійних статистичних зв'язків (кореляцій) між змінними, що спостерігаються. Багато оптимізаційних завдань полягають у пошуку суто технологічних оптимумів і пов'язані з процесами поширення забруднювачів у біосфері.

Аналіз наявних даних показав можливість побудови багатофакторних функцій, які мають точніше описувати реальні процеси. Подібні функції мають враховувати неоднозначність впливу розвитку на екологічні показники залежно від виду діяльності та структури інвестицій. Розвиток економіки в основному веде до кількісного зростання, більшість проектів здійснює частіше негативний вплив, створення нових виробництв збільшує тією чи іншою мірою навантаження на довкілля. У той самий час інші проекти, інноваційні і пов'язані зі зміною структури економіки, можуть мати позитивний вплив, наприклад модернізація виробництва, перехід до нових технологій можуть істотно знизити навантаження на довкілля. Слід зазначити, що основний вплив роблять вкладення у машини та устаткування, які приносять нові досконаліші технології. У такому разі можна записати багатофакторну функцію [10]:

$$Z(t) = F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t), \quad (2.2)$$

Де $Z(t)$ – досліджуваний екологічний показник, $U_1(t)$ – фактор, що відбиває розвиток економіки і, як правило, негативно впливає на навколишнє середовище (інвестиції в економіку, інвестиції в нове будівництво, ВВП, ВРП та інші показники), $U_2(t)$ – фактор, що відображає природоохоронну діяльність та позитивно впливає на навколишнє середовище (інвестиції в охорону навколишнього середовища, поточні витрати на охорону навколишнього середовища та інші показники), $U_3(t)$ – фактор, що відображає структурні зміни в економіці та, як правило, позитивно впливає на навколишнє середовище (інвестиції у модернізацію виробництва та інші показники). Можна припустити, що функція F є однозначною, безперервною та двічі диференційованою. Чинники позитивні, збільшення витрат одного чинника зазвичай призводить до зниження ефективності [10].

Найцікавіша ситуація для досліджень виникає, коли всі три фактори – інвестиції за певний період. Фактично сумарні інвестиції поділяються на три частини – інвестиції у нове будівництво, інвестиції у модернізацію та реконструкцію, інвестиції в охорону навколишнього середовища. На основі інформації про інвестиції можуть будуватися екологічні інвестиційні трифакторні функції. У цьому разі можна запропонувати кілька математичних завдань. Ситуація ускладнюється тим, що пряме використання статистичних даних неможливе, оскільки є дві проблеми: у регіональній статистиці значна частина іноземних інвестицій не враховується в інвестиціях в основний капітал (а саме з іноземними інвестиціями та приходять нові технології), майже чверть інвестицій складає придбання нових основних засобів (під цим можна розуміти і розширення на базі існуючої технології, і перехід до іншої технології) [10].

У випадку, коли розглядається трифакторна функція забруднення, для неї, як і раніше для двофакторної, вводяться та досліджуються поняття однорідності функції, нейтрального екологічного прогресу, еластичності забруднення за інвестиціями на нове будівництво (модернізацію, охорону навколишнього середовища), гранична норма компенсації та еластичність.

Але також виникає і можливість заміщення одного фактора іншим, перехід на нові технології може заміщати природоохоронні інвестиції, отже, можна вводити поняття еластичності заміщення. За даними характеристиками можуть будуватися екологічні інвестиційні трифакторні функції. Аналіз даних та побудованих за ними графіків дозволяє визначити наближені значення та динаміку введених показників – еластичності забруднень за видом інвестицій, еластичності компенсації та еластичності заміщення.

Економетричні моделі широко використовуються для аналізу, вивчення і подальшого вдосконалення економіки та навіть екологічного розвитку країн з розвиненою економікою та економікою, що розвивається. Економетрика виникла на базі біометрики та успадкувала її термінологію (регресія, кореляція) та методи аналізу (t-критерій Стьюдента, F-критерій Фішера тощо). Особливі досягнення пов'язані з розвитком економетрики в останні десятиріччя, про що свідчить нагородження Нобелівськими преміями ряду вчених, які внесли суттєвий вклад в розвиток математичних методів та моделей [33, с. 132].

Перевагою економетричних моделей є те, що за наявності необхідного ряду даних можна доволі точно, навіть за допомогою Microsoft Excel, побудувати модель та знайти її параметри, при цьому в моделі можуть бути присутні багато факторів впливу на результативну ознаку. До того ж, за допомогою економетричних трендів можна здійснювати прогнозування тієї чи іншої еколого-економічної величини, що робить дуже актуальним застосування економетричних методів в моделюванні впливу економічних факторів на екологічний показник [44].

Окрім того, для дослідження впливу окремих факторів на динаміку забруднень часто використовуваними є моделі IPAT та STRIPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology). Модель IPAT є давно визнаною та частим інструментом дослідження впливу діяльності людини на довкілля. Вона була запропонована на початку 1970-х років [74]. Багато вчених і різні організації (ООН, Всесвітній фонд дикої природи)

використовували її як відправну точку для оцінки взаємозв'язку між економічним зростанням та рівнем забруднення. Модель IPAT описує вплив на навколишнє середовище Z як мультиплікативну функцію від чисельності населення N , рівня добробуту Y (найчастіше використовуються показники ВВП, ВРП або обсяг виробництва на душу населення) та технологічного рівня T (вплив на навколишнє середовище у розрахунку на одиницю споживання чи виробництва):

$$Z = N \times Y \times T \quad (2.3)$$

А вже поява моделі STRIPAT дозволила розглядати різні фактори, що впливають на динаміку забруднень, крім виділених раніше основних – чисельності населення, добробуту та технологічного рівня, визначення якого складає складне завдання. Ця модель також може бути використана для прогнозування. Шляхом виявлення ключових факторів впливу на довкілля та їх відносну значимість модель дозволяє вибрати найбільш правильну політику зниження екологічного навантаження. Для оцінки впливу факторів модернізації та структурних зрушень в економіці використовувалися мультиплікативні функції з постійними та мінливими факторними еластичністю, іноді з урахуванням нейтрального екологічного прогресу:

$$Z(t) = A(t) * U_1^\mu(t) * U_2^{-\eta}(t) * U_3^\nu(t)$$

де t – рік;

$A(t)$ – нейтральний екологічний прогрес, який вводиться через залежність від часу (у цьому у разі відображає вплив структурних зрушень та технологічної модернізації в окремих секторах);

$U_1(t)$ - фактор, що відображає розвиток економіки і, як правило, негативно впливає на довкілля;

μ - як правило, позитивний параметр, відображає вплив зростання економіки;

$U_2(t)$ - фактор, що відображає природоохоронну діяльність та позитивно впливає на довкілля;

$U_3(t)$ – фактор, що відображає зміну чинного виробництва та, як правило, позитивно впливає на довкілля;

η – параметр негативний, оскільки зі зростанням природоохоронних показників забруднення знижуються;

ν – зазвичай негативний параметр, оскільки модернізація веде, як правило, до зниження забруднень.

Таким чином, з огляду на наявність необхідних даних, далі буде наведена економетрична модель залежності стану навколишнього середовища (зокрема, стану атмосферного повітря) від показників економічного розвитку, які прямо чи опосередковано впливають на стан екологічної безпеки країни.

2.2. Аналіз даних та відбір факторів показників моделювання

Для того, щоб побудувати економетричну модель залежності екологічного стану України від показників економічного розвитку, був обраний результативний показник – рівень забруднення повітря частками $PM_{2,5}$. А факторними ознаками були обрані такі показники: індекс промислового виробництва в Україні, ВВП на душу населення за паритетом купівельної спроможності, прями іноземні інвестиції в країну, частка інвестиційних витрат в структурі ВВП, частка виробництва енергії в Україні за допомогою відновлюваних джерел.

$PM_{2,5}$ – це забруднювач повітря, до складу якого входять як тверді мікрочастинки, так і дрібні краплі рідин. І ті, й інші розміром від 10 нм до 2,5 мкм. Інші позначення та назви частинок $PM_{2,5}$: FSP (fine suspended particles), fine particles, fine particulate matter, зважені дрібнодисперсні частинки, тонкодисперсний пил [53].

Дуже дрібні частинки (приблизно 1 нм і менше) – це вже молекули газів. Наприклад, діаметр молекули води та кисню – 0,30 нм, азоту – 0,32 нм,

водню – 0,25 нм. У таких дрібних тіл поведінка дуже відрізняється від частинок PM_{2,5}.

На відміну від великих частинок, PM_{2,5} легко проникають крізь біологічні бар'єри і тому становлять найбільшу загрозу для організму.

Всі ці частинки та крапельки розміром менше ніж 2,5 мкм знаходяться у повітрі у зваженому стані. Вони є і в лісі, і в морі, але саме в місті становлять найбільшу небезпеку. По-перше, зазвичай їх у місті набагато більше, а по-друге, хімічний склад дрібнодисперсного аерозолі у місті небезпечніший, ніж в природному середовищі. До речі, у різних містах можуть дуже відрізнятися і склад аерозолі PM_{2,5}, і параметри окремих частинок [8].

За своїм походженням PM_{2,5} поділяються на [8]:

– Первинні PM_{2,5}. Вони викидаються у повітря вже готовими. Найдрібніші шматочки сажі, асфальту та автомобільних покришок, частинки мінеральних солей (сульфати, нітрати), з'єднання важких металів (переважно оксиди). Біологічні забруднювачі (деякі алергени та мікроорганізми) теж відносяться до PM_{2,5}. Вугілля – хороший сорбент, тому навіть на найдрібніших частинках сажі осідають токсичні сполуки. При роботі двигунів внутрішнього згорання це, наприклад, поліциклічні ароматичні вуглеводні з великою молекулярною вагою. Виходить не просто частка сажі, а частка «з начинкою» із шкідливої органіки.

– Вторинні PM_{2,5}. Утворюються в атмосфері. Один із прикладів: у міське повітря викидаються оксиди азоту та сірки, при контакті з водою вони утворюють кислоти, а вже з них виходять тверді частинки солей (нітрати та сульфати).

За типом джерела частинки PM_{2,5} поділяються на:

– Штучні (антропогенні). Головне антропогенне джерело частинок – транспорт. Двигуни внутрішнього згорання та промислові процеси зі спалюванням твердих видів палива (вугілля, буре вугілля, нафта), будівництво, видобуток корисних копалин, багато видів виробництва

(особливо виробництво цементу, кераміки, цегли, плавильне виробництво), у містах джерелом може бути ерозія дорожнього покриття та стирання гальмівних колодок та шин. Навіть сільське господарство – джерело аміаку, з якого можуть утворитися вторинні $PM_{2,5}$.

– Природні (неантропогенні). Джерела: ерозія ґрунту в посушливих районах та органічні випаровування.

Масова концентрація $PM_{2,5}$ є ключовим параметром для оцінки якості повітря та його загрози здоров'ю людини. За нормами Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) середньорічний рівень $PM_{2,5}$ повинен становити не більше ніж 10 мкг/м^3 , а середньодобовий рівень не більше ніж 25 мкг/м^3 .

Реальну концентрацію частинок у повітрі оцінюють різні служби екомоніторингу по всьому світу. Найбільший онлайн-моніторинг повітря – The World Air Quality Index. Він показує індекс якості повітря у містах у всьому світі. Цей індекс вираховується за всіма повітряними забруднювачами. І основний із них – саме $PM_{2,5}$ [53].

Індекс промислового виробництва визначається у вигляді відношення поточного обсягу виробництва (в грошовому вираженні) до обсягу промислового виробництва в попередньому періоді. Методологія розрахунку індексу базується на використанні даних про динаміку виробництва видів продукції за встановленим постійний набір товарів-представників – найважливіших видів промислової продукції (близько 1000 позицій).

Індекс промислової продукції в Україні виступає як середньозважена величина, основу вагової структури якої складають дані про розподіл валової доданої вартості між промисловими видами діяльності, із відповідних індивідуальних індексів по кожному товару [43].

Методологія розрахунку індексу базується на використанні даних щодо динаміки виробництва видів продукції за встановленим постійним набором товарів-представників (близько 1000 позицій) та структури валової доданої вартості за базовий рік (100%). Щомісячно розраховується індекс до середньомісячного значення базового року з використанням формули

Ласпейреса. На підставі цього індексу розраховуються індекси до попереднього місяця, відповідного місяця і періоду попереднього року.

ВВП на душу населення – це макроекономічний індикатор, що відображає стан економіки держави по відношенню до її громадян. Однак даний показник не є об'єктивною оцінкою добробуту громадян. Наприклад, в двох країнах загальний ВВП може бути однаковим. Але при цьому більш високий рівень життя буде в країні з меншим населенням. З цієї причини реально відображає ситуацію саме ВВП на душу населення. Розраховується цей показник за максимально простою формулою: Загальний ВВП розділити на загальну кількість громадян. ВВП на душу населення за пріоритетом купівельної спроможності є одним з базових показників, які демонструють рівень економіки в країні. Свої рейтинги складають різні організації, в тому числі Світовий Банк і МВФ. Розглянемо карту країн з найвищим ВВП на душу населення за даними МВФ, СБ та ОЕСР (Організація економічного співробітництва і розвитку) [11].

Прямі іноземні інвестиції (скор. ПІІ, англ. Foreign direct investment, FDI) – це довгострокові вкладення матеріальних засобів компаніями-нерезидентами в економіку країни (наприклад, з метою організації і будівництва підприємств). Розраховуються в млн. доларів США. Прямі іноземні інвестиції – найбільш бажана форма капіталовкладень для економік, що розвиваються, тому що вона дозволяє реалізовувати великі проекти; крім того в країну надходять нові технології, нові практики корпоративного управління тощо [45].

Валові приватні внутрішні інвестиції включають видатки, пов'язані з кінцевими покупками машин, устаткування і верстатів підприємцями, з усім будівництвом і змінами у запасах. При цьому приріст запасів додається до ВВП як показника поточного річного виробництва, а їхнє зменшення має бути розраховано із показника ВВП, бо обсяг продукції, проданий в економіці, перевищує обсяг поточного виробництва. Передбачається, що чим вища частка валових приватних інвестицій у структурі ВВП, тим вищим є

рівень економічного розвитку країни, оскільки саме цей компонент ВВП показує, які суми коштів спрямовуються на розвиток підприємств, розширення виробництва, купівлю матеріально-технічного обладнання [45].

Відновлювана енергетика – енергетична галузь, що спеціалізується на отриманні та використанні енергії з відновлюваних джерел енергії. До відновлюваних джерел енергії належать періодичні або сталі потоки енергії, що розповсюджуються в природі і обмежені лише стабільністю Землі як космопланетарного елемента: променева енергія Сонця, вітер, гідроенергія, природна теплова енергія, тощо. Частка виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел є показником, який одночасно показує стан розвитку національної економіки в енергетичному аспекті, а також показує рівень розвитку технологій, які дозволяють отримувати енергію з альтернативних джерел. До того ж, збільшення цього показника свідчить про підвищення уваги до екологічних проблем, оскільки таке виробництво енергії не призводить до різних видів екологічних забруднень.

В табл. 2.1 наведена динаміка показників, які будуть використані для моделювання рівня благополуччя навколишнього середовища України.

Таблиця 2.1

Динаміка показників моделі залежності благополуччя навколишнього середовища України від рівня економічного розвитку

Рік	Рівень часток РМ2,5 в повітрі, мкг/м ³	Темп зростання промислового виробництва, % до попереднього року	ВВП на душу населення за ПКС, міжнародних доларів	Прямі іноземні інвестиції, млн дол США	Частка валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП, %	Частка виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел, % від загального виробництва
1991	22,95	-8,4	7171	155	26	0,7
1992	21,53	-3,1	6590	200	34	0,6
1993	21,03	-9,2	5785	200	36	0,89
1994	20,95	-10,5	4578	159	35	1,11
1995	20,78	-4,8	4136	267	27	0,98
1996	20,66	-4,2	3825	521	23	0,9
1997	20,42	-6,3	3808	623	21	1,03
1998	20,02	-2,1	3811	743	21	1,58
1999	19,78	-4,2	3894	496	18	1,45

2000	19,64	3,1	4260	595	20	1,25
2001	20,32	4,2	4789	792	22	1,23
2002	20,45	2,1	5173	693	20	1,03
2003	20,51	5,3	5824	1420	22	0,99
2004	20,78	9,4	6736	1720	21	1,21
2005	19,21	8,2	7214	7810	23	1,27
2006	19,56	6,4	8054	5600	25	1,75
2007	20,54	7,1	9004	10190	28	2,39
2008	20,04	-5	9434	10700	27	2,72
2009	18,64	-20,6	8093	4770	17	2,96
2010	19,09	12,2	8559	6450	18	2,88
2011	18,42	3,4	9246	7210	20	2,74
2012	17,8	-5,6	9705	8180	20	2,86
2013	17,92	-1	11111	4510	16	3,49
2014	17,52	-17,2	10743	847	13	3,5
2015	16,88	-1,6	10164	-198	16	4,15
2016	15,12	3,1	11148	4130	22	5,48
2017	14,7	-2,9	11860	3680	20	6,48
2018	14,79	-4,7	12631	4970	19	6,92
2019	14,7	-8,3	13345	5800	15	7,44
2020	14,52	4,5	13087	304	9	7,78
2021	14,38	-2,2	14219	6687	14	8,02

* Джерело: складено за даними [43; 66; 73]

Для кращої наочності наведемо ці показники на окремих графіках. На рис. 2.1 наведена динаміка рівня часток РМ_{2,5} в повітрі в Україні протягом 1991-2021 рр.

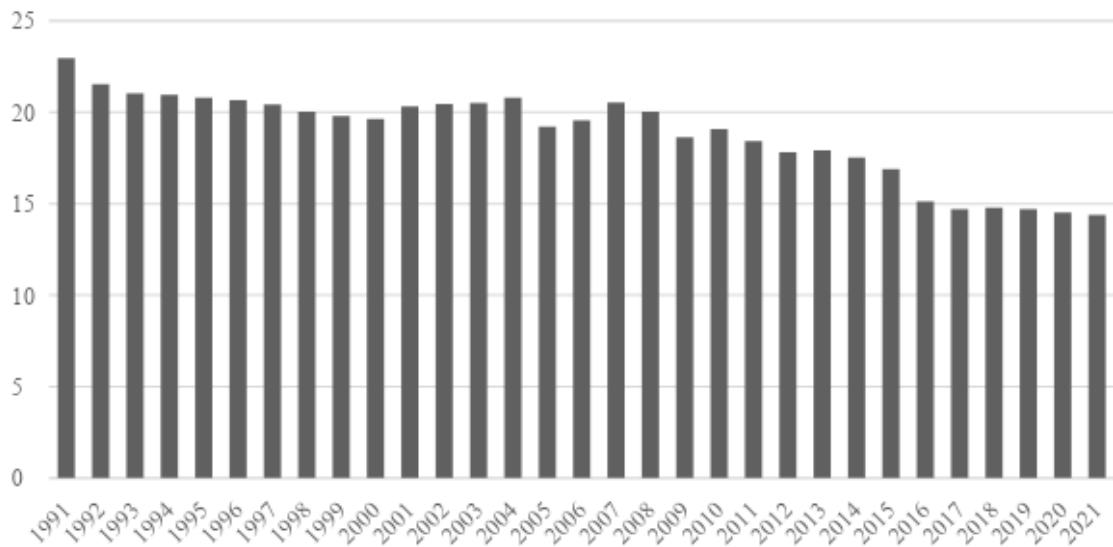


Рис. 2.1. Динаміка рівня часток РМ_{2,5} в повітрі в Україні протягом 1991-2021 рр., мкг/м³

*Джерело: складено за даними [73]

Можна побачити, що протягом наведеного періоду рівень забруднення повітря частками РМ_{2,5} в Україні з періоду здобуття незалежності до кінця 2021 р. знизилась приблизно в півтора рази. Це є позитивним показником, оскільки таким чином покращується якість повітря, а в населення рідше виникають проблеми зі здоров'ям, які викликаються забрудненням повітря. Проте, в Україні цей середньорічний показник все ще вищий за 10 мкг/м³, і тому все ще існує проблема забрудненості рівня повітря важкими частками.

На рис. 2.2 наведена динаміка темпу зростання промислового виробництва в Україні за аналогічний період.

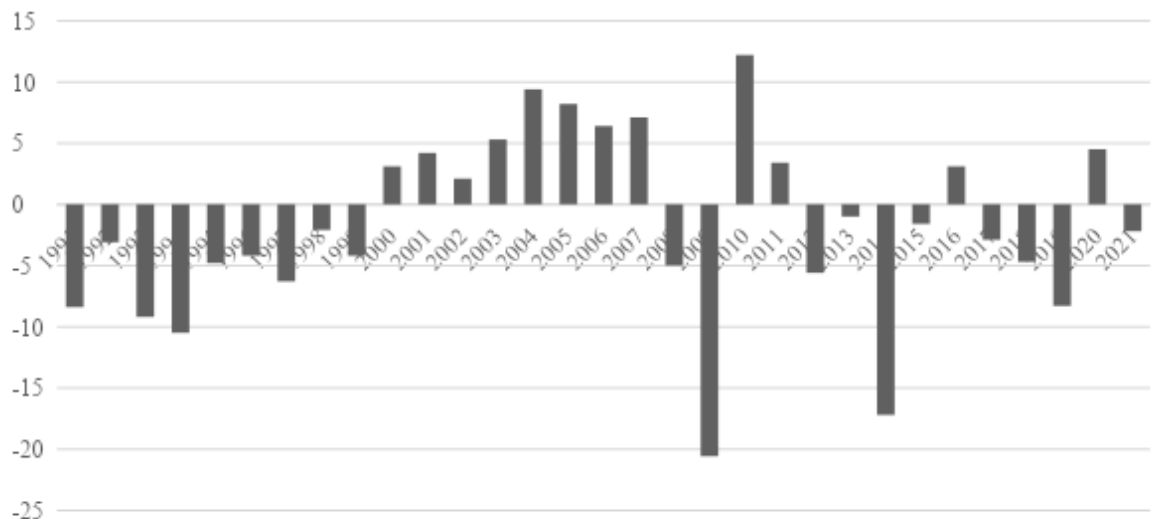


Рис. 2.2. Динаміка темпів зростання промислового виробництва в Україні протягом 1991-2021 рр., % до попереднього року

*Джерело: складено за даними [43]

Можна побачити, що протягом 1990-х років в Україні стрімко скорочувалося промислове виробництво, що було пов'язане з розпадом СРСР та переходом до ринкової економіки. Попит на промислову продукцію знижувався, і в результаті цього знижувалося промислове виробництво. В 2000-х роках темпи зростання промислового виробництва в Україні стали

додатними, оскільки у світі збільшувався попит на метали та продукцію чорної металургії, яка активно вироблялася в Україні на експорт. Далі можна побачити, що внаслідок економічних криз в Україні промислове виробництво стрімко знижувалося, що спостерігалось внаслідок Світової економічної кризи 2008-2009 рр., а також кризи, пов'язаної з анексією Криму РФ та війною на Донбасі в 2014-2015 рр. В подальшому Україна продовжила деіндустріалізацію, і були сфокусовані зусилля на розвитку агропромислового сектору. До того ж, проблемою є те, що більшість великих промислових підприємств в Україні є застарілими та незначно оновлювалися з часів існування СРСР, а тому продукція є занадто дорогою та неконкурентоспроможною порівняно з продукцією інших підприємств в більш розвинених країнах.

Для моделі буде взятий показник індексу промислового виробництва порівняно з 1990 р., що дасть більш повну картину рівня промислового виробництва, якщо порівнювати це виробництво з останнім роком, коли Україна була у складі СРСР.

На рис. 2.3 наведена динаміка ВВП на душу населення за паритетом купівельної спроможності.

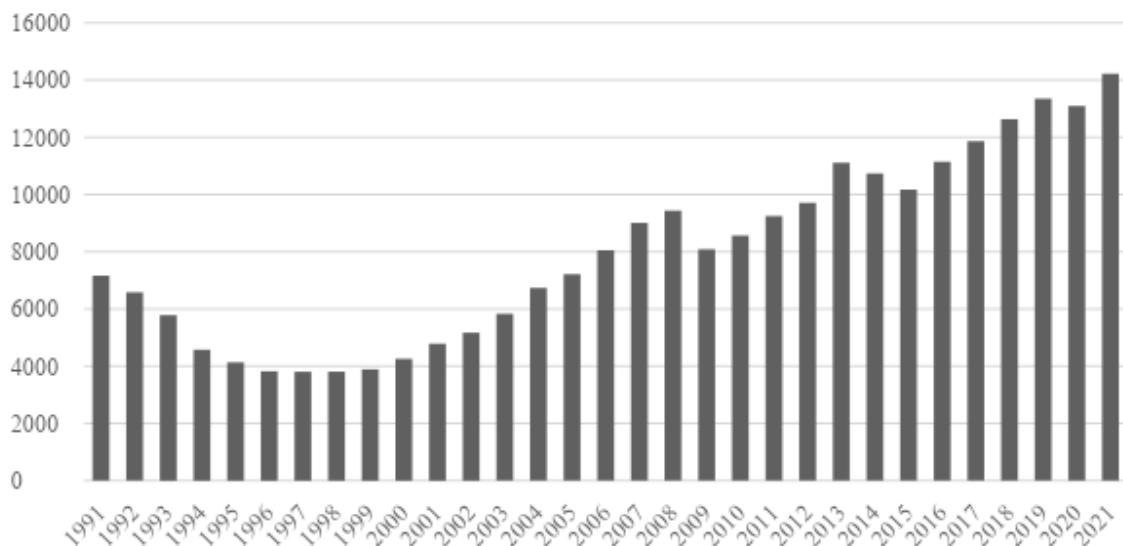


Рис. 2.3. Динаміка ВВП на душу населення України за паритетом купівельної спроможності протягом 1991-2021 рр., міжнародних доларів

*Джерело: складено за даними [73]

Можна побачити, що з 1991 р. почалося падіння ВВП на душу населення за ПКС в Україні, оскільки це було наслідком перебудови економіки України з планової до ринкової. В 2000-х роках наведений показник зростав, що було наслідком зростання економіки України. Проте, як можна побачити, внаслідок криз ВВП на душу населення України за ПКС знижувався, що свідчило про погіршення рівня життя більшості населення.

На рис. 2.4 наведена динаміка обсягу прямих іноземних інвестицій в Україну за аналогічний період.

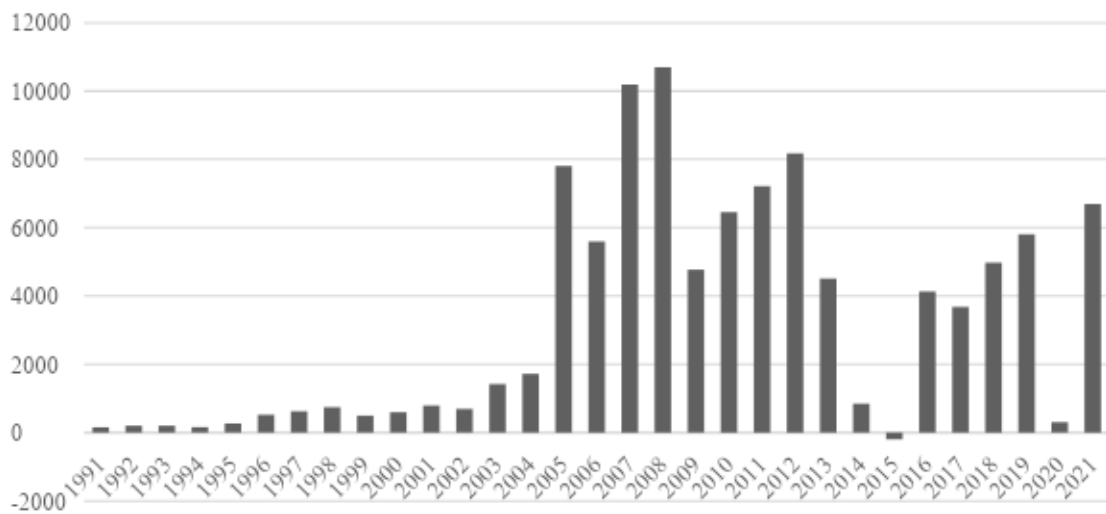


Рис. 2.4. Динаміка обсягу прямих іноземних інвестицій в Україну протягом 1991-2021 рр., млн дол США

*Джерело: складено за даними [73]

Стрімкий приріст прямих іноземних інвестицій в Україну відбувся в 2005 р., коли темпи зростання реального ВВП в Україні були доволі високими та стабільними. Найбільших значень прями іноземні інвестиції досягли в 2008 р., їхній обсяг дорівнював 10,7 млрд дол США. В 2015 р. відбувся відтік інвестицій, і вони вперше за всю історію знизились до від'ємних значень. Чергове падіння інвестицій відбулося в 2020 р., що було наслідком пандемії COVID-19 та ризиків, пов'язаних з економікою України.

На рис. 2.5 наведена динаміка частки валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП.

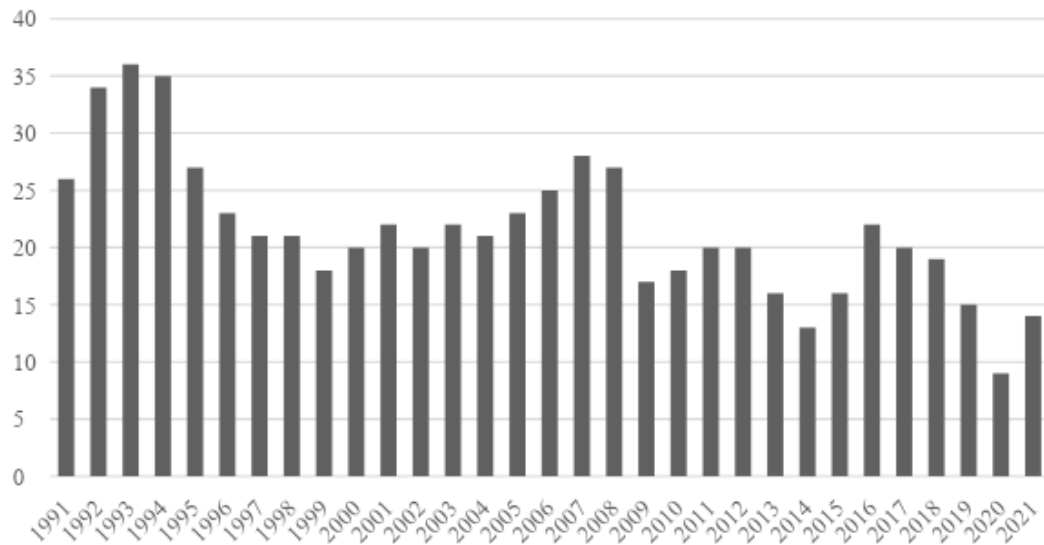


Рис. 2.5. Динаміка частки валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП протягом 1991-2021 рр., % до ВВП

*Джерело: складено за даними [43]

Таким чином, частка валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП знизилась порівняно з 1991 р. Максимальна частка приватних інвестицій була в 1993 р., і вона становила 36%, проте це не відображало реального економічного розвитку, оскільки інші частки ВВП (споживання, державні закупівлі та чистий експорт) були нижчими, ніж зараз. Більш реальну ситуацію з економічним розвитком цей показник демонстрував в 2000-х роках, коли значення валових приватних інвестицій доходило до 28% в 2007 р. Економічна нестабільність останніх років спричинила суттєве скорочення інвестиційної активності підприємств, і в 2020 р. внаслідок пандемії COVID-19 цей показник скоротився лише до 9%, і з такою часткою інвестицій не можна говорити про подальший суттєвий економічний розвиток.

На рис. 2.6 наведена динаміка частки виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел.

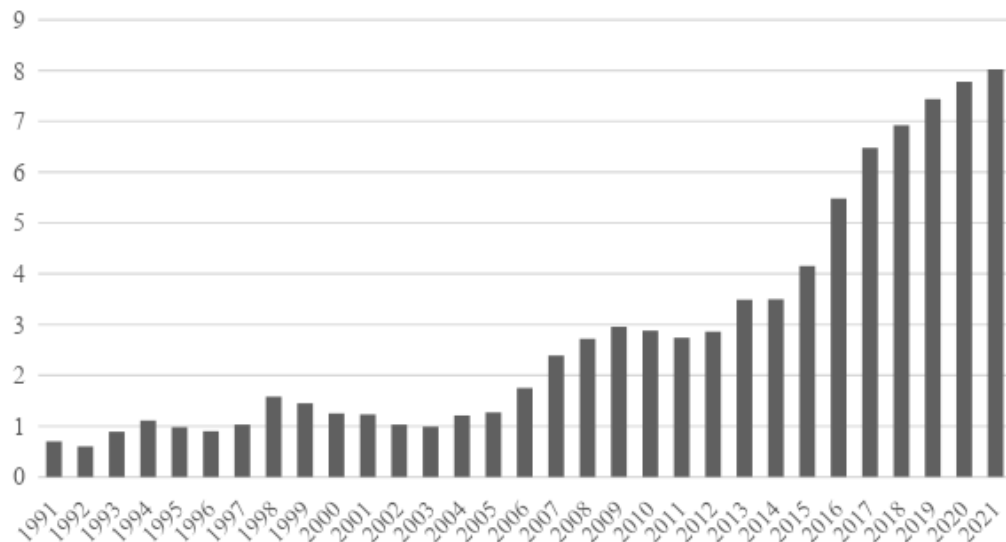


Рис. 2.6. Динаміка частки виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел, % до загального виробництва енергії

*Джерело: складено за даними [73]

Наведена динаміка свідчить про те, що виробництво енергії за допомогою відновлюваних джерел в Україні поступово збільшується, що наближує Україну до світових енергетичних стандартів та в кінцевому підсумку до вищого рівня економічного розвитку.

Можемо висунути гіпотезу, що зі збільшенням темпу зростання промислового виробництва, зниженням ВВП на душу населення за ПКС, зростанням суми прямих іноземних інвестицій, зниженням частки валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП, зростанням частки виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел загальний середньорічний рівень часток PM_{2,5} в повітрі буде знижуватися. За допомогою моделювання в наступному підрозділі цю гіпотезу буде перевірено.

2.3. Моделювання впливу показників економічного розвитку на стан навколишнього середовища в Україні

Для моделювання буде використано модель з п'ятьма факторами, які впливають на результат. За допомогою функції ЛИНЕЙН в Microsoft Excel було сформовано рівняння регресії, яке має вигляд:

$$y = 20,082 - 0,0045x_1 + 0,000072x_2 - 0,000015x_3 + 0,04823x_4 - 0,9987x_5, \quad (2.3)$$

Де y – середньорічний рівень часток PM2,5 в повітрі, мкг/м³, x_1 – індекс приросту промислового виробництва України, % до попереднього року, x_2 – ВВП на душу населення за ПКС, міжнародних доларів, x_3 – прямі іноземні інвестиції в Україну, млн дол США, x_4 – частка валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП, %, x_5 – частка виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел в Україні, % від загального виробництва енергії. Графік реальних та модельованих значень має такий вигляд:

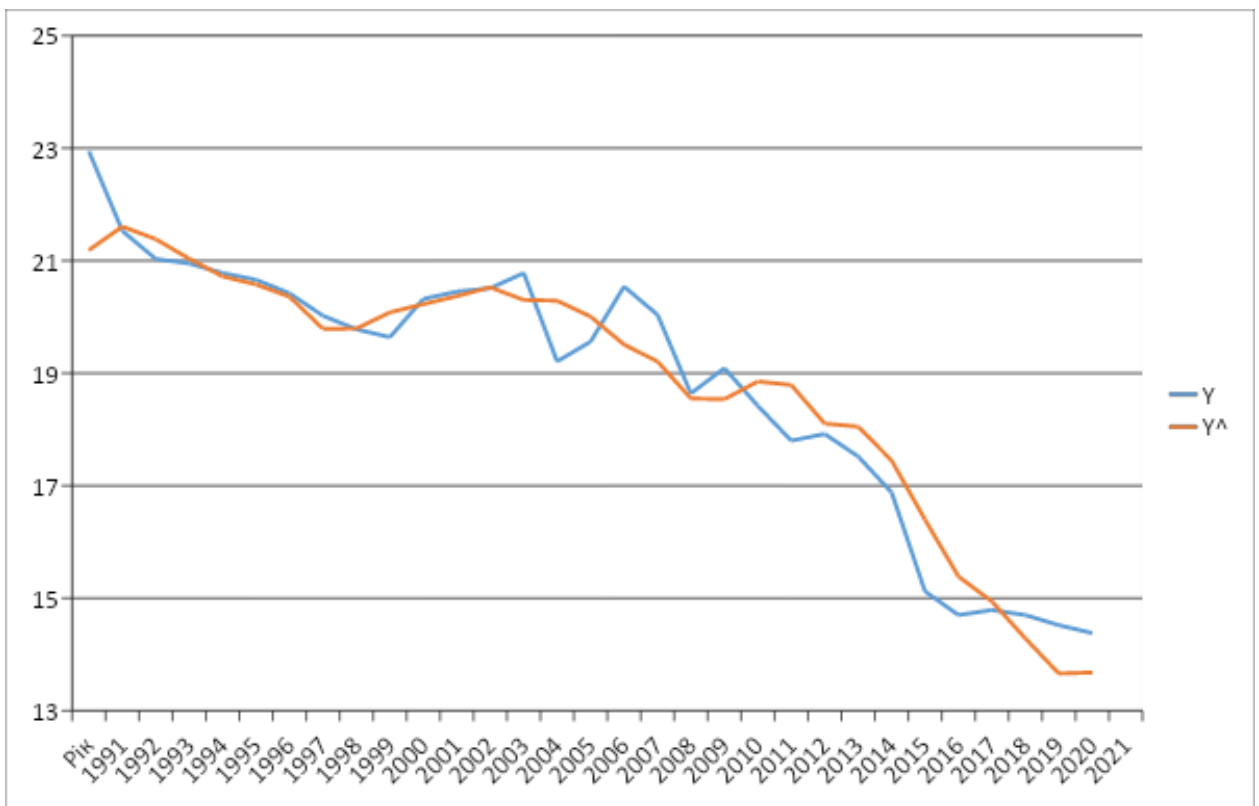


Рис. 3.1. Графік реальних та модельованих значень рівня часток PM2,5 в повітрі в Україні протягом 1991-2021 рр., мкг/м³ за багатofакторною моделлю

За допомогою даної моделі можна зробити висновок, що зі зростанням індексу промислового виробництва України порівняно з 1990 р. на одиницю, середньорічний рівень часток PM_{2,5} в повітрі знизиться на 0,0045 мкг/м³. Зі зростанням ВВП на душу населення за ПКС на 1 долар, середньорічний рівень часток PM_{2,5} в повітрі збільшиться на 0,000072 мкг/м³. Зі зростанням прямих іноземних інвестицій на 1 млн дол США, середньорічний рівень часток PM_{2,5} в повітрі знизиться на 0,000015 мкг/м³. Зі зростанням частки валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП на 1% від ВВП, середньорічний рівень часток PM_{2,5} в повітрі збільшиться на 0,04823 мкг/м³. Зі зростанням частки виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел на 1% від загального виробництва, середньорічний рівень часток PM_{2,5} в повітрі знизиться на 0,9987 мкг/м³.

В табл. 2.2 наведені значення коефіцієнтів кореляції та детермінації окремо за кожним фактором в рамках впливу на рівень часток PM_{2,5} в повітрі.

Таблиця 2.2

Значення коефіцієнтів кореляції та детермінації окремо за кожним фактором

Показник	Індекс промислового виробництва порівняно з 1990 р.	ВВП на душу населення	Прямі іноземні інвестиції	Частка інвестиційних витрат в структурі ВВП	Частка виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел
Значення коефіцієнту кореляції	0,62581	-0,8443	-0,2878	0,66863	-0,9571
Значення коефіцієнту детермінації	0,39164	0,71292	0,08283	0,44707	0,91605

*Джерело: розраховано автором

Отже, можна побачити, що найбільший вплив на рівень часток PM_{2,5} в повітрі здійснює частка виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел, що є логічним, оскільки дані показники дуже тісно взаємопов'язані. Найнижчий вплив здійснюють прямі іноземні інвестиції.

Перейдемо до статистичного аналізу отриманого рівняння регресії: перевірки значущості рівняння та його коефіцієнтів, дослідження абсолютних та відносних помилок апроксимації.

Для незміщеної оцінки дисперсії виконаємо такі обчислення:

Незміщена помилка $\varepsilon = Y - Y(x) = Y - X*s$ (абсолютна помилка апроксимації).

Таблиця 2.3

Розрахунок похибки апроксимації моделі

Y	Y(x)	$\varepsilon = Y - Y(x)$	ε^2	$(Y - Y_{cp})^2$	$ \varepsilon : Y $
22,95	21,187	1,763	3,107	16,996	0,0768
21,53	21,607	-0,0766	0,00587	7,304	0,00356
21,03	21,383	-0,353	0,125	4,851	0,0168
20,95	21,035	-0,0852	0,00726	4,505	0,00407
20,78	20,72	0,06	0,0036	3,813	0,00289
20,66	20,578	0,0818	0,00669	3,358	0,00396
20,42	20,359	0,0613	0,00376	2,536	0,003
20,02	19,789	0,231	0,0534	1,422	0,0115
19,78	19,793	-0,0131	0,00017	0,907	0,00066
19,64	20,081	-0,441	0,194	0,66	0,0225
20,32	20,227	0,0925	0,00856	2,228	0,00455
20,45	20,369	0,0807	0,00651	2,633	0,00394
20,51	20,527	-0,0172	0,0003	2,831	0,00084
20,78	20,302	0,478	0,229	3,813	0,023
19,21	20,288	-1,078	1,162	0,146	0,0561
19,56	20,006	-0,446	0,199	0,537	0,0228
20,54	19,509	1,031	1,063	2,933	0,0502
20,04	19,209	0,831	0,69	1,47	0,0415
18,64	18,55	0,0905	0,00818	0,0351	0,00485
19,09	18,537	0,553	0,305	0,0689	0,0289
18,42	18,852	-0,432	0,186	0,166	0,0234
17,8	18,791	-0,991	0,983	1,056	0,0557
17,92	18,104	-0,184	0,0337	0,823	0,0102
17,52	18,05	-0,53	0,281	1,709	0,0303
16,88	17,449	-0,569	0,324	3,792	0,0337
15,12	16,395	-1,275	1,626	13,745	0,0843
14,7	15,385	-0,685	0,469	17,036	0,0466
14,79	14,942	-0,152	0,0231	16,301	0,0103
14,7	14,285	0,415	0,172	17,036	0,0282
14,52	13,661	0,859	0,738	18,554	0,0592
14,38	13,679	0,701	0,491	19,78	0,0487
			12,507	173,045	0,813

*Джерело: розраховано автором

Тоді середня похибка апроксимації дорівнює:

$$A = \frac{\sum|\epsilon:y|}{n} * 100\% = \frac{0,813}{31} * 100\% = 2,62\%, \quad (2.4)$$

Таким чином, середня похибка апроксимації даної моделі дорівнює 2,62%, що свідчить про високу надійність даної моделі.

Тісноту спільного впливу факторів на результат оцінює індекс множинної кореляції (R). На відміну від парного коефіцієнта кореляції, який може набувати негативних значень, він приймає значення від 0 до 1.

Тому R не може бути використаний для інтерпретації напряму зв'язку. Чим щільніші фактичні значення y_i розташовуються щодо лінії регресії, тим менша залишкова дисперсія і, отже, більша величина $R_y(x_1, \dots, x_m)$.

Таким чином, при значенні R, близькому до 1, рівняння регресії краще описує фактичні дані і фактори сильніше впливають на результат. При значенні R, близькому до 0, рівняння регресії погано описує фактичні дані та фактори здійснюють слабку дію на результат [33].

$$R = \sqrt{1 - \frac{e^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}} = \sqrt{1 - \frac{12,507}{173,05}} = 0,9632 \quad (2.5)$$

Таким чином, оскільки коефіцієнт множинної кореляції близький до одиниці, це означає, що зв'язок між факторними ознаками та результатом дуже сильний, що свідчить про адекватність побудови даної моделі.

Число $v = n - m - 1$ називається числом ступенів свободи. Вважається, що при оцінюванні множинної лінійної регресії для забезпечення статистичної надійності потрібно, щоб кількість спостережень принаймні в 3 рази перевищувала кількість параметрів, що оцінюються [33].

Визначимо значення t-статистики для всіх коефіцієнтів даної моделі.

$$T_{\text{табл}}(n-m-1; \alpha/2) = (25; 0,025) = 2,385.$$

$$t_i = b_i / S_{b_i};$$

$t_0 = 20,082/0,839 = 23,942 > 2,385$. Статистична значущість коефіцієнта регресії b_0 підтверджується.

$t_1 = -0,00454/0,0182 = 0,25 < 2,385$. Статистична значущість коефіцієнта регресії b_1 не підтверджується.

$t_2 = -0,000072/0,00011 = 2,98 > 2,385$. Статистична значущість коефіцієнта регресії b_2 підтверджується.

$t_3 = -0,000015/0,000051 = 0,293 < 2,385$. Статистична значущість коефіцієнта регресії b_3 не підтверджується.

$t_4 = 0,0482/0,0273 = 3,028 > 2,385$. Статистична значущість коефіцієнта регресії b_4 підтверджується.

$t_5 = -0,999/0,148 = 6,741 > 2,385$. Статистична значущість коефіцієнта регресії b_5 підтверджується.

Таким чином, оскільки більшість коефіцієнтів моделі статистично підтверджуються, можна сказати, що ці значення відповідають статистичним стандартам критерію Стьюдента. Далі перевіримо загальну якість рівняння множинної регресії.

Оцінка значущості рівняння множинної регресії здійснюється шляхом перевірки гіпотези про рівність нулю коефіцієнт детермінації розрахованого за даними генеральної сукупності: R^2 або $b_1 = b_2 = \dots = b_m = 0$ (гіпотеза про незначущість рівняння регресії, розрахованого за даними генеральної сукупності) [33].

Для перевірки використовують F-критерій Фішера. При цьому обчислюють фактичне значення F-критерію, що спостерігається, через коефіцієнт детермінації R^2 , розрахований за даними конкретного спостереження.

За таблицями розподілу Фішера-Снекедора знаходять критичне значення F-критерію ($F_{кр}$). Для цього задаються рівнем значущості α

(зазвичай його беруть рівним 0,05) та двома числами ступенів свободи $k_1=m$ та $k_2=n-m-1$.

$$R^2 = 1 - \frac{e^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{12,507}{173,05} = 0,9277 \quad (2.6)$$

Перевіримо гіпотезу про загальну значущість – гіпотезу про одночасну рівність нулю всіх коефіцієнтів регресії при пояснюючих змінних:

$$H_0: R^2 = 0; \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_m = 0.$$

$$H_1: R^2 \neq 0.$$

Перевірка цієї гіпотези здійснюється за допомогою F-статистики розподілу Фішера (правобічна перевірка) [33].

Якщо $F < F_{кр} = F_{\alpha; n-m-1}$, то немає підстав для відхилення гіпотези H_0 .

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} * \frac{n-m-1}{m} = \frac{0,9277}{1-0,9277} * \frac{31-5-1}{5} = 64,182 \quad (2.7)$$

Табличне значення при ступенях свободи $k_1 = 5$ і $k_2 = n-m-1 = 31 - 5 - 1 = 25$, $F_{кр} (5; 25) = 2,62$.

Оскільки фактичне значення $F > F_{кр}$, то коефіцієнт детермінації статистично значущий і рівняння регресії статистично надійне (тобто коефіцієнти b_i спільно значимі).

Необхідність оцінки значущості додаткового включення фактора (приватний критерій F) пов'язана з тим, що не кожен фактор, який увійшов до моделі, може суттєво збільшити частку поясненої варіації результативної ознаки. Це може бути пов'язано з послідовністю факторів, що вводяться (оскільки існує кореляція між самими факторами) [33].

Мірою оцінки значущості поліпшення якості моделі, після включення до неї фактора x_j , служить приватний F-критерій – F_{x_j} :

$$F_{x_j} = \frac{R^2 - R^2(x_1, x_n)}{1 - R^2} (n - m - 1), \quad (2.8)$$

де m – число оцінюваних параметрів. У чисельнику – приріст частки варіації за рахунок додатково включеного в модель фактора x_j .

Якщо значення F_{x_j} більше ніж $F_{кр}$, то додаткове введення фактора x_j в модель статистично виправдане [33].

Приватний F-критерій оцінює значення коефіцієнтів «чистої» регресії (b_j). Існує взаємозв'язок між приватним F-критерієм – F_{x_j} і t-критерієм, що використовується для оцінки значущості коефіцієнта регресії при j -му факторі [33]:

$$t(b_{j=0}) = \sqrt{F_{x_j}} \quad (2.9)$$

$$F_{x_1} = ((0,9277 - 0,928) / (1 - 0,9277)) * (31 - 5 - 1) = -0,148.$$

$$R^2(x_5, x_n) = \sum \beta_j r_j = 0,0964 * (-0,8443) - 0,02051 * (-0,2878) + 0,1238 * 0,6686 - 0,9622 * (-0,9571) = 0,928.$$

$$F_{кр}(k_1=4; k_2=25) = 2,78.$$

Порівняємо значення приватного F-критерію з критичним:

$F_{x_1} < 2,78$, отже, фактор x_1 не доцільно включати модель після введення факторів x_j .

$$F_{x_2} = ((0,9277 - 1,009) / (1 - 0,9277)) * (31 - 5 - 1) = -28,156.$$

$$R^2(x_5, x_n) = \sum \beta_j r_j = -0,01409 * 0,03029 - 0,02051 * (-0,2878) + 0,1238 * 0,6686 - 0,9622 * (-0,9571) = 1,009.$$

Порівняємо значення приватного F-критерію з критичним:

$F_{x_2} < 2,78$, отже, фактор x_2 не доцільно включати модель після введення факторів x_j .

$$F_{x_3} = ((0,9277 - 0,922) / (1 - 0,9277)) * (31 - 5 - 1) = 2,95.$$

$$R^2(x_5, x_n) = \sum \beta_j r_j = -0,01409 * 0,03029 + 0,0964 * (-0,8443) + 0,1238 * 0,6686 - 0,9622 * (-0,9571) = 0,922.$$

Порівнюємо значення приватного F-критерію з критичним:

$F_{x_3} > 2,78$, отже, фактор x_3 доцільно включати модель після введення факторів x_j .

$$F_{x_4} = ((0,9277 - 0,845) / (1 - 0,9277)) * (31 - 5 - 1) = 28,626.$$

$$R^2(x_5, x_n) = \sum \beta_j r_j = -0,01409 * 0,03029 + 0,0964 * (-0,8443) - 0,02051 * (-0,2878) - 0,9622 * (-0,9571) = 0,845.$$

Порівнюємо значення приватного F-критерію з критичним:

$F_{x_4} > 2,78$, отже, фактор x_4 доцільно включати модель після введення факторів x_j .

$$F_{x_5} = ((0,9277 - 0,00683) / (1 - 0,9277)) * (31 - 5 - 1) = 318,545.$$

$$R^2(x_5, x_n) = \sum \beta_j r_j = -0,01409 * 0,03029 + 0,0964 * (-0,8443) - 0,02051 * (-0,2878) + 0,1238 * 0,6686 = 0,00683.$$

Порівнюємо значення приватного F-критерію з критичним:

$F_{x_5} > 2,78$, отже, фактор x_5 доцільно включати модель після введення факторів x_j .

Важливою причиною побудови якісної регресійної моделі МНК є незалежність значень випадкових відхилень від значень відхилень в інших спостереженнях. Це гарантує відсутність корелювання між будь-якими відхиленнями i , зокрема, між сусідніми відхиленнями.

Автокореляція (послідовна кореляція) визначається як кореляція між показниками, що спостерігаються, упорядкованими в часі (тимчасові ряди) або в просторі (перехресні ряди). Автокореляція залишків (відхилень) зазвичай трапляється у регресійному аналізі під час використання даних часових рядів і дуже рідко під час використання перехресних даних [33].

В економічних завданнях значно частіше трапляється позитивна автокореляція, ніж негативна автокореляція. Найчастіше позитивна автокореляція викликається спрямованим постійним впливом деяких неврахованих у моделі чинників [33].

Негативна автокореляція фактично означає, що за позитивним відхиленням слідує негативне і навпаки. Така ситуація може мати місце, якщо

ту саму залежність між попитом на прохолодні напої та доходами розглядати за сезонними даними (зима-літо).

Серед основних причин, що викликають автокореляцію, можна виділити такі:

1. Помилки специфікації. Відсутність обліку моделі будь-якої важливої пояснюючої змінної чи неправильний вибір форми залежності зазвичай призводять до системних відхилень точок спостереження лінії регресії, що може зумовити автокореляцію.

2. Інерція. Багато економічних показників (інфляція, безробіття, ВВП і т. д.) мають певну циклічність, пов'язану з хвилеподібністю ділової активності. Тому зміна показників відбувається не миттєво, а має певну інертність.

3. Ефект павутини. У багатьох виробничих та інших сферах економічні показники реагують зміну економічних умов із запізненням (тимчасовим лагом).

4. Згладжування даних. Найчастіше дані по деякому тривалому часовому періоду отримують усереднення даних по складових його інтервалах. Це може призвести до певного згладжування коливань, які були всередині періоду, що розглядається, що, в свою чергу, може бути причиною автокореляції.

Наслідки автокореляції схожі з наслідками гетероскедастичності: висновки з t - та F -статистик, що визначають значущість коефіцієнта регресії та коефіцієнта детермінації, можливо, будуть невірними [33].

Є низка варіантів графічного визначення автокореляції. Один із них пов'язує відхилення ε_i з моментами їх отримання. При цьому по осі абсцис відкладають час отримання статистичних даних, або порядковий номер спостереження, а по осі ординат – відхилення ε_i (або оцінки відхилень).

Природно припустити, що якщо є певний зв'язок між відхиленнями, то автокореляція має місце. Відсутність залежності швидше за все свідчить про відсутність автокореляції.

Автокореляція стає наочнішою, якщо побудувати графік залежності ε_i від ε_{i-1} .

Формула коефіцієнту автокореляції:

$$r_{ei} = \frac{\overline{\varepsilon_i \varepsilon_{i-1}} - \overline{\varepsilon_i} \cdot \overline{\varepsilon_{i-1}}}{S_{ei} \cdot S_{ei-1}} \quad (2.10)$$

Якщо коефіцієнт автокореляції $r_{ei} < 0,5$, то є підстави стверджувати, що автокореляція відсутня.

Для визначення ступеня автокореляції обчислимо коефіцієнт автокореляції та перевіримо його значущість за допомогою критерію стандартної помилки. Стандартна помилка коефіцієнта кореляції розраховується за такою формулою:

$$S_{eY} = \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (2.11)$$

Коефіцієнти автокореляції випадкових даних повинні мати вибірковий розподіл, що наближається до нормального з нульовим математичним очікуванням і середнім квадратичним відхиленням, що дорівнює:

$$S_{eY} = \frac{1}{\sqrt{31}} = 0,18 \quad (2.12)$$

Якщо коефіцієнт автокореляції першого порядку r_1 знаходиться в інтервалі: $-2,385 \cdot 0,18 < r_1 < 2,385 \cdot 0,18$, то можна вважати, що дані не показують наявності автокореляції першого порядку.

Використовуючи розрахункову таблицю, отримуємо:

$$r_1 = \frac{\overline{\varepsilon_i \varepsilon_{i-1}} - \overline{\varepsilon_i} \cdot \overline{\varepsilon_{i-1}}}{S_{ei} \cdot S_{ei-1}} = \frac{3,757}{12,507} = 0,3 \quad (2.13)$$

Оскільки $-0,428 < r_1 = 0,3 < 0,428$, то властивість незалежності залишків виконується. Автокореляція відсутня.

Критерій Дарбіна-Уотсона є найбільш відомим виявлення автокореляції. При статистичному аналізі рівняння регресії на початковому етапі часто перевіряють здійсненність однієї причини: умови статистичної незалежності відхилень між собою. При цьому перевіряється некорелювання сусідніх величин e_i [33].

Таблиця 2.4

Розрахункова таблиця для перевірки критерію Дарбіна-Уотсона

y	y(x)	$e_i = y - y(x)$	e^2	$(e_i - e_{i-1})^2$
22,95	21,187	1,763	3,107	
21,53	21,607	-0,0766	0,00587	3,383
21,03	21,383	-0,353	0,125	0,0766
20,95	21,035	-0,0852	0,00726	0,0719
20,78	20,72	0,06	0,0036	0,0211
20,66	20,578	0,0818	0,00669	0,00048
20,42	20,359	0,0613	0,00376	0,00042
20,02	19,789	0,231	0,0534	0,0289
19,78	19,793	-0,0131	0,00017	0,0597
19,64	20,081	-0,441	0,194	0,183
20,32	20,227	0,0925	0,00856	0,285
20,45	20,369	0,0807	0,00651	0,00014
20,51	20,527	-0,0172	0,0003	0,00958
20,78	20,302	0,478	0,229	0,246
19,21	20,288	-1,078	1,162	2,422
19,56	20,006	-0,446	0,199	0,399
20,54	19,509	1,031	1,063	2,183
20,04	19,209	0,831	0,69	0,0402
18,64	18,55	0,0905	0,00818	0,548
19,09	18,537	0,553	0,305	0,214
18,42	18,852	-0,432	0,186	0,969
17,8	18,791	-0,991	0,983	0,313
17,92	18,104	-0,184	0,0337	0,652
17,52	18,05	-0,53	0,281	0,12
16,88	17,449	-0,569	0,324	0,00149
15,12	16,395	-1,275	1,626	0,499
14,7	15,385	-0,685	0,469	0,348
14,79	14,942	-0,152	0,0231	0,284
14,7	14,285	0,415	0,172	0,321
14,52	13,661	0,859	0,738	0,197
14,38	13,679	0,701	0,491	0,0252
			12,507	20,902

* Джерело: розраховано автором

Для аналізу корельованості відхилень використовують статистику Дарбіна-Уотсона:

$$DW = \frac{\sum(e_i - e_{i-1})^2}{\sum e_i^2} = \frac{20,9}{12,51} = 1,67 \quad (2.14)$$

Критичні значення d_1 і d_2 визначаються на основі спеціальних таблиць для необхідного рівня значущості α , числа спостережень $n = 31$ та кількості пояснюючих змінних $m=5$.

Автокореляція відсутня, якщо виконується така умова: $d_1 < DW$ і $d_2 < DW < 4 - d_2$.

Не звертаючись до таблиць, можна скористатися приблизним правилом і вважати, що автокореляція залишків відсутня, якщо $1,5 < DW < 2,5$. Оскільки $1,5 < 1,67 < 2,5$, то автокореляція залишків відсутня.

Здійснимо перевірку нормальності розподілу залишкової компоненти. Розрахункове значення RS-критерію дорівнює:

$$RS = \frac{\epsilon_{\max} - \epsilon_{\min}}{S_e} \quad (2.15)$$

де $\epsilon_{\max} = 1,7627$ – максимальне значення залишків, $\epsilon_{\min} = -1,2752$ – мінімальний рівень ряду залишків. S_e – середньоквадратичне відхилення

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum e^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{12,507}{31-1}} = 0,927 \quad (2.16)$$

$$RS = \frac{1,763 - (-1,275)}{0,927} = 3,27 \quad (2.17)$$

Розрахункове значення RS-критерію потрапляє до інтервалу (2,7-3,7), отже, властивість нормального розподілу виконується. Таким чином, модель адекватна за нормальністю розподілу залишкової компоненти.

Також дослідимо дану модель на мультиколінеарність, тобто, чи суттєвий кореляційний зв'язок між факторними ознаками. Для цього наведемо коефіцієнти кореляції в таблиці (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Коефіцієнти кореляції між факторними ознаками в моделі

Фактори	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅
x ₁	1	-0,194	0,327	0,666	-0,537
x ₂	-0,194	1	0,504745	-0,515	0,9010
x ₃	0,3271	0,5047	1	-0,077	0,3153
x ₄	0,6660	-0,5154	-0,077	1	-0,6155
x ₅	-0,5369	0,9010	0,315	-0,616	1

*Джерело: розраховано автором

Найбільший коефіцієнт кореляції спостерігається між часткою виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел та ВВП на душу населення за ПКС. Ці показники фактично повторюють свою динаміку, і тому ці фактори є взаємокорелюючими, що справляє негативний вплив на поточну модель. Коефіцієнти кореляції за іншими факторами не перевищують 0,7 за модулем, а тому вони були підібрані правильно в рамках однієї моделі.

Для порівняння побудуємо також STRIPAT модель, яка має вигляд:

$$y = a_0 * x_1^{a_1} * x_2^{a_2} * x_3^{a_3} * x_4^{a_4}$$

Для знаходження параметрів моделі ми лінеаризували функцію і знайшли відповідні параметри:

$$\ln y = 2,897 + 0,002 * \ln x_1 + 0,016 * \ln x_2 + 0,007 * \ln x_3 - 0,180 * \ln x_4$$

Після всіх проведених розрахунків (Додаток Б), було знайдено модельовані значення Y. Результати фактичних та модельованих значень відображені на Рис. 3.2.

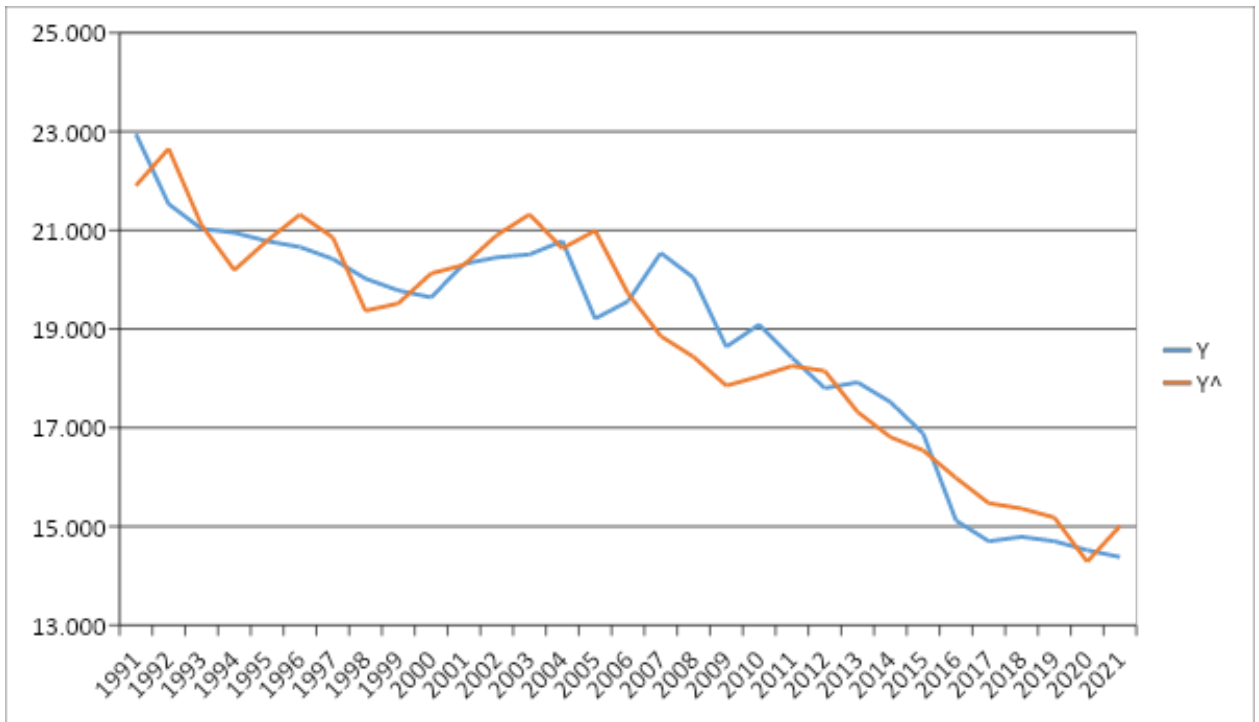


Рис. 3.1. Графік реальних та модельованих значень рівня часток PM_{2,5} в повітрі в Україні протягом 1991-2021 рр., мкг/м³ за моделлю STRIPAT

Дана модель теж є точною і адекватною за такими критеріями (Додаток С):

1) Середня похибка апроксимації даної моделі дорівнює 2,62%, що свідчить про високу надійність даної моделі.

2) Коефіцієнт множинної кореляції (R) близький до одиниці (0,944), і це означає, що зв'язок між факторними ознаками та результатом дуже сильний, що свідчить про адекватність побудови даної моделі.

3) Показник детермінації становить 90%, що вказує на високу точність моделі.

4) t розрахункове (0,005) менше табличного t (2,04) статистики Стюдента, тобто гіпотеза про рівність нулю математичного сподівання випадкової послідовності приймається.

5) $\epsilon_{\max} = 1,781$ – максимальне значення залишків, $\epsilon_{\min} = -1,045$ – мінімальний рівень ряду залишків, S_{ϵ} – середньоквадратичне відхилення (0,795). Відповідно розрахункове значення RS-критерію (3,55) потрапляє до

інтервалу $(2,7-3,7)$, отже, властивість нормального розподілу виконується. Таким чином, модель адекватна за нормальністю розподілу залишкової компоненти.

Бачимо, що перша багатофакторна модель є більш якісною, ніж STRIPAT модель для визначення впливу економічного розвитку на навколишнє середовище. Ця модель є адекватною за більшістю з показників, а коефіцієнти моделі, в основному, є статистично значущими. Використання наведеної моделі дозволить змоделювати рівень благополуччя навколишнього середовища за показником рівня часток $PM_{2,5}$ в повітрі. Моделювання показало, що найбільший вплив на благополуччя навколишнього середовища здійснює показник частки виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел. Модель загалом можна використовувати для того, щоб пояснити динаміку рівня шкідливих часток $PM_{2,5}$ в повітрі. Статистична значущість рівняння перевірена за допомогою коефіцієнта детермінації та критерію Фішера. Проведення тесту Дарбіна-Уотсона дозволило визначити, що автокореляція залишків відсутня, а дослідження на мультиколінеарність дозволило визначити, що взаємокорельованими є лише два фактори в моделі. Все це свідчить про можливість застосування розробленої моделі для економіки України.

РОЗДІЛ 3. ПРОГНОЗУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТА ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ В УКРАЇНІ

3.1. Прогнозування екологічного стану в Україні

Для того, щоб здійснити точковий прогноз показників економічного розвитку, згідно з аналізованою моделлю, зобразимо кожний показник моделі окремо в залежності від часових рядів.

На рис. 3.1 наведене рівняння тренду залежності темпу приросту промислового виробництва за рік від часового періоду.

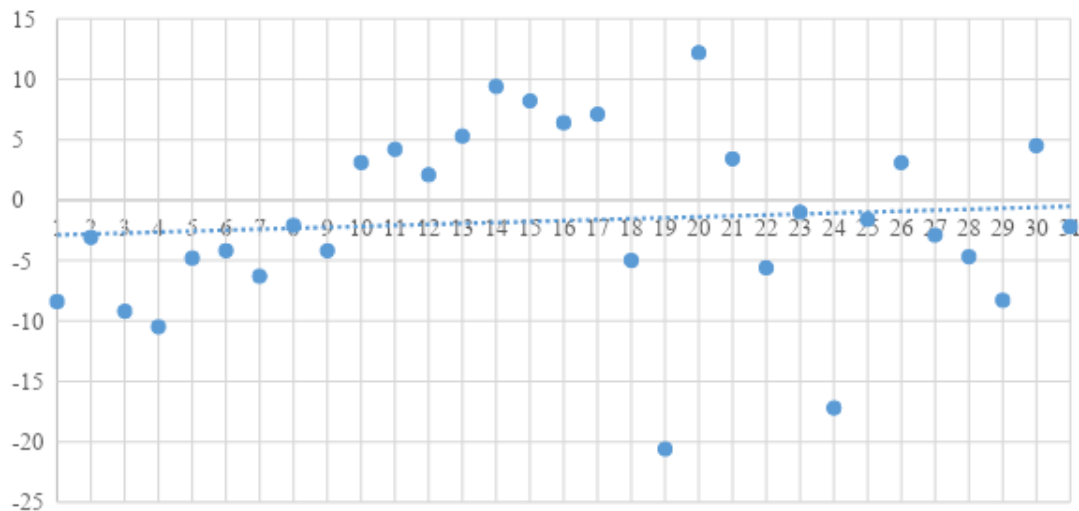


Рис. 3.1. Рівняння тренду залежності темпу приросту промислового виробництва за рік від часового періоду

*Джерело: побудовано автором

Можна побачити, що рівняння тренду має вигляд: $y = -0,000006x^6 + 0,0002x^5 - 0,0051x^4 + 0,0327x^3 + 0,3135x^2 - 2,5091x - 3,9542$, де y – темп приросту промислового виробництва за рік, % до попереднього року, x – номер часового періоду. Якщо здійснити прогноз на плановий рік, а це в рамках даної моделі 32-й часовий період, і підставити замість значення x число 32, то отримаємо значення темпу приросту промислового виробництва -3,77%.

Оскільки порівняно з 1990-м роком в 2021 р. рівень обсягу промислового виробництва загалом знизився на 46,33%, то якщо цей рівень знизиться ще на 3,77%, то порівняно з 1990-м роком у плановому році буде зниження на 48,36%. Таким чином, коефіцієнт промислового виробництва у плановому році складе всього 0,4836, це значення буде використане в моделі для прогнозування рівня екологічного благополуччя.

Далі наведено рівняння тренду залежності ВВП на душу населення за ПКС за рік від часового періоду.

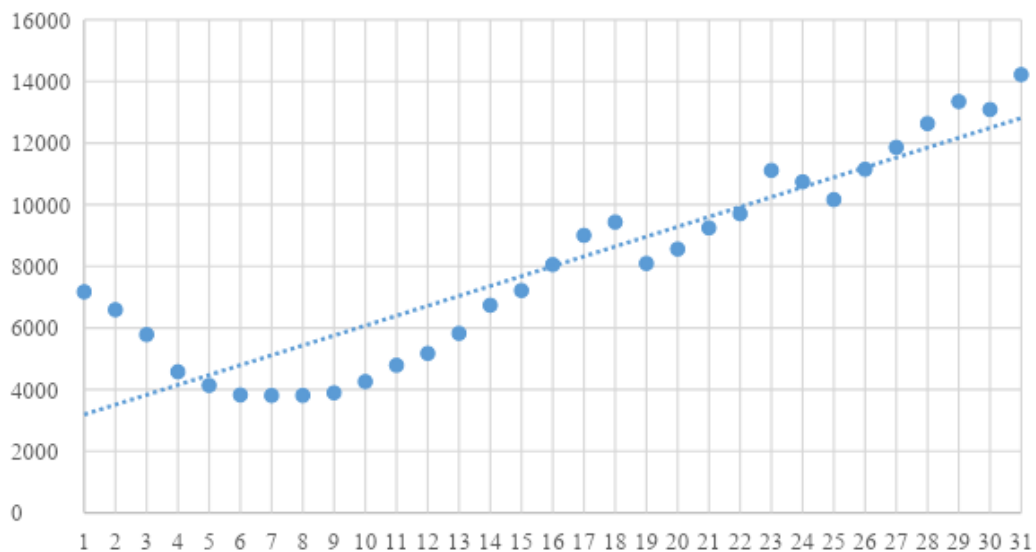


Рис. 3.2. Рівняння тренду залежності ВВП на душу населення за ПКС за рік від часового періоду

*Джерело: побудовано автором

Можна побачити, що рівняння тренду має вигляд: $y = 0,1231x^4 - 9,1119x^3 + 236,04x^2 - 2073,7x + 9575,2$, де y – ВВП на душу населення України за ПКС, міжнародних доларів, x – номер часового періоду. Якщо здійснити прогноз на плановий рік, і підставити замість значення x число 32, то отримаємо значення ВВП на душу населення за ПКС в розмірі 15422,72 дол.

Далі подано рівняння тренду залежності прямих іноземних інвестицій за рік від часового періоду.

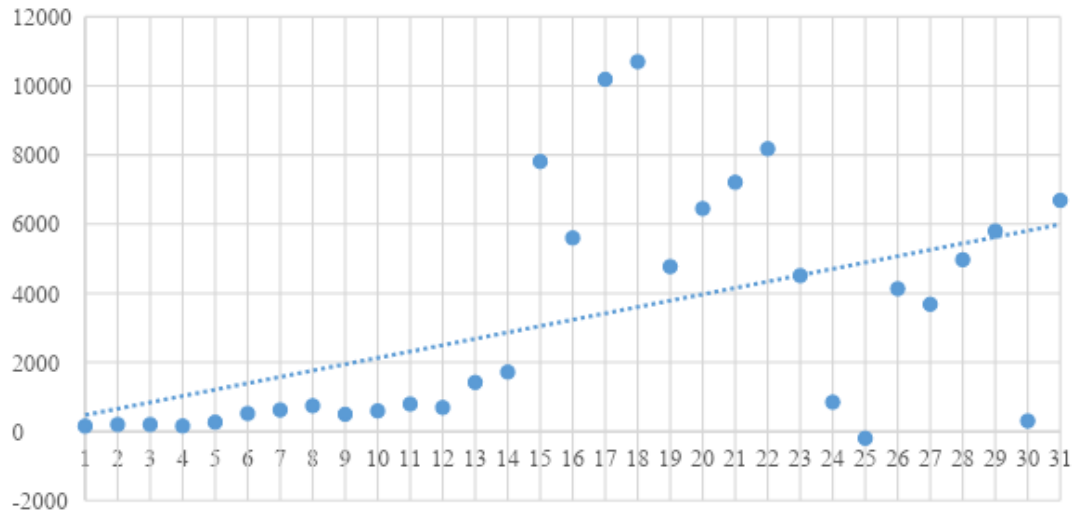


Рис. 3.3. Рівняння тренду залежності прямих іноземних інвестицій в Україну за рік від часового періоду

*Джерело: побудовано автором

Можна побачити, що рівняння тренду має вигляд: $y = 0,2713x^4 - 18,468x^3 + 398x^2 - 2655x + 4307$, де y – прями іноземні інвестиції в Україну, млн дол США, x – номер часового періоду. Якщо здійснити прогноз на плановий рік, і підставити замість значення x число 32, то отримаємо значення прямих іноземних інвестицій в Україну в розмірі 4218,24 дол.

Далі представлено рівняння тренду залежності частки валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП від часового періоду.

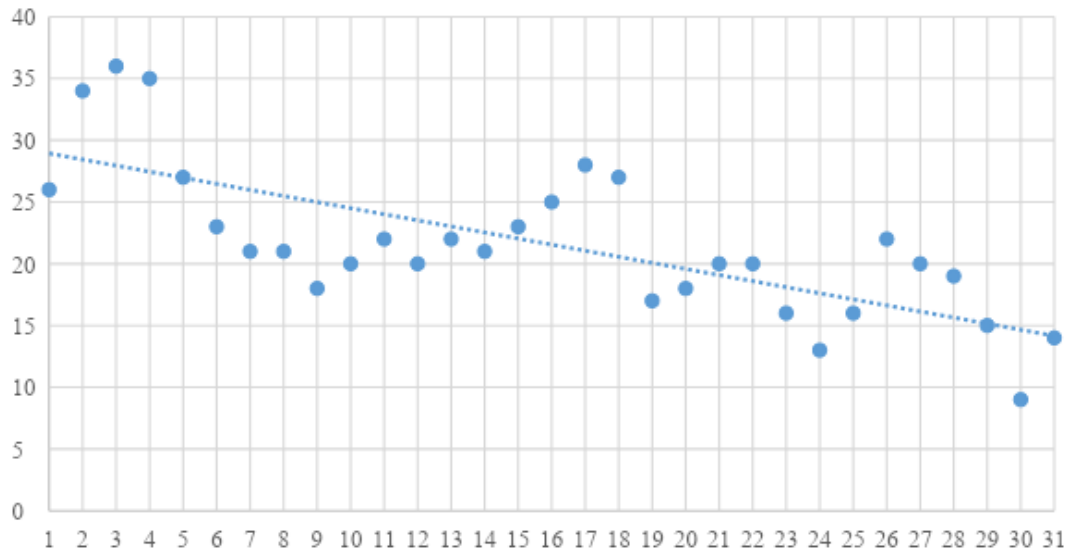


Рис. 3.4. Рівняння тренду залежності частки валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП України від часового періоду

*Джерело: побудовано автором

Можна побачити, що рівняння тренду має вигляд: $y = -0,00001x^6 + 0,001x^5 - 0,0373x^4 + 0,6669x^3 - 5,6352x^2 + 18,591x + 13,896$, де y – частка валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП України, % від ВВП, x – номер часового періоду. Якщо здійснити прогноз на плановий рік, і підставити замість значення x число 32, то отримаємо значення частки валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП України в розмірі 17,13%.

Далі відображено рівняння тренду залежності частки виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел в Україні за рік від часового періоду.

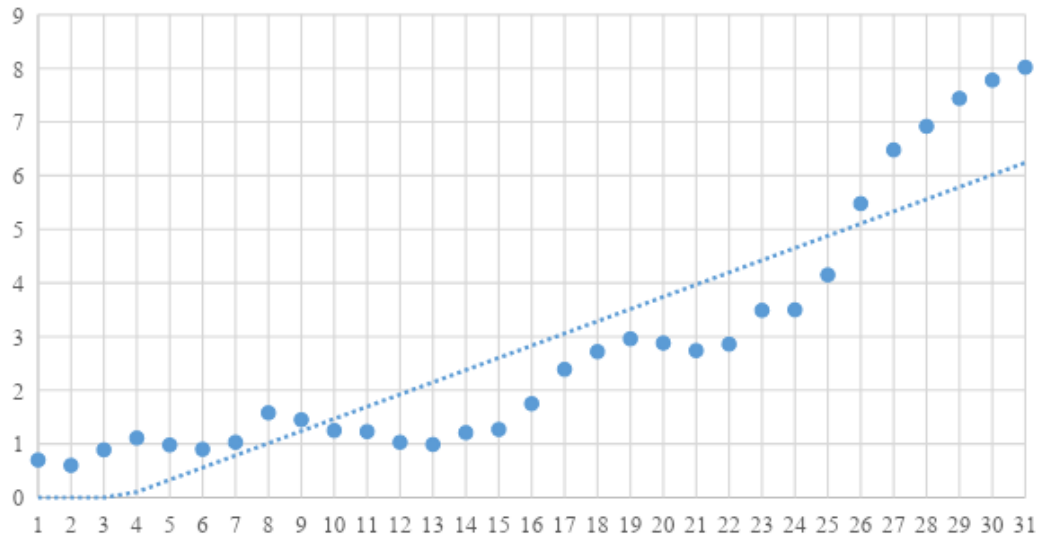


Рис. 3.5. Рівняння тренду залежності частки виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел України від часового періоду

*Джерело: побудовано автором

Можна побачити, що рівняння тренду має вигляд: $y = 0,0129x^2 - 0,1849x + 1,461$, де y – частка виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел України, % від всього виробництва енергії, x – номер часового періоду. Якщо здійснити прогноз на плановий рік, і підставити замість значення x число 32, то отримаємо значення частки виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел України в розмірі 8,75%.

Для того, щоб порівняти якість прогнозних факторних величин у плановому році, в табл. 3.1 наведені коефіцієнти детермінації моделей залежності факторних величин моделі від часових періодів.

Таблиця 3.1

Коефіцієнти детермінації моделей залежності факторних величин моделі від часових періодів

Фактор	Коефіцієнт детермінації
Індекс промислового виробництва	0,3199
ВВП на душу населення за ПКС	0,9786

Продовження табл. 3.1

Прямі іноземні інвестиції	0,5394
Частка валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП	0,7968
Частка виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел	0,9617

*Джерело: розраховано автором

Отже, найбільший ступінь залежності від часового періоду має динаміка фактору ВВП на душу населення за ПКС, оскільки за час спостережень він переважно рівномірно зростає з деякими зниженнями в періоди криз. Також дуже високий рівень залежності має частка виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел, оскільки цей показник теж переважно збільшувався з часом. Частка валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП України має середній ступінь залежності від часового періоду, оскільки динаміка показника залежала від стану економічного циклу.

Найнижчий коефіцієнт детермінації залежності від часового періоду має індекс промислового виробництва в Україні, і лише 32% динаміки цього показника залежить від часового періоду.

Далі побудуємо модель для прогнозування рівня повітряного забруднення в Україні частками PM_{2,5}. Нижче наведено рівняння регресії:

$$y = 16,6219 + 9,6407x_1 - 0,000341x_2 - 0,000083x_3 - 0,02635x_4 - 0,3171x_5, \quad (3.1)$$

Де y – середньорічний рівень часток PM_{2,5} в повітрі, мкг/м³, x_1 – індекс промислового виробництва України порівняно з 1990 р., x_2 – ВВП на душу населення за ПКС, міжнародних доларів, x_3 – прямі іноземні інвестиції в Україну, млн дол США, x_4 – частка валових приватних інвестиційних витрат

в структурі ВВП, %, x_5 – частка виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел в Україні, % від загального виробництва енергії.

Тепер підставимо в рівняння регресії значення прогнозних показників, визначених у цьому підрозділі раніше.

$$y = 16,6219 + 9,6407 * 0,4836 - 0,000341 * 15422,72 - 0,000083 * 4218,24 - 0,02635 * 17,13 - 0,3171 * 8,75 = 12,45 \text{ мкг/м}^3 \quad (3.2)$$

Таким чином, при прогнозних показниках, які були визначені за допомогою кореляційно-регресійного моделювання, було знайдено прогнозний показник рівня часток PM_{2,5} в повітрі 12,45 мкг/м³. Оскільки бажаний рівень цього показника – не більше 10 мкг/м³, можна сказати, що при такому значенні рівень повітряного забруднення в Україні буде все ще підвищеним, хоча, даний рівень має знизитися суттєво порівняно з 1991 р. Це є позитивною тенденцією, оскільки повітряний стан змінюється на краще.

3.2. Економічна ефективність впровадження запропонованої моделі

Використання багатofакторних функцій дає змогу отримати більш релевантні результати за рахунок точнішого опису реальних процесів, адже вони дають можливість враховувати неоднозначність впливу економічного розвитку на стан навколишнього середовища, що виникає в результаті наявності економічних проектів, найчастіше пов'язаних зі зміною структури економіки, які не погіршують стан навколишнього природного середовища, а позитивно впливають на стан екологічних параметрів (використання новітніх більш ефективних та водночас екологічних технологій, модернізація виробництва тощо).

За допомогою даної моделі можна визначити напрямки оптимізації розмірів інвестицій в природоохоронну діяльність, що дасть змогу органам управління перерозподілити кошти на поліпшення соціальної складової сталого розвитку з одночасним забезпеченням належного рівня екологічної безпеки країни [36, с. 243].

За допомогою моделювання було визначено, що зв'язок індустріалізації та екології можна розглядати як єдиний механізм, адже ці два елементи є соціальними. Виробництво було і буде основною складовою масовості, це також громадський інститут держав, якому характерні всі суспільні проблеми. Тобто взаємозв'язок промисловості та екології можна назвати елементом екосистеми.

Кліматичні катастрофи є актуальністю, як окремих промислових підприємств, так великих комплексів у мірках всієї планети. Не можна заперечувати важливість ролі промисловості, адже її розвиток є закономірним результатом технічного прогресу та виробничої діяльності людства. Втім, також не можна забувати про протилежний бік, адже промисловість є головним споживачем ресурсів природи, а, як ми знаємо, наслідки цього критичні для планети. Так ми маємо потужне джерело забруднення, якого найближчим часом не вдасться позбутися звичними засобами. Звичайно, багато компаній зараз намагаються робити все можливе, щоб їхня промисловість завдала якнайменше шкоди для навколишнього середовища, але поки що цього недостатньо [36, с. 246].

Можна також поговорити про можливі роботи підприємств на шкоду природі та кліматичній катастрофі. Тобто це коли великі підприємства відмовляються від будь-яких доказів та фактів екологічних проблем. Такий напрямок явно хибний, оскільки це пряма дорога до кліматичної катастрофи. Загалом ці шляхи існують за рахунок позбавлення одного з елементів екосистеми.

Третій шлях є оптимальним рішенням, оскільки він комбінує поєднання роботи промисловості з максимальною підтримкою та забезпечення безпеки екології. Таким чином, якщо людство скоротить виробництво до тієї розумної та необхідної межі достатності, то зможе оптимізувати та захистити навколишнє середовище.

Зміна клімату є однією з основних проблем світового розвитку з потенційно серйозними загрозами для глобальної економіки та міжнародної

безпеки внаслідок підвищення прямих і непрямих ризиків, пов'язаних з енергетичною безпекою, забезпеченням продовольством і питною водою, стабільним існуванням екосистем, ризиків для здоров'я і життя людей. Ці проблеми викликаються забрудненістю повітря та підвищенням рівня твердих часток в його складі [36, с. 248].

За допомогою моделювання рівня забрудненості навколишнього середовища можна сформулювати основні завдання на наступні роки. Наприклад, основними напрямками діяльності в Україні щодо запобігання зміні клімату, які зазначені у Концепції з реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року є [46]:

- скорочення антропогенних викидів і збільшення абсорбції парникових газів та забезпечення поступового переходу до низьковуглецевого розвитку держави;
- адаптація до зміни клімату, підвищення опірності та зниження ризиків, пов'язаних із зміною клімату.

Українська економіка тісно інтегрована у світову і не зможе «відгородитися» від її впливу. Тим часом, з огляду на сказане, а також на ті тенденції, що склались у вітчизняному господарстві, немає підстав стверджувати, що цей вплив був, є і буде лише позитивним. З початку входження України до світового економічного простору 31 рік тому абсолютна більшість країн наростила обсяги промислового виробництва, проте в Україні воно не тільки скоротилося, склавши (без урахування тіньового сектору) у 2021 р. лише 52% від рівня 1990 р., але й зазнало серйозних деструктивних структурних змін, повністю протилежних тим, які відбулись у світовій промисловості. Істотно збільшилося структурне безробіття, але не з причин підвищення технологічності та продуктивності праці, як на Заході, а внаслідок фізичної ліквідації тисяч переробних підприємств (у тому числі високотехнологічних) [21, с. 37].

Серед визначальних детермінант, які, з одного боку, спричинили занепад вітчизняної промисловості, а з іншого – є основою для її

відновлювального реконструктивного розвитку в перспективі, можна назвати: інституційно-політичні, організаційно-управлінські, зовнішньоекономічні, структурно-виробничі, фінансово-інвестиційні, інноваційно-технологічні, соціальні. Ці детермінанти слід розглядати з точки зору як їх формування під впливом глобального середовища, так і походження всередині країни.

Також було визначено, що чим вищою є купівельна спроможність населення, тим нижчим є ступінь забруднення повітря в Україні. Такий результат вже був пояснений відомим економістом. Крива Кузнеця названа на честь Нобелівського лауреата Саймона Кузнеця, який є автором відомої гіпотези перевернутої «U» подібної кривої, яка демонструє, що разом із збільшенням темпів економічного зростання на початковій стадії з'являється тенденція щодо нерівності доходів населення, але на певних рівнях розвитку економіки кривизна даної кривої знижується, що призводить до зниження нерівномірності розподілу доходів. Починаючи з 1991 року, гіпотеза С. Кузнеця отримала новий розвиток – її застосували для опису співвідношень між рівнем екологічного навантаження та ступенем зростання ВВП на душу населення. Отже, одним із методичних засобів дослідження впливу темпів економічного розвитку суспільства на екологічний стан у світі є застосування гіпотези екологічної кривої Кузнеця [49].

У своїх працях С. Кузнець доводить, що передова технологія є необхідним джерелом економічного зростання [67, с. 12]. За сучасних умов розвитку суспільства екологічно сертифіковане виробництво можна вважати передовою технологією, яка здатна задовольнити потреби сучасного споживача, а також поліпшити екологічну ситуацію. Проте С. Кузнець визначає передову технологію лише як потенціал, необхідну умову, якої недостатньо для економічного зростання. Задля ефективного та широкого використання технології необхідні відповідні ідеологічні умови, що забезпечили б належне використання нововведень, які генеруються обсягом знань людства [58, с. 1084]. Із позиції екологічно сертифікованого виробництва до ідеологічних умов можна віднести рівень екологічної освіти

споживачів, корпоративну екологічну та соціальну відповідальність як виробників, так і споживачів, прихильність суспільства до екологічно свідомої поведінки.

Науковцем було доведено, що вищий рівень доходів споживачів сприяє підвищенню вимог до якості навколишнього природного середовища та якості споживаної продукції. Виробники стають зацікавленими у впровадженні екологічного менеджменту на підприємстві, відповідності продукції міжнародним стандартам якості, отриманні відповідних екологічних сертифікатів. Підприємства активно використовують наявність екологічних сертифікатів у якості конкурентної переваги.

Таким чином, застосування елементів даної теорії характерне і для України, а тому подальший курс на збільшення купівельної спроможності населення матиме позитивні наслідки і для економічного зростання, і для екологічного благополуччя, оскільки це матиме наслідком екологічну стабілізацію та впровадження більш екологічно безпечних технологій.

За допомогою моделі було визначено, що збільшення рівня прямих іноземних інвестицій слабо впливає на рівень забруднень в Україні. Дискусії про роль прямих іноземних інвестицій (ПІІ) в економічному розвитку тривають уже майже півстоліття. Попри твердження скептиків, що ПІІ суттєво не впливають на економічний прогрес, більшість досліджень вказують на прямі і непрямі позитивні ефекти таких інвестицій. Причому конкуренція за привабливість країни для припливу ПІІ істотно посилилася, і це явно дисонує з міркуваннями про неважливість цих інвестицій [40].

Технології, що переміщуються в країни, що розвиваються в поєднанні із прямими іноземними інвестиціями є більш новими та екологічно чистішими за ті, що є в наявності на внутрішньому ринку приймаючої країни.

Закордонні вміння і навички в сфері управління, що надходять разом із прямими закордонними інвестиціями, також забезпечують додаткові переваги для приймаючої країни.

«Для того, щоб отримати якнайбільше переваг від залучення прямих іноземних інвестицій, першочерговим є наявність здорового бізнес-середовища, яке б сприяло як вітчизняному, так і іноземному інвестуванню, розвитку інновацій та покращувало б конкурентне середовище. Чисті вигоди від іноземних інвестицій не проявляються автоматично, а відрізняються в залежності від умов приймаючої країни. До факторів, що стримують позитивні ефекти від іноземних інвестицій у деяких країнах, що розвиваються відносяться: рівень освіти та здоров'я, технологічний рівень вітчизняних підприємств, обмежена відкритість до зовнішньої торгівлі, слабе конкурентне середовище та невідповідна політика держави. Таким чином, Україні слід посилювати залучення прямих іноземних інвестицій, оскільки таким чином швидше буде проходити процес підвищення рівня технологічності промисловості, а також буде знижуватися рівень екологічної небезпеки застарілих промислових підприємств, які більшою мірою забруднюють повітря» [40].

Також було визначено, що чим вищою є частка інвестиційних витрат в структурі ВВП, тим вищим є також і рівень забруднення повітря. Проблемою є те, що більша частина валових приватних інвестиційних витрат в Україні в 2000-х роках спрямовувалися на підтримку екологічно шкідливої важкої промисловості (добувної, чорної металургії, збагачення металів), через що спостерігався надто високий рівень забруднення повітря в Україні.

«Статистика МВФ свідчить, що за останні 40 років досягти тривалих періодів (від 10 років і довше) економічного зростання на рівні 10% і вище вдалося таким країнам як Китай (у 1980-2000-х рр.) та Корея (у 1980-х – 1 пол. 1990-х рр.). Характерною рисою періодів швидкого зростання в цих країнах була висока частка інвестицій у ВВП – 35-40%. Для порівняння – в Україні рівень інвестицій у ВВП має виражену тенденцію до зниження з 2016 року та у 2020 році «досяг» рівня 7,5% ВВП, що удвічі нижче навіть 2014-2015 рр., коли в Україні почались воєнні дії» [40].

Після Світової фінансової кризи 2008-2009 рр. попит на продукцію важкої промисловості почав стрімко знижуватися, що призвело до того, що українські підприємства металургійної галузі перестали отримувати високі прибутки. Зниження прибутків призвело в результаті до зниження рівня інвестиційних витрат, а це, в результаті призвело до скорочення рівня виробництва, зниження рівня дотацій з державного бюджету підприємствам цієї галузі. Фактично, Україна почала перебудовувати економіку на користь агропромислового сектору, який є більш екологічно безпечним для навколишнього середовища, аніж продукція чорної і кольорової металургії, виробництво якої розвивалося в 1990-х роках та до Світової фінансової кризи.

Також було визначено, що збільшення частки виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел призводить до загального зниження рівня забрудненості повітря в Україні. Уряду потрібно стимулювати виробників відновлюваної енергії, щоб посилити енергетичну незалежність, і, таким чином, збільшити рівень екологічно чистої енергії. Шлях до енергетики на основі відновлюваних джерел створить ринкову впевненість, необхідну для залучення інвестицій.

В Україні потрібно перезапустити та реструктурувати електроенергетику, щоб нарешті розблокувати її розвиток, оскільки в останні роки інвестиції в електроенергетичний сектор України стримувалися зокрема і через надлишок застарілих і дуже брудних вугільних електростанцій [14]. Як зазначає керівник відділу енергетики ГО «Екодія» Костянтин Криницький, «у середньостроковій перспективі ми можемо різко скоротити шкідливі викиди в енергетичному секторі, поступово відмовитися від вугілля до початку 2030-х років та почати займатися безпечним виведенням з експлуатації атомних електростанцій, коли технології накопичення енергії та рішення для підвищення гнучкості енергосистеми стануть більш доступними» [14].

Отже, за допомогою інтерпретації побудованої моделі вдасться вирішити такі завдання:

- Обґрунтувати заходи щодо продовження деіндустріалізації України, зменшуючи кількість підприємств важкої промисловості, які одночасно не є рентабельними, а також спричиняють посилення рівня забруднення повітря;

- Запропонувати напрямки щодо подальшого збільшення рівня ВВП на душу населення за ПКС;

- Проаналізувати можливості підвищення обсягу залучення прямих іноземних інвестицій в економіку України в технологічні галузі та в галузі, які не спричиняють екологічних проблем, і при цьому мають високий рівень доданої вартості;

- Обґрунтувати розвиток та збільшення інвестицій в ті сфери економіки, які не мають наслідків значних забруднень, та відповідають сучасним світовим вимогам екологічної безпеки;

- Запропонувати шляхи збільшення частки виробництва енергії за допомогою відновлювальних джерел в Україні, що дозволить досягти енергетичної незалежності та безпеки, а також знизити рівень екологічного забруднення повітря та навколишнього середовища в цілому.

3.3. Напрями покращення екологічного стану та економічного розвитку в Україні

У вирішенні проблем і завдань охорони природи пріоритетним є комплексний підхід, за яким природа в соціально-господарському аспекті розглядається як елемент навколишнього середовища. Це в найбільшому степені характерно для промислового виробництва, де природний та екологічний фактори взаємозалежні в соціальному аспекті, технологічно та економічно. Це дозволяє сформулювати перелік пріоритетних об'єктів оцінки та контролю в галузі охорони навколишнього середовища [9, с. 147-149]:

- шкода, завдана в процесі природокористування (природному середовищу, господарським, будівельним і культурним об'єктам);
- екологічна шкода, завдана внаслідок ведення технологічної та виробничо-господарської діяльності;
- напрямки ліквідації поточного забруднення та запобігання потенційно можливому;
- рівень компенсаційних, податкових і штрафних платежів, що справляються за завдану навколишньому середовищу шкоду, та її поточне забруднення;
- ефективність процесів природокористування та пов'язаних з ними екологічних та природоохоронних проблем;
- ефективність природоохоронної діяльності підприємств;
- ефективність функціонування природоохоронних об'єктів (очисних споруд, заповідників і т. д.).

Таким чином, з цілями та результатами природоохоронної діяльності пов'язуються наступні види економічних оцінок:

- 1) завданої, поточної та потенційно можливої шкоди (у грошовому виразі);
- 2) операційних і капітальних витрат, спрямованих на ліквідацію завданої шкоди та на попередження потенційної;
- 3) податкових, компенсаційних і штрафних платежів за забруднення, транзакційних витрат;
- 4) економічних результатів – отримання товарної продукції та вторинних матеріальних ресурсів, що підлягають утилізації, витрат на очищення та повернення в навколишнє середовище вторинних відходів [3, с. 142].

Як вважає науковець Євген Степанюк, «Прискорення економічного зростання у тривалій перспективі та забезпечення його стійкості потребують переходу до інвестиційно-орієнтованої моделі економіки та збільшення виробництва товарів із високою доданою вартістю, які користуватимуться

попитом як на міжнародних ринках, та і на внутрішньому ринку, ємність якого має бути достатньою для генерування достатнього попиту на товари і послуги власного виробництва.

Саме таким шляхом свого часу пішли згадані вище Китай та інші країни Південно-Східної Азії, зробивши свої ринки привабливими для міжнародних інвесторів, готових на будь-які поступки задля доступу до цих ринків.

Для реалізації цього сценарію, який дозволить підвищити продуктивність праці, а отже, і потенційні темпи економічного зростання, політика держави має бути спрямована на стимулювання інвестицій шляхом використання всіх доступних для цього інструментів фіскальної, монетарної та структурної політики.

Більше того, поєднання цих інструментів може мати кращий ефект, ніж їх застосування окремо. Реалізація стратегії інвестиційного розвитку може передбачати застосування неконвенційних інструментів та/або їх поєднання із традиційними механізмами стимулювання економічної активності» [55].

Саме такі комбіновані кроки (із вбудованими надійними запобіжниками) можуть вивести Україну з пастки низьких доходів та низьких темпів економічного зростання.

«Русійною силою збільшення несировинного експорту є макроекономічна політика держави, що повинна стимулювати структурні зрушення в економіці на користь високотехнологічних галузей промисловості. Лише на основі адекватної макроекономічної політики можна розробити детальні структурні заходи для зміни пріоритетів розвитку промисловості загалом та експорту, зокрема.

Економічний розвиток, серед іншого, стимулюється зростанням продуктивності праці, яке відбувається за рахунок підприємств, що в пошуках зменшення витрат і збільшення прибутків впроваджують нові технології. Саме по собі виробництво виступає основним джерелом інвестицій у науково-дослідні роботи, ключовим тригером експорту (80% від

загального експорту ЄС) і головним рушієм для зайнятості в інших секторах, включаючи сервісний. Емпіричний досвід свідчить, що кожне додаткове робоче місце у виробництві створює від 0,5 до 2 робочих місць в інших секторах економіки» [42].

Як вважає доктор економічних наук, партнер консалтингової компанії KSP STRATEGIES Володимир Панченко, «Ефективність державного впливу може бути визначальним фактором у процесі економічної трансформації. Стимулювання промислового розвитку передбачає реалізацію таких завдань: стабілізація валютного курсу; оптимізація податкової політики; імплементація механізмів державного стимулювання експорту; диверсифікація ринків збуту шляхом активного проведення вертикально-спеціалізованої індустріалізації; залучення прямих іноземних інвестицій; стимулювання зростання заробітної плати; підвищення кваліфікації робочої сили.

Окреслене сприятиме здійсненню як економічної модернізації (в сенсі зростання частки експортного ринку і вартості одиниці виробленої продукції), так і соціальної модернізації, під якою розуміємо зростання зайнятості та реальної заробітної плати. Таким чином, економічний прагматизм поступово трансформуватиметься в економічний гуманізм» [42].

Одним з економічних чинників інвестиційного клімату є платоспроможність населення. ВВП на душу населення України у десятки разів менше від розвинених країн [27, с. 33]. А це означає, що інвестори не можуть створювати дорогі проекти в Україні. Від цього страждає передусім екологія. Яскравим прикладом є пожежа на сміттєзвалищі у Львові 2016 р., яка принесла нещастя у сім'ї рятувальників. За останні кілька років досі не побудовано жодного сміттєпереробного заводу, безпечного для навколишнього середовища.

У світі за вивіз сміття до сміттєпереробного заводу населення міст платить від 50–150 євро за тонну. Якщо перерахувати вартість послуги для українця, враховуючи, що кожен четвертий живе за рахунок субсидій,

додаткові 200–300 грн. до комунальних платежів стануть для нього непосильними. І розуміючи, що інвестор не отримуватиме бажаних доходів від побудови екологічно чистого заводу, він не ризикує вкладати свої кошти в такі проекти. Тому поки доходи населення не стануть вищими, реалізація дорого- вартісних проектів не відбудеться.

Альтернативою оплати даної послуги безпосередньо від населення є податки. Так, українськими підприємствами, що несуть екологічну небезпеку, сплачуються екологічні податки. О. В. Латишева зазначила, що у зв'язку із сьогоdnішнім екологічним станом України, крім капітальних інвестицій, слід підвищувати ставки екологічного податку та спрямовувати їх на розвиток досліджень та інновацій природоохоронного характеру [32, с. 61].

Поруч із розвитком екології завжди йдуть інновації. Україна, яка має досвід ресурсно- та енергозатратного виробництва, має насамперед шукати інноваційні проекти. Спираючись на досвід Польщі, яка втілила «найкращі доступні технології» (Best Available Technology) у свою екологічну політику, нам слід запровадити свої економічні інструменти, які б зацікавили науковців та інвесторів. Для інвестора такими пільгами можуть виступати дотації (податкові пільги, позики та кредитування) під час запуску таких проектів, а для науковців – надання грантів для створення найкращого інноваційного екологічного проекту [24, с. 85].

На сьогодні основним трендом в енергетиці є відмова економічно розвинених країн від використання вугілля та інших видів палива, які спричиняють екологічно шкідливі викиди в атмосферу та спричиняють забруднення повітря. В електроенергетиці Європейського Союзу відбулася зміна лідера: найбільшим виробником електрики стала відновлювальна енергетика. У 2020 році 27 країн Євросоюзу вперше отримали більше електроенергії з поновлюваних джерел, ніж з копалин. Частка вугілля, газу і нафти знизилася до 37%, тоді як вітер, сонце, гідроенергія і біомаса забезпечили 38% сумарної генерації в ЄС, збільшивши обсяги виробництва на 10% [15].

Відновлювані джерела енергії вийшли в лідери завдяки триваючому швидкому зростанню вітряної та сонячної енергетики, що збільшили в 2020 році генерацію, незважаючи на економічну кризу, відповідно на 9% і 15%. Разом вони забезпечили в минулому році 19% всієї електрики в ЄС: частка вітру склала 14%, сонця – 5% [13].

Зростання виробництва електроенергії за допомогою відновлюваних джерел сталося в ЄС в минулому році в умовах зниження попиту на електрику на 4%, викликаного пандемією коронавірусу і рецесією. Одночасно продовжилося стрімке скорочення виробництва електроенергії на вугільних електростанціях. За один тільки 2020 рік воно впало на 20%, а в порівнянні з 2015 роком знизилося наполовину. В результаті частка кам'яного і бурого вугілля в генерації електроенергії в ЄС зменшилася до 13%.

Пандемія COVID-19 сприяла тому, що в світі знизилася споживання та виробництво традиційних видів енергії. Світ, в тому числі Україна, почав активніше переходити на відновлювані джерела енергії, що є більш екологічним та в багатьох випадках дешевшим за традиційні джерела. Крім того, карантинні заходи сприяли розвитку інформаційних технологій та інформації як ресурсу, оскільки все більше людей почали робити купівлі та працювати дистанційно. Загалом, ресурсний потенціал у світі після кризи 2020 р. рухається в бік відновлюваної енергетики та розвитку інформації як одного з найважливіших ресурсів. Крім того, суттєве здорожчання традиційних енергоносіїв внаслідок військового вторгнення РФ до України посилює актуальність переходу більшості країн до альтернативної енергетики.

Україна досить успішно впровадила багато інструментів підтримки ринку ВДЕ. Зелені сертифікати, кредити, які видаються в іноземній валюті, та закони, які захищають права виробників та стимулюють розвиток сектору, вказують на те, що країна цілком налаштована на перехід до відновлювальних або «зелених» джерел енергії. Як показує світовий та європейський досвід, ефективним сучасним інструментом регулювання ринку

виступають аукціони, які в довгостроковій перспективі стимулюють виробників до інноваційного розвитку та зменшення цін та відображають ринковий підхід в організації відносин з покупцями та споживачами. Враховуючи досвід ЄС, Україна вже почала переходити на систему аукціонів, яка повинна замінити систему зелених сертифікатів.

Хоча 55 000 робочих місць буде втрачено внаслідок поступової відмови від використання вугілля, енергетичний перехід відкриває можливість для створення до 160 000 нових робочих місць. В Україні, наприклад, можливе виготовлення обладнання для фотоелектричних, вітрових і біомасових установок з виробництва електроенергії. Це створить нові робочі місця (рис. 3.6) [22].

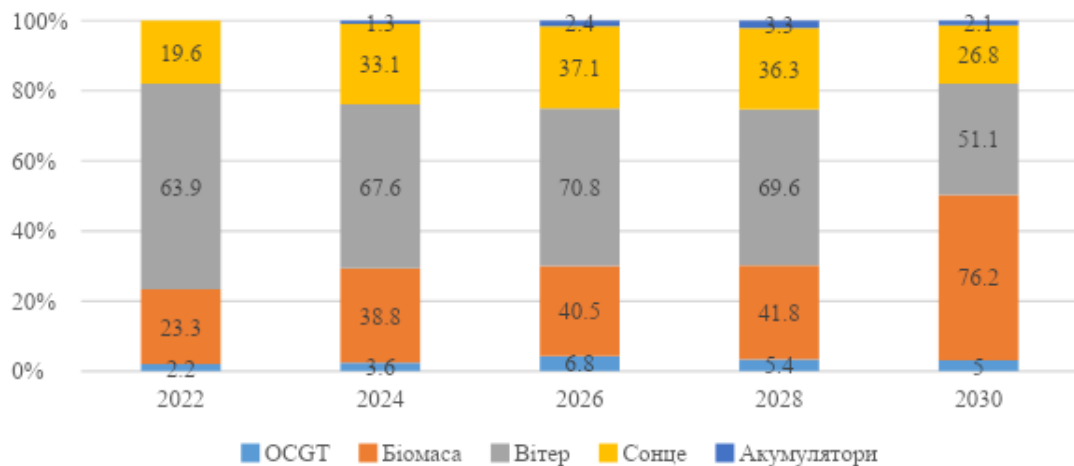


Рис. 3.6. Загальна кількість створених робочих місць за секторами у сценарії переходу України на альтернативну енергетику, тис. робочих місць
*Джерело: складено за даними [22]

«Зміни у сфері зайнятості мають наслідки для бюджету: створення нових робочих місць впливає на бюджетні надходження завдяки податку з доходів фізичних осіб. Загалом були проаналізовані чотири компоненти бюджетних надходжень: податок з доходів фізичних осіб (ПДФО), єдиний соціальний внесок, податок на додану вартість (ПДВ) та податок на викиди вуглецю» [22].

Сценарій переходу позитивно впливає на дохідну частину бюджету, забезпечуючи на 50% вищі податкові надходження впродовж наступних 10 років.

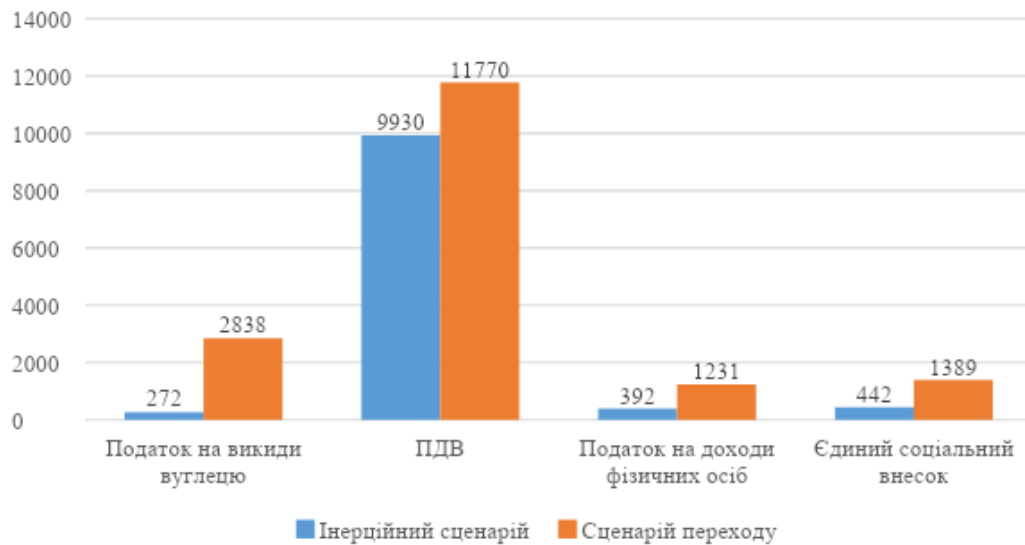


Рис. 3.7. Розподіл податкових надходжень до та після впровадження заходів з переходу України на альтернативні джерела енергії, млн євро

*Джерело: складено за даними [22]

Енергетичний перехід і нарощування нових засобів виробництва електроенергії вимагає інвестицій та створює додаткові витрати. З аналізу загальної вартості функціонування системи протягом наступного десятиліття впливає те, що, за даними Aurora Energy Research, енергетичний перехід може спричинити зростання вартості роботи електроенергетичного сектору в середньому на 1,6 млрд євро.

У цьому контексті варто зазначити, що за будь-яких обставин в Україні потрібні нові інвестиції в сектор електроенергетики у середньостроковій перспективі через його зношеність, і прискорений енергетичний перехід може сприяти досягненню цієї цілі. Додаткові інвестиції мають потенціал до створення робочих місць і стимулювання економічного зростання.

«Необхідність інвестицій в електроенергетичний сектор України відкриває вікно можливостей для декарбонізації енергетичного сектору, стимулювання економічного зростання та створення нових робочих місць.

Існує шість ключових напрямів політик, які потрібно враховувати, щоб вищезазначене стало можливим:

1. Яким повинен бути декарбонізований енергетичний сектор України? Яким чином можна забезпечити гнучкість генерації?

2. У який спосіб можна залучити інвестиції у відновлювані джерела енергії та у підвищення гнучкості електроенергетичної системи?

3. Якою є політична складова економіки енергетичного переходу? Хто є ключовими суб'єктами процесу, які можуть сприяти полегшенню і прискоренню енергетичного переходу?

4. Які процеси можуть полегшити і прискорити енергетичний перехід? Які формати (наприклад, експертні комісії, консультації із зацікавленими сторонами тощо) потрібні для цього переходу?

5. Яким чином можна забезпечити справедливу трансформацію? У який спосіб можна найкраще підтримати регіони, залежні від викопного палива, та постраждалих працівників? Як можна захистити вразливі домогосподарства від підвищення цін на електроенергію?

6. Яка промислова політика може стати доповненням до енергетичного переходу? На які наявні сектори негативно вплине процес переходу, та які можуть потребувати підтримки, а які галузі можна залучити та розвивати у перспективі?» [22].

Саме чітка відповідь на ці питання у майбутній стратегії розвитку альтернативних джерел енергії в Україні спричинить подальший розвиток енергетичної та екологічної безпеки України та наближення цього рівня до розвинених країн. Зниження рівня залежності від традиційних джерел енергії та зниження кількості та потужності застарілих індустріальних технологій, і одночасна заміна їх на новітні технології, які орієнтовані на екологічну безпеку, сприятиме екологічній стійкості навколишнього середовища та поліпшенню економічного розвитку, що сприятиме зростанню добробуту громадян України.

ВИСНОВКИ

Отже, можемо підсумувати, що основним підходом до взаємодії з природою в традиційній економіці є підвищення економічної ефективності за рахунок навколишнього середовища. У рамках традиційної моделі розвитку основна увага приділяється економічним інтересам та максимізації економічних вигод шляхом екстенсивного вилучення природних ресурсів та їх використання без подальшої утилізації чи застосування відходів. Отже, природні ресурси використовуються неефективно в такому разі. Через це значно страждає стан природного середовища.

Взаємозв'язок економіки та екології можна розглядати крізь призму мети екологічної економіки – пошук найкращих шляхів проживання на нашій планеті «економного суспільства», заснованого на визначенні ощадливості через економічну ефективність і досягнення екологічно прийняттого економічного розвитку.

Аспекти еколого-економічної ситуації у світі пов'язані зі швидким розвитком технологій та процесами, що знижують вплив на навколишнє середовище, а також з прискореним формуванням ринку екологічних послуг, що потребує відповідного розвитку засобів управління цим ринком. Інструмент регулювання сталого розвитку країни, сконцентрований на чітких взаємозв'язках економічної складової діяльності, і потенціалом навколишнього природного середовища, нині стає одним з головних питань економіки.

Нестійкий стан еколого-економічної ситуації України характеризують такі основні взаємозалежні негативні тенденції: звуження процесу відтворення засобів виробництва та життєвих благ (економічний спад протягом суттєвого періоду за час незалежності); недотримання процесу відтворення природних ресурсів (як органічних, так і неорганічних), що веде до певної деградації екосистеми, та як наслідок – забруднення повітря, водойм; звуження процесу відтворення населення (депопуляція); недостатньо

стрімкий розвиток енергозберігальних та екологічно безпечних технологій; велика частка підприємств, які є неефективними в екологічному плані.

Благополуччя навколишнього середовища досягається за рахунок багатьох факторів, зокрема, чистоти повітря, земельних, лісових, водних територій, а на стан благополуччя навколишнього середовища впливає сталий економіко-екологічний розвиток. В останнє десятиліття зросла вплив зовнішніх чинників, особливо міжнародного рівня дестабілізуючої спрямованості. Вплив факторів зовнішнього середовища в значній мірі робить менш стійкою рівновагу і стабільність суб'єктів господарської діяльності, галузей, веде до зростання залежності від них національної економіки в цілому.

Реалізація принципів екологічного управління тісно пов'язана з посиленням екологічної складової корпоративної відповідальності бізнесу. Визнаючи, що на сучасному етапі основним завданням є створення умов для зниження споживання ресурсів і негативного впливу на навколишнє середовище в умовах економічного зростання, доцільно впроваджувати господарюючим суб'єктам найкращі доступні технології, підвищувати прозорість своєї діяльності, розкриваючи інформацію про нефінансових аспектах своєї діяльності.

Для досягнення покращення якості життя населення управлінські органи, поряд із засобами їх влади, формують механізми впливу на національні господарства, його потенціал, внутрішні процеси, умови діяльності підприємств та життя громадян. Було визначено, що державна політика, зокрема державне регулювання, соціально-економічна ситуація та зовнішня політика, її умови та досягнення, закономірності однозначно впливають на систему державного управління для забезпечення сталого розвитку.

Проблема стійкості розвитку тісно пов'язана з національною безпекою. Розробка будь-якої програми еколого-економічної безпеки повинна будуватися, виходячи із загальної концепції переходу країни і її регіонів на

шлях сталого розвитку. І це передбачає посилення ролі державного регулювання процесу сталого соціально-економічного розвитку.

Державна політика, зокрема державне регулювання, соціально-економічна ситуація та зовнішня політика, її умови та досягнення, закономірності однозначно впливають на систему державного управління для забезпечення сталого розвитку та благополуччя навколишнього середовища та економіко-екологічної безпеки.

В дослідженні було проаналізовано різні моделі впливу показників економічного розвитку на благополуччя навколишнього середовища. Було розглянуто двофакторну модель для розрахунку інтегрованого еколого-економічного показника, багатofакторні моделі, які дозволяють знайти функцію впливу економічних показників на показники навколишнього середовища, а також економетричні, кореляційно-регресійні моделі, модель STRIPAT, які дозволяють знайти ступінь впливу кількох факторних ознак економічного розвитку на результативну ознаку (показник стану навколишнього середовища).

Нами була запропоновано та побудовано дві моделі: модель залежності фактора (рівня часток $PM_{2,5}$ в повітрі) від показників економічного розвитку України (індекс зростання промислового виробництва, ВВП на душу населення за ПКС, прями іноземні інвестиції, частка валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП, та частка виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел). А також модель STRIPAT. Моделі були побудовані таким чином, щоб оцінити динаміку показників за весь час незалежності України, а тому оцінки параметрів регресії більш точно відображають еколого-економічні процеси в Україні.

За допомогою першої моделі можна зробити висновок, що зі зростанням індексу промислового виробництва України порівняно з 1990 р. на одиницю, середньорічний рівень часток $PM_{2,5}$ в повітрі знизиться на $0,0045 \text{ мкг/м}^3$. Зі зростанням ВВП на душу населення за ПКС на 1 долар, середньорічний рівень часток $PM_{2,5}$ в повітрі збільшиться на $0,000072$

мкг/м³. Зі зростанням прямих іноземних інвестицій на 1 млн дол США, середньорічний рівень часток PM_{2,5} в повітрі знизиться на 0,000015 мкг/м³. Зі зростанням частки валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП на 1% від ВВП, середньорічний рівень часток PM_{2,5} в повітрі збільшиться на 0,04823 мкг/м³. Зі зростанням частки виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел на 1% від загального виробництва, середньорічний рівень часток PM_{2,5} в повітрі знизиться на 0,9987 мкг/м³.

Модель є адекватною за більшістю з показників, а коефіцієнти моделі, в основному, є статистично значущими. Використання наведеної моделі дозволить змоделювати рівень благополуччя навколишнього середовища за показником рівня часток PM_{2,5} в повітрі. Моделювання показало, що найбільший вплив на благополуччя навколишнього середовища здійснює показник частки виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел. Модель загалом можна використовувати для того, щоб пояснити динаміку рівня шкідливих часток PM_{2,5} в повітрі. Статистична значущість рівняння перевірена за допомогою коефіцієнта детермінації та критерію Фішера. Проведення тесту Дарбіна-Уотсона дозволило визначити, що автокореляція залишків відсутня. Все це свідчить про можливість застосування розробленої моделі для економіки України.

При прогнозних показниках, які були визначені за допомогою кореляційно-регресійного моделювання, було знайдено прогнозний показник рівня часток PM_{2,5} в повітрі 12,45 мкг/м³. Оскільки бажаний рівень цього показника – не більше 10 мкг/м³, можна сказати, що при такому значенні рівень повітряного забруднення в Україні буде все ще підвищеним, хоча, даний рівень має знизитися суттєво порівняно з 1991 р. Це є позитивною тенденцією, оскільки повітряний стан змінюється на краще.

За допомогою інтерпретації побудованої моделі вдасться вирішити такі завдання:

- Обґрунтувати заходи щодо продовження деіндустріалізації України, зменшуючи кількість підприємств важкої промисловості, які

одночасно не є рентабельними, а також спричиняють посилення рівня забруднення повітря;

- Запропонувати напрямки щодо подальшого збільшення рівня ВВП на душу населення за ПКС;

- Проаналізувати можливості підвищення обсягу залучення прямих іноземних інвестицій в економіку України в технологічні галузі та в галузі, які не спричиняють екологічних проблем, і при цьому мають високий рівень доданої вартості;

- Обґрунтувати розвиток та збільшення інвестицій в ті сфери економіки, які не мають наслідків значних забруднень, та відповідають сучасним світовим вимогам екологічної безпеки;

- Запропонувати шляхи збільшення частки виробництва енергії за допомогою відновлювальних джерел в Україні, що дозволить досягти енергетичної незалежності та безпеки, а також знизити рівень екологічного забруднення повітря та навколишнього середовища в цілому.

В Україні потрібно перезапустити та реструктурувати електроенергетику, щоб нарешті розблокувати її розвиток, оскільки в останні роки інвестиції в електроенергетичний сектор України стримувалися зокрема і через надлишок застарілих і дуже брудних вугільних електростанцій.

Зниження рівня залежності від традиційних джерел енергії та зниження кількості та потужності застарілих індустриальних технологій, і одночасна заміна їх на новітні технології, які орієнтовані на екологічну безпеку, сприятиме екологічній стійкості навколишнього середовища та поліпшенню економічного розвитку, що сприятиме зростанню добробуту громадян України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аверкина М. Ф., Вальчук В. В. Забезпечення соціально-економічного розвитку міст. Ефективна економіка. 2019. № 4. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6976>.
2. Акопян В. Екологічний аспект стратегії сталого людського розвитку. Гілея: науковий вісник: зб. наук. праць. № 50. Головний редактор В. М. Вашкевич. Київ: ВІРУАН, 2011. 405 с.
3. Александров І. О., Стиров В. В. Концепція еколого-інвестиційної політики як передумова сталого людського розвитку. Вісник Донецького університету. Серія: Економіка і право. Спецвипуск. 2009. 355 с.
4. Антонюк О. П. Обґрунтування вибору параметрів моделі на основі інформаційних критеріїв. Економічний простір. 2015. № 95. С. 255–262.
5. Артемчук В. О. Математичні та комп'ютерні засоби для вирішення задачі розміщення пунктів спостережень мережі моніторингу стану атмосферного повітря: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата технічних наук: 01.05.02. Артемчук Володимир Олександрович. Київ, 2011. 20 с.
6. Бабешко Л. О. Основы эконометрического моделирования / Л. О. Бабешко. Москва: КомКнига, 2006. 432 с.
7. Банников В. А. Векторные модели авторегрессии и коррекции регрессионных остатков (EViews). Прикладная эконометрика. 2006. № 3. С. 96–129.
8. Батлук В. А., Романцов Е. В., Параняк Н. М. Рівень забруднення атмосферного повітря та його вплив на стан здоров'я населення України. Збірник наукових праць «Строительство, материаловедение, машиностроение». 2010. № 52. С. 205–210.
9. Бильчак В. С. Формирование устойчивого развития предприятия региона: механизмы, методы, управление (эколого-экономический аспект):

монографія / В. С. Бильчак, А. И. Бородин. Калининград: РГУ им. И. Канта, 2009. 185 с.

10. Богобоящий В. Принципи моделювання та прогнозування в екології: підручник. Київ: центр навч. літ., 2004 216 с.

11. ВВП на душу населення в Україні та інших країнах, Fibi.Tech. URL: <https://fibi.tech/wiki/vvp-na-dushu-naselennya-v-ukrayini-ta-inshih-krayinah>

12. Вишневський В. П. Національна модель неоіндустріального розвитку України : монографія. Київ : Ін-т екон. пром-сті НАН України, 2016. 518 с.

13. ВИЭ стали в 2020 году главным источником электричества в ЕС, у газа выросла доля. DW. URL: <https://www.dw.com/ru/vije-teper-glavnyj-istochnik-jelektrichestva-v-es/a-56339064>

14. Відновлювана енергетика – ключ до відбудови економіки та енергетичної незалежності України. Економічна правда. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/04/21/686045/>

15. Вплив COVID-19 на світову економіку. Вісник МСФЗ. URL: https://msfz.ligazakon.ua/ua/magazine_article/FZ002118

16. Гавриш О. А., Згуровський О. М., Кухарук А. Д., Скоробогатова Н. Є. Методичне забезпечення моделювання економічного розвитку країн світу. «Ефективна економіка». № 4, 2018. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6218>

17. Геєць В. М. Бар'єри на шляху розвитку промисловості на інноваційній основі та можливості їх подолання. Економіка України, 2015, № 1. С. 4-25.

18. Геєць В. М. Суспільство, держава, економіка: феноменологія взаємодії та розвитку / В. М. Геєць ; НАН України ; Ін-т екон. та прогнозів. НАН України. Київ, 2009. 864 с.

19. Григорків В. С. Моделювання економіки: навчальний посібник. Чернівці: ЧНУ, 2009. 320 с.

20. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <http://saee.gov.ua/>
21. Дугінець, Г. Деіндустріалізація як можливість зростання в умовах фінансової кризи. Економіка та суспільство, 2020. № 3. С. 35-43.
22. Економічні наслідки поступової відмови від використання вугілля в Україні до 2030 року / М. Пройс, О. В. Михайленко, І. Сабака, Б. Пробст; за заг. ред. П. Баума та О. Р. Алієвої. Київ: 7БЦ, 2021. 140 с.
23. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: https://merp.org.ua/images/Docs/MERP_USAID_ESU_2035.pdf
24. Загарій В. К., Бружа А. А. Проблеми залучення іноземних інвестицій в екологію України. Науковий вісник Ужгородського національного університету: серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство / голов. ред. М. М. Палінчак. Ужгород, 2019. Вип. 23, Ч. 1. С. 83–87.
25. «Зелені» інвестиції у сталому розвитку: світовий досвід та український контекст. Центр Разумкова. Київ : Заповіт, 2021. 316 с.
26. Иванов В. В. Анализ временных рядов и прогнозирование экономических показателей / В. В. Иванов. Харьков: ХНУ, 1999. 230 с.
27. Карчева Г. Т. Проблеми та перспективи розвитку банківської системи України. Фінансовий простір. 2018. № 1(29). С. 32–39.
28. Кіндзерський Ю. Політика інклюзивної та сталої індустріалізації в Україні: виклики та пріоритети реалізації. Економічний аналіз. 2020. Том 30. No 1. Частина 1. С. 105-117.
29. Клебанова Т. С. Економіко-математичне моделювання : навч. посіб. / Т. С. Клебанова, О. В. Раєвнева, С. В. Прокопович. Харьков: ВД «ІНЖЕК», 2010. 352 с.
30. Крихівський М. В., Тимків Д. Ф. Чисельні показники рівня екологічної безпеки. Нафтогазова енергетика. 2013. № 2. С. 163-173.

31. Кучерява І. М., Сорокіна Н. Л. Відновлювана енергетика в світі та Україні станом на 2019 р. – початок 2020 р. Гідроенергетика України. 2020. № 1–2. С. 38–44.
32. Латишева О. В. Екологічні інвестиції: сучасний стан та перспективи їх впровадження в Україні для забезпечення сталого розвитку держави. Економічний вісник Донбасу. 2018. № 1(51). С. 59–65.
33. Лугінін О. Є. Економетрія: навч. посіб. / О. Є. Лугінін. 2-ге вид., перероб. та доп. Київ: Центр учбової літератури, 2008. 278 с.
34. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування / В. М. Геєць, Т. С. Клебанова, О. І. Черняк та ін. Харків: ВД «ІНЖЕК», 2005. 396 с.
35. Немец Л. Н., Сегида Е. Ю., Немец К. А. Региональные проблемы устойчивого развития: учебное пособие для самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению «География», специальность «Экономическая и социальная география». Харьков, 2013. 72 с.
36. Новікова О. Ф., Амоша О. І., Антонюк В. П. та ін. Сталий розвиток промислового регіону: соціальні аспекти: монографія. Донецьк: НАН України, Ін-т економіки промисловості, 2012. 425 с.
37. Огаренко Т. Ю. Категорії «економічний розвиток» і «розвиток економіки»: суть та співвідношення. Сталий розвиток економіки. 2013. № 4. С. 265-270.
38. Огляд Світового банку «Перспективи світової економіки» (Global Economic Prospects, GEP). URL: <https://www.worldbank.org/en/publication/global-economic-prospects>
39. Оленьев В. В. Глобалистика на пороге XXI века / В. В. Оленьев, А. П. Федотов. Москва, 2002. 718 с.
40. Олігархічна гідра прямих іноземних інвестицій. Zn.Ua. URL: https://zn.ua/ukr/finances/oligarhichna-gidra-pryamih-inozemnih-investiciy-vid-makrofinansovoyi-nestabilnosti-do-tehnologichnogo-vidstavannya-285294_.html
41. Омаров Шахин Анвер оглы Концепция устойчивого развития в законодательстве Украины и стран мира и практика ее внедрения. Бизнес

Информ. 2014. № 12. С. 85-95.

42. Операція «деіндустріалізація», або Навіщо нам промисловий ренесанс? Zn.Ua. URL:

<https://zn.ua/ukr/macrolevel/operaciya-deindustrializaciya-abo-navischo-nam-promisloviy-renesans-.html>

43. Офіційний веб-сайт Державної служби статистики України. URL: <https://ukrstat.gov.ua/>

44. Пашута М. Т. Прогнозування та макроекономічне планування: навч. посіб. / М. Т. Пашута. Київ: МАУП, 1998. 192 с.

45. Прямі іноземні інвестиції (ПІІ) в Україну. Веб-портал «Мінфін». URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/fdi/>

46. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, 1992 (ратифікована Законом України від 29.10.1996 р. № 435/96-ВР). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044

47. Романенко В. А., Лебедева Л. В. Концентрація (централізація) і деконцентрація (децентралізація) в промисловості: історія, сучасність, наслідки. Ефективна економіка. 2020. № 5. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7892>

48. Романенко В. А., Лебедева Л. В. Промисловість у стійкому розвитку економіки України. Вісник КНТЕУ, 2017. №3, С. 5-19.

49. Сафранов Т. А., Адаменко Я. О., Приходько В. Ю., Шаніна Т. П., Чугай А. В., Колісник А. В. Системний аналіз якості навколишнього середовища: підручник. За ред. проф. Т. А. Сафранова і проф. Я. О. Адаменко. Одеса: ТЕС, 2014. 244 с.

50. Сталий розвиток: еколого-економічна оптимізація територіально-виробничих систем : навч. посібник / Н. В. Караєва, Р. В. Копран, Т. А. Коцко й ін.; за заг. ред. І. В. Недіна. Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. 384 с.

51. Стратегія розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року. 2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/526-2019-%D1%80#Text>
52. Тарасенко Д. Л. Моделювання еколого-економічних процесів для забезпечення ефективної соціальної політики у сталому регіональному зростанні. Економіка природокористування та охорони навколишнього середовища. Том 29 (68). № 5. 2018. С. 129–133.
53. Тимошенко Л. В. Еколого-економічні аспекти оцінювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря у промисловому місті. Економічний вісник НГУ. 2016. № 1(53). URL: http://ev.nmu.org.ua/docs/2016/1/EV20161_156_168ua.pdf
54. Третьяк О. О. Економічні аспекти екологічно сталого розвитку на національному та міжнародному рівнях. Культура народів Причорномор'я. 2008. № 147. С. 99–103.
55. Україна: на шляху до \$1 трильйона. Які зміни потрібні в українській економіці, щоб забезпечити зростання ВВП на 10% щороку? Економічна правда. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/11/2/679294/>
56. Ферова И., Лобкова Е., Таненкова Е., Козлова С. Инструменты оценки устойчивости развития территорий с учетом кластерных эффектов. URL: http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/129500/instrumenty_ocenki_ustoychivosti_razvitiya_territorii_statya_zhsfu_1.pdf?sequence=1
57. Яцишин А. В., Артемчук В. О. Класифікація моделей забруднення атмосферного повітря. ІПМЕ ім. Г.С.Пухова НАН України, 2017. № 7. С. 112-122.
58. Ahmad R. Environmental Kuznets Curve: Evidences from Developed and Developing Economies / Ahmad R. M. Al Sayed, Siok Kun Sek. Applied Mathematical Sciences, Vol. 7, 2013, № 22. NIKARI Ltd. Minden, Penang, Malaysia. 2013. P. 1081-1092.

59. Ann P. Kinzig, Paul R. Ehrlich, Lee J. Alston, Kenneth Arrow, Scott Barrett Social Norms and Global Environmental Challenges: The Complex Interaction of Behaviors, Values, and Policy *BioScience*, Volume 63, Issue 3, 1 March 2013, P. 164-175.
60. Beloff B., Tatil D., Lines M. Sustainable Development Performance Assessment. *Environmental Progress*. 2004. 23, № 4. P. 271-276.
61. Expanding the Measure of Wealth: Indicators of Environmentally Sustainable Development. *Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series №. 17*. The World Bank: Washington, DC. 1997. 402 p.
62. Genuine Progress Indicator. Indicators Program of Redefining Progress, San Francisco, 1998. 328 p.
63. Haapanen, L., Tapio, P. Economic growth as phenomenon, institution and ideology: a qualitative content analysis of the 21st century growth critique. *Journal of Cleaner Production*, 112 (4), 2016. P. 3492-3503.
64. Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies. Background Paper № 3. United Nation Commission on Sustainable Development. New York, 2001. 427 p.
65. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org>
66. International Monetary Fund: official web-site. URL: <https://www.imf.org/en/Home>
67. Kuznets S. Economic growth and income inequality. *American Economic Review*, Vol. 45(1). Detroit, MI, USA. 1955. 28 p.
68. Nahorski Z. A review of mathematical models in economic environmental problems / Z. Nahorski Z., H.F. Ravn. *Annals of operations research*, 2000. № 97, P. 165-201.
69. Nesvit K. The social potential of industry as a dominant factor in achieving economic sustainability. *Social and labour relations: theory and practice*, 9 (1), 2019. P. 59-70.
70. Report on the aggregation of Indicators for Sustainable Development. CSD, NY, 2001. 372 p.

71. Romer P. Increasing Returns and Long Run Growth. *Journal of Political Economy*. 1986. Vol. 94. P. 1002–1037.

72. Solow Robert. A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*. Vol.70. 1956. P. 65–94.

73. The World Bank: official web-site. URL:
<https://databank.worldbank.org/>

74. Ehrlich P.R, Holdren J.P. Impact of population growth. *Science*, 1971, vol. 171, no. 3977, pp. 1212–1217.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1

Автор	Наукова думка автора
З. Герасимчук	Визначає сталий розвиток як «процес соціально-економічного розвитку за умови забезпечення екологічної рівноваги соціо-еколого-економічної системи певної трансформації»
Б. Данилишин	Під сталим розвитком розуміє «систему відносин суспільного виробництва, при якій досягається оптимальне співвідношення між економічним ростом, нормалізацією якісного стану природного середовища, ростом матеріальних і духовних потреб населення»
О. Невелєв	Розглядає сталий розвиток як «економічно, соціально та екологічно збалансований розвиток, спрямований на узгоджене формування і функціонування економічної, соціальної та екологічної складових цього розвитку на основі раціонального використання всіх видів ресурсів (природних, трудових, виробничих, науковотехнічних, інформаційних тощо)»
О. Осауленко	Вважає, що сталий розвиток доцільно розглядати як «процес збалансованого економічного і соціального розвитку за умови дотримання екологічних критеріїв, відтворення природної сфери з урахуванням потреб теперішнього і майбутнього поколінь, в інтересах окремої людини і людства в цілому»
В. Трегобчук	Формулює таке визначення сталого розвитку: «Сталий розвиток – це економічне зростання, за якого ефективно розв’язуються найважливіші проблеми життєзабезпечення суспільства без виснаження, деградації та забруднення довкілля»
А. Філіпенко	Вважає, що «сталий розвиток це – баланс і інтеграція між економічними, екологічними і соціальними потребами людства, з одного боку, і здатністю земних ресурсів і екосистеми задовольняти нинішні та й майбутні потреби – з іншого»

Таблиця А.2

Підходи до оцінки сталого розвитку соціально-економічних систем різних рівнів

Назва показника	Призначення
Показник «дійсних заощаджень» – Genuine saving	<p>Розроблений Світовим банком для оцінки стійкості економіки. Мета показника – представити «вартість чистої зміни в цілому спектрі активів, які важливі для розвитку: виробничі активи, природні ресурси, якість навколишнього середовища, людські ресурси та іноземні активи». Корекція валових внутрішніх заощаджень проводиться в два етапи. На першому етапі визначається величина чистих внутрішніх заощаджень (NDS) як різниця між валовими внутрішніми заощадженнями (GDS) і величиною знецінення вироблених активів (CFC). На другому етапі чисті внутрішні заощадження збільшуються на величину витрат на освіту (EDE) і зменшуються на величину виснаження природних ресурсів (DRNR) і збитку від забруднення навколишнього середовища (DMGE):</p> $GS = (GDS - CFC) + EDE - DRNR - DMGE.$ <p>Усі вхідні в розрахунок величини беруться у відсотках від ВВП. Проведені на основі цієї методики розрахунки показали величезну розбіжність між традиційними економічними показниками й екологічно скоригованими. На тлі економічного зростання часто спостерігається екологічний занепад</p>
Показник «екологічно адаптованої внутрішньої продукції» – (Environmentally adjusted net domestic product, EDP)	<p>Використовується при екологічній корекції національних розрахунків і вираховується за формулою:</p> $EDP = (NDP - DPNA) - DGNA,$ <p>де NDP – чиста внутрішня продукція, DPNA – вартісна оцінка виснаження природних ресурсів, DGNA – вартісна оцінка екологічного збитку (розміщення відходів, забруднення повітря та водою тощо)</p>
Дійсний показник прогресу –Genuine Progress Indicator, GPI	<p>Відображує спробу створення альтернативи ВВП, на відміну від якого цей показник враховує екологічні та соціальні аспекти розвитку. Містить у собі такі складові: злочинність і розпад сімей, зміна кількості вільного часу, домашня і добровільна робота, залежність від зарубіжних капіталів, розподіл доходу, витрати на оборону, термін «життя» предметів тривалого користування, виснаження ресурсів, забруднення, довгостроковий екологічний збиток</p>
Індекс стійкості навколишнього середовища – Environmental Sustainability Index	<p>Запропонований Єльським і Колумбійським Університетом. Розраховується за 22 індикаторами. Кожен індикатор визначається усередненням 2–5 змінних, всього виділено 67 змінних. Формально всі змінні отримують рівну вагу при розрахунку індексу, оскільки відсутні загально визнані пріоритети в ранжируванні екологічних проблем. У «десятку» найбільш стійких країн входять Фінляндія, Норвегія, Канада, Швеція, Швейцарія, Нова Зеландія, Австралія, Австрія, Ісландія, Данія та США. Постсоціалістичні країни займають місця з 35 по 50</p>
Індекс сталого економічного добробуту – Index of Sustainable Economic Welfare	<p>Запропонований Коббом і Делі (США) у 1989 р. Являє собою розмір ВВП на душу населення, скоригований на суму витрат на соціально-економічні й екологічні чинники. Розробка цього індексу є спробою побудови агрегованого монетарного індексу, що безпосередньо порівнюється зі стандартами національних рахунків із урахуванням важливих моментів, які заперечуються в інших методах через їх високу агрегованість. При розрахунку ISEW враховуються такі змінні, як вартість забруднення води, повітря, шумового забруднення, втрата сільськогосподарських земель, компенсації майбутнім поколінням за втрату невідтворюваних джерел енергії і т. ін.</p>

Продовження табл. А.2

Система індикаторів сталого розвитку UN CSD	Розроблена Комісією зі сталого розвитку ООН (UN CSD) у 1996 р. Є однією з найповніших за охопленням. У системі виділено чотири галузі: соціальна, економічна, екологічна й інституціональна. Відбір індикаторів здійснювався за схемою: тиск, стан, реакція. Початковий список включав 134 індикатори, потім цей список був зменшений до 60
Система екологічних індикаторів ОЕСР	Розроблена Організацією економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР). Дозволяє виявляти причинно-наслідкові зв'язки між економічною діяльністю та екологічними та соціальними умовами
Модель глобального розвитку Globesight	Поєднує такі підсистеми, як: демографія (населення), економіка (ВВП, енергетика, інвестиції), екологія (використання природних ресурсів). Перевагою цієї моделі є можливість прогнозу майбутнього стану, аналізу впроваджуваної політики, ефекту прийнятих рішень, наочність і широкий спектр уявлень і т. ін.
Методика оцінки сталого розвитку Інституту прикладного системного аналізу НАНУ і МОНУ	В методиці запропоновано метрику для вимірювання процесів сталого розвитку (МВСП) для регіонів України. Згідно з МВСП сталий розвиток оцінюється за допомогою відповідного індексу (Isd) в просторі трьох вимірів: економічного (Iec), екологічного (Ie) та соціального + інституціонального (Is). Цей індекс є вектором, норма якого визначає рівень сталого розвитку, а його просторове положення в системі координат (Iec, Ie, Is) характеризує міру «гармонійності» цього розвитку (ступінь гармонізації сталого розвитку – G). Рівновіддаленість вектора Isd від кожної з координат (Iec, Ie, Is) вказує на відповідність найбільшій гармонійності сталого розвитку. Наближення ж цього вектора до однієї з координат вказує на пріоритетний розвиток за відповідним виміром і нехтування двома іншими
Методика Х. Боссея	Базується на використанні «зірки орієнтирів» Для оцінки стійкості системи введено поняття «життєздатність» системи, задля збереження якої система повинна адекватно реагувати на загрози. При цьому час тривалості реагування системи має бути менше, ніж час поширення загрози. Враховуючи властивості оточення системи, а також її внутрішні властивості, введено також поняття «базові орієнтири», які в сукупності дають повне уявлення про життєздатність системи. До них віднесено такі: існування; ефективність; свобода дій; безпека; адаптованість; співіснування; психологічні потреби. Для кількісної оцінки стійкості (або життєздатності системи) використовується безрозмірний показник Б'єсіота, який визначається як відношення двох конкретних швидкостей зміни в заданому проміжку часу: швидкості реагування та швидкості поширення загрози (збурення)

Додаток Б

Рік	Lп - Рівень часток PM2,5 в повітрі, мкг/м3	Lп -ВВП на душу населення за ПКС, міжнародних доларів	Lп -Прямі іноземні інвестиції, млн дол США	Lп -Частка валових приватних інвестиційних витрат в структурі ВВП, %	Lп - Частка виробництва енергії за допомогою відновлюваних джерел, % від загального виробництва	1У^	2У^
1991	3,133	8,878	5,043	3,258	-0,357	3,087	21,905
1992	3,069	8,793	5,298	3,526	-0,511	3,120	22,653
1993	3,046	8,663	5,298	3,584	-0,117	3,050	21,106
1994	3,042	8,429	5,069	3,555	0,104	3,005	20,193
1995	3,034	8,327	5,587	3,296	-0,020	3,034	20,788
1996	3,028	8,249	6,256	3,135	-0,105	3,060	21,317
1997	3,017	8,245	6,435	3,045	0,030	3,038	20,855
1998	2,997	8,246	6,611	3,045	0,457	2,964	19,369
1999	2,985	8,267	6,207	2,890	0,372	2,971	19,519
2000	2,978	8,357	6,389	2,996	0,223	3,002	20,125
2001	3,012	8,474	6,675	3,091	0,207	3,011	20,299
2002	3,018	8,551	6,541	2,996	0,030	3,040	20,900
2003	3,021	8,670	7,258	3,091	-0,010	3,060	21,321
2004	3,034	8,815	7,450	3,045	0,191	3,027	20,632
2005	2,955	8,884	8,963	3,135	0,239	3,044	20,991
2006	2,973	8,994	8,631	3,219	0,560	2,982	19,723
2007	3,022	9,105	9,229	3,332	0,871	2,937	18,855
2008	2,998	9,152	9,278	3,296	1,001	2,914	18,434
2009	2,925	8,999	8,470	2,833	1,085	2,882	17,851
2010	2,949	9,055	8,772	2,890	1,058	2,893	18,039
2011	2,913	9,132	8,883	2,996	1,008	2,904	18,251
2012	2,879	9,180	9,009	2,996	1,051	2,899	18,151
2013	2,886	9,316	8,414	2,773	1,250	2,852	17,319
2014	2,863	9,282	6,742	2,565	1,253	2,822	16,810
2015	2,826	9,227	7,534	2,773	1,423	2,806	16,541
2016	2,716	9,319	8,326	3,091	1,701	2,771	15,982
2017	2,688	9,381	8,211	2,996	1,869	2,739	15,471
2018	2,694	9,444	8,511	2,944	1,934	2,732	15,362
2019	2,688	9,499	8,666	2,708	2,007	2,720	15,180
2020	2,676	9,479	5,717	2,197	2,052	2,659	14,286
2021	2,666	9,562	8,808	2,639	2,082	2,709	15,007

Додаток С

Y	Y^{\wedge}	$\varepsilon = Y - Y(x)$	ε^2	$(Y - Y_{cp})^2$	$ \varepsilon : Y $
22,95 0	21,905	-1,045	1,093	16,996	0,046
21,53 0	22,653	1,123	1,261	7,304	0,052
21,03 0	21,106	0,076	0,006	4,851	0,004
20,95 0	20,193	-0,757	0,572	4,505	0,036
20,78 0	20,788	0,008	0,000	3,813	0,000
20,66 0	21,317	0,657	0,432	3,358	0,032
20,42 0	20,855	0,435	0,190	2,536	0,021
20,02 0	19,369	-0,651	0,424	1,422	0,033
19,78 0	19,519	-0,261	0,068	0,907	0,013
19,64 0	20,125	0,485	0,236	0,660	0,025
20,32 0	20,299	-0,021	0,000	2,228	0,001
20,45 0	20,900	0,450	0,202	2,633	0,022
20,51 0	21,321	0,811	0,658	2,831	0,040
20,78 0	20,632	-0,148	0,022	3,813	0,007
19,21 0	20,991	1,781	3,173	0,146	0,093
19,56 0	19,723	0,163	0,027	0,537	0,008
20,54 0	18,855	-1,685	2,839	2,933	0,082
20,04 0	18,434	-1,606	2,578	1,470	0,080
18,64 0	17,851	-0,789	0,622	0,035	0,042
19,09 0	18,039	-1,051	1,105	0,069	0,055
18,42 0	18,251	-0,169	0,029	0,166	0,009
17,80 0	18,151	0,351	0,123	1,056	0,020
17,92 0	17,319	-0,601	0,361	0,823	0,034
17,52 0	16,810	-0,710	0,504	1,709	0,041
16,88 0	16,541	-0,339	0,115	3,792	0,020
15,12 0	15,982	0,862	0,744	13,745	0,057

14,70 0	15,471	0,771	0,594	17,036	0,052
14,79 0	15,362	0,572	0,328	16,301	0,039
14,70 0	15,180	0,480	0,230	17,036	0,033
14,52 0	14,286	-0,234	0,055	18,554	0,016
14,38 0	15,007	0,627	0,393	19,780	0,044
Sum			18,983	173,045	1,055
e макс	1,781	Yser	18,827	R^2	0,89661663 3
e мин	-1,045	Se	0,795459101	sig	0,75966874 7
e сеп	0,0211	RS	3,553455124	трозрах	0,00498552 7
		R	0,943558331	tst	2,04