

## ГЛАВА І

# СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПЕРЕХОДУ ЕКОНОМІКИ КРАЇНИ ВІД ЛІНІЙНОЇ ДО ЦИКЛІЧНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ

*Концепція циркулярної економіки.* Порівняно нещодавно світова економіка функціонувала без обмежень, використовуючи наявні природні ресурси. Промислова революція створила передумови в економіці для інтенсивного використання природних ресурсів. Отримані блага концентрувалися для окремих груп людей в окремих частинах світу і лише на певний час. Основним недоліком даного процесу стало те, що прискорений видобуток ресурсів та споживчий попит розповсюдилися глобально.

На сьогоднішній день основними актуальними загрозами існування людства є ядерна війна, екологічний колапс і технологічний прорив. Всі вони тісно пов'язані як з політикою безпеки, так і з розвитком економіки. Ці загрози виникли не вчора, і проблеми, що існують через зазначені загрози, очікують часу для свого вирішення. Зупинимося на одній із таких проблем, що пов'язана із сучасним технологічним укладом та станом розвитку економіки – необхідністю переходу від існуючої лінійної економіки до економіки циркулярного типу.

Передумови основних положень циркулярної економіки було висвітлено у 1962 році американським біологом Рейчелом Карсоном у книзі «Безмовна весна», де він звернув увагу на використання пестицидів у сільському господарстві. Публікація піддалася жорсткій критиці, її автору погрожували судовими позовами, а також висували припущення, що Карсон хоче дискредитувати сільське господарство і промисловість США. Адже характерним показником

розвитку промисловості того часу був прогрес і неважливо, якою ціною він був досягнутий.

У 1966 році Кеннет Боулдінг у праці «Економіка космічного корабля Земля» вперше порушив проблеми взаємодії економіки та екології, зазначивши, що людське суспільство не ясно усвідомлює дані проблеми. Роботу К. Боулдінга можна вважати засадничою для розуміння екологічних проблем економістами, вперше порушивши питання повторного використання товарів та ввівши терміни «ковбой економіка» (cowboy economy) та «економіка космічного корабля» (economy spaceship). Економіку майбутнього автор розглядає як екологічну систему, подібну космічному кораблю, що має обмеження щодо відновлення ресурсів і скиду відходів, натомість існуючу на той час економічну систему характеризує як «ковбой економіку», таку, що функціонує в умовах необмежених ресурсів, збільшуючи обсяги виробництва та споживання. Головною метою К. Боулдінг вбачав вирішення в майбутньому завдань мінімізації, а не максимізації виробництва і споживання. Економіка майбутнього повинна вирішувати завдання збереження основних запасів ресурсів та пошуку технологічних інновацій, що дадуть змогу знизити обсяги виробництва і споживання. При цьому він пропонував вирішення даних проблем шляхом виробництва товарів з більшим терміном використання та можливою повторною переробкою. Наголошуючи на необхідності досягнення «стабільного кругового потоку матеріалів», К. Боулдінг, по суті, сформував нову теорію, яка сьогодні називається «циркулярна економіка».

У 1970-1971 роках міжнародна група дослідників Масачусетського технологічного інституту (США) на чолі з Деннісом Медоузом на замовлення Римського клубу (Club of Rome) здійснила дослідження довгострокових наслідків глобальної тенденції

зростання населення, промислового і сільськогосподарського виробництва, споживання природних ресурсів та забруднення довкілля на основі комп'ютерного моделювання процесу розвитку цивілізації за допомогою моделі World3, розробленої з використанням методології системної динаміки Джея Форестера з метою знайти найбільш оптимальні (стійкі) сценарії розвитку людства.

Модель World3 розраховувала 9 основних змінних:

- невідновлювані ресурси;
- промисловий капітал;
- сільськогосподарський капітал;
- капітал сфери послуг;
- вільна земля;
- сільгоспугіддя;
- міська та промислова земля;
- забруднювачі, які не видаляються;
- народонаселення.

У 1972 році Римський клуб опублікував доповідь «Межі зростання» (The Limits to Growth). Її головна теза полягала у тому, що поєднання таких факторів, як вичерпання ресурсів та забруднення, – якщо ці питання не вирішуються, – може протягом найближчих ста років призвести до обрушення глобальної економіки. Доповідь була суперечливою та піддавалася серйозній критиці. Основні критичні зауваження зосереджувалися на тому факті, що доповідь, переважно, базувалася на тенденціях більшого споживання, не враховуючи належним чином технологічний розвиток, фактор заміщення та корегування цін.

У 2008 році Грем Тернер з CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) опублікував статтю, в якій порівнював прогнози з доповіді «Межі зростання» з даними за 30

років, що пройшли після публікації, і прийшов до висновку, що поточне виробництво індустриальних товарів та їжі, забруднення середовища відповідають значенням, передбаченим в моделі 1972 року.

Стратегія розвитку циркулярної економіки передбачає розрив зв'язку «економічне зростання – використання ресурсів». Циркулярна економіка ґрунтується і об'єднує в собі такі моделі як «Безвідходне виробництво» (cradle-to-cradle), «Синя економіка» (blue economy), «Ефективно функціонуюча економіка» (performance economy), «Промислова екологія» (industrial ecology), «Промисловий симбіоз» (industrial symbiosis), «Біомімікрія» (biomimicry).

Систематизація існуючих теоретичних концепцій, представлена в таблиці (див. табл. 1.1), показує, що основні положення циркулярної економіки не використовують принципово нові знання, проте акумулюють результати досліджень вчених у галузях промислової екології, екологічної ефективності, регенеративного дизайну тощо. Станом на 2018 рік в середньому налічувалося більше 114 визначень циркулярної економіки, визначених різними науковими школами, визначених в законодавчих актах різноманітних країн, введених в практику міжнародними організаціями [1].

*Таблиця 1.1*

**Основні наукові школи, які формулюють концепцію  
циркулярної економіки**

<b>Школа</b>	<b>Основні представники та праці</b>	<b>Сутність концепції</b>
Ефективно функціонуюча економіка (performance economy)	1) Stahel W. The Functional Economy: Cultural and Organizational Change/In: D. J. Richards (Ed.). The Industrial Green Game: Implications for Environmental Design and Management. Washington DC, 1997. P. 91-100.	Економіка обслуговування, орієнтована на підвищення ефективності використання ресурсів і продовження терміну служби продукту.

<p>Ефективно функціонуюча економіка (performance economy)</p>	<p>2) Stahel W. The Performance Economy. Second ed. Palgrave Macmillan, Basingstoke, 2010.</p>	<p>Підхід підкреслює екологічні переваги при продажу послуг замість продуктів, тим самим створюючи нові робочі місця. Стратегічна мета реалізації полягає в тому, щоб забезпечити максимальне використання в максимальні строки, використовуючи найменшу кількість матеріальних ресурсів і енергії.</p>
<p>Промислова екологія (industrial ecology)</p>	<p>1) Frosch D., Gallopoulos N. Strategies for manufacturing. <i>Scientific American</i>. 1989. №261 (3). P. 94-102.                  2) Tibbs H. Industrial Ecology: An Environmental Agenda for Industry. Emeryville, CA. Global Business Network, 1993.                  3) Ehrenfeld I., Gertler N. Industrial ecology in practice: The evolution of interdependence at Kalundborg. <i>Journal of Industrial Ecology</i>. 1997. №1 (1). P. 67-79.</p>	<p>Вводиться поняття «промислова екосистема», яка буде функціонувати як аналог біологічних екосистем. При такому підході споживання енергії й матеріалів буде оптимізовано, а виробництво відходів мінімізовано. Розроблено як екологічно стійку модель для промислової діяльності.</p>
<p>Промисловий симбіоз (industrial symbiosis)</p>	<p>1) Jacobsen N. Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark: a quantitative assessment of economic and environmental aspects. <i>Journal of Industrial Ecology</i>. 2006. №10. P. 239-255.                  2) Chertow M. «Uncovering» industrial symbiosis.</p>	<p>Колективна оптимізація використання ресурсів за рахунок обміну продукцією і спільного використання обладнання та інфраструктури виробничими системами. Індустріальний симбіоз передбачає об'єднання традиційно розділених галузей і виробничих систем в колективну агломерацію, яка виборює загальну конкурентоспроможність за рахунок обміну</p>

Продовження таблиці 1.1

<p>Промисловий симбіоз (industrial symbiosis)</p>	<p><i>Journal of Industrial Ecology</i>. 2007. №11. Р. 11-30.</p>	<p>матеріалами, енергією, водою і напівфабрикатами.</p>
	<p>1) Benyus J. <i>Biomimicry: Innovation Inspired by Nature</i>, 1997.</p>	<p>Школа заснована на використанні інноваційного методу біомімікрії, який дозволяє шукати стійкі рішення шляхом наслідування характерам і стратегіям природи. Базується на таких принципах: природа як модель, природа як міра (використовує екологічний стандарт для оцінки стійкості інновацій), природа як наставник (спосіб перегляду та оцінки природи).</p>
<p>Безвідходне виробництво (cradle-to-cradle)</p>	<p>1) McDonough, Braungart. <i>Cradle to Cradle: Rethinking the Way We Make Things</i>», 2002. 2) The Upcycle: <i>Beyond Sustainability – Designing for Abundance</i>, 2013.</p>	<p>Концепція спрямована на мінімізацію екологічного збитку продукції за рахунок створення більш стійких виробничих процесів, методів розподілу та утилізації, а також впровадження соціальної відповідальності виробника.</p>
<p>Синя економіка (blue economy)</p>	<p>1) Pauli G. <i>10 years, 100 innovations, 100 million new jobs</i>, 2011.</p>	<p>Спрямована на захист глобальної екосистеми при створенні нових робочих місць. Концепція пропонує альтернативу звичайним індустриальним процесам, зміщуючи акцент з використання викопних ресурсів на більш прості й екологічні технології. Заснована на наступних принципах: будь-який ресурс можна замінити іншим, якщо він потрібен для виробництва; в природі не існує відходів; будь-який побічний продукт є джерелом для нового продукту.</p>

Джерело: побудовано автором на основі [2]

Огляд зазначених праць дозволяє сказати, що концепція циркулярної економіки об'єднала в собі практичні підходи, що широко використовуються різними науковими школами, а систематизація тлумачень «циркулярна економіка» дозволила виявити два основні принципові підходи:

- ресурсно-орієнтований підхід (Генг, Хуан, Гейсдорфер, Зінк), який пропонує розглядати замкнений потік матеріалів, енергії і відходів, що може бути досягнуто за рахунок повторного використання на рівні продукту (ремонт або відновлення), на рівні компонентів (повторне використання у виробництві) і на рівні матеріалів (рециркуляція);

- економіко-орієнтований (Баштейн, Хайслоп та Хілл, Інгебрайтсен та Якобсен), відповідно до того, що циркулярна економіка представляє собою економічну систему, засновану на повторному використанні матеріалів та збереженні природних ресурсів, орієнтовану на створення цінностей для людей та економіки в кожній частинній системі.

Об'єднуючим два вище наведених підходи і найбільш вживаним є визначення спеціалізованого фонду «Ellen MacArthur Foundation», згідно з яким під циркулярною розуміється економіка, яка має відновлювальний та замкнений характер, яка передбачає створення безперервного циклу розвитку, який зберігає природний капітал і збільшує його вартість, підвищує віддачу від ресурсів за рахунок оптимізації їх використання.

За останні роки з'явилося багато міжнародних звітів та доповідей, які по суті підтверджують більшість висновків, наведених у доповіді «Межі зростання». Ініціаторами цих звітів є різноманітні дослідницькі установи, Генеральній секретар ООН, ЮНЕП, Європейська Комісія, ОЕСР. Усі ці документи включають серйозні

застереження щодо поєднання факторів все більш нестабільного клімату та надмірного використання багатьох важливих екосистем та природних ресурсів – відновлюваних та невідновлюваних – і забруднення, що завдає значної шкоди життєво важливим екосистемам та здоров'ю людей.

Вітчизняні дослідження та розробки питання функціонування циркулярної економіки в основному фокусуються на аналізі закордонного досвіду, окремих питаннях логістики, технології виробництва і переробки, екології.

Діюча у світі економічна система використовує за рік ресурси, для відновлення яких необхідно півтора року, таким чином здійснюючи незворотній вплив на екосистему планети (див. рис. 1.1) [3].

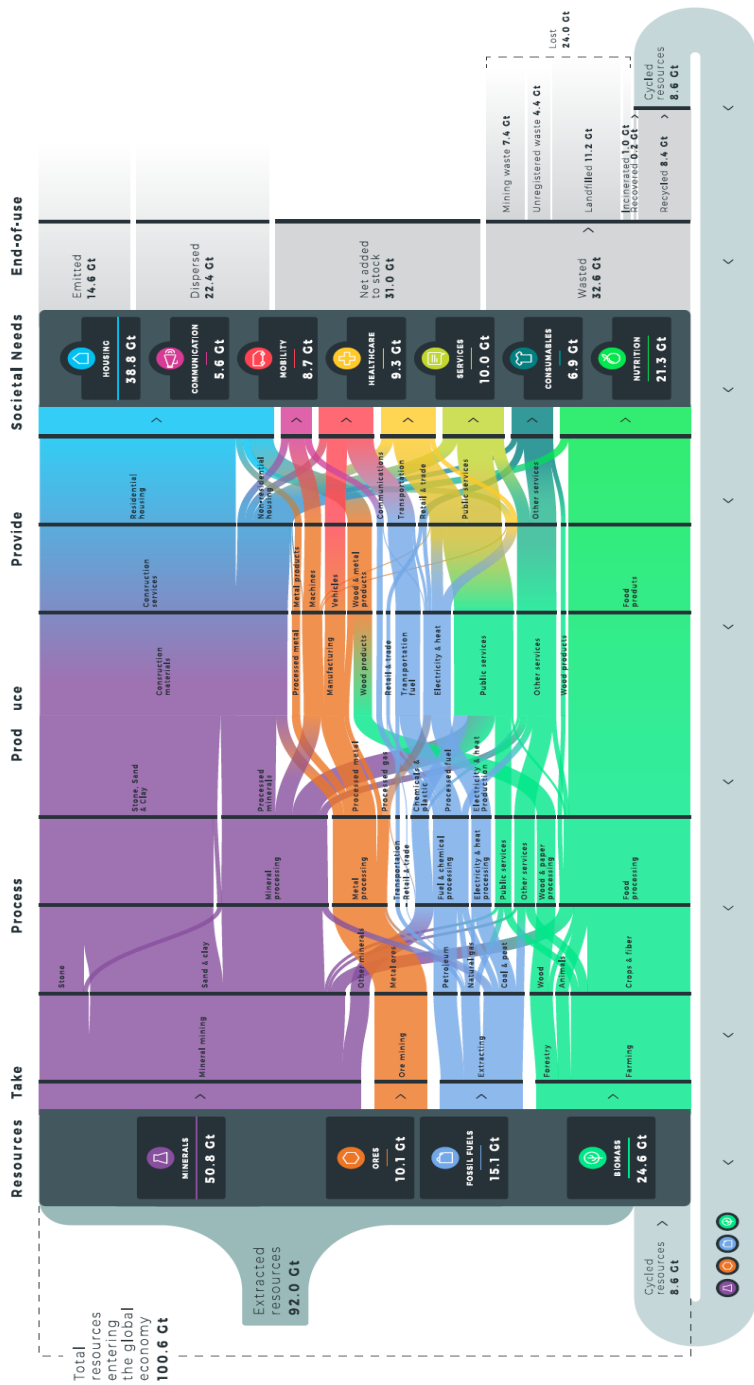
Останнім часом урядові та корпоративні структури все частіше звертають свою увагу на необхідність вживання заходів, направлених на максимальну переробку відходів і створення на їх основі нових ресурсів. Таким чином, відбувається переосмислення та поступове розуміння необхідності переходу від лінійної економіки (linear economy) до, так званої, циркулярної економіки (circular economy).

В лінійній економіці сповідується принцип «бери-роби-користуйся» (take – make – waste), у циркулярній економіці (circular economy) основним принципом є «виробництво – споживання та використання – переробка» (production – consumption and use – processing).

Основні передумови загального переходу до циркулярної економіки:

- зростання населення;
- зростання споживання ресурсів;





**Рис. 1.1. Глобальний відбиток руху ресурсів по задоволенню основних суспільних потреб**

*Глобальний метаболізм показує потоки біомаси, викопного палива, металів та мінералів від джерела до місяця, де вони задовольняють потреби суспільства.*

*Джерело: побудовано автором на основі [4]*

- обмеженість ресурсів, їх неминучий дефіцит у майбутньому.

В принципі в циркулярній економіці повинні почати вирішуватися такі проблеми:

- зниження утворення відходів за рахунок розвитку вторинної переробки;

- зниження негативного впливу на екологію за рахунок скорочення використання ресурсів під час виробництва;

- поява нових ринків, створення нових робочих місць, зростання загального рівня добробуту.

Циркулярна економіка за своїм наміром та замислом є відновною. Ідея її розвитку полягає у тому, щоб замість викидання продуктів до того, як їхня цінність буде повністю реалізована, використання цих продуктів багаторазово.

Слід відмітити, що протягом останніх десятиріч відбувається відносне відокремлення економічного зростання від використання ресурсів. Ті досягнення, які здобуті на сьогоднішній момент, швидко поглинаються економічним зростанням у поєднанні з ефектом віддачі (ресурси, які вивільнені завдяки підвищенню ефективності, дуже швидко використовуються внаслідок збільшення споживання).

Циркулярна економіка використовує величезний економічний потенціал, вкладений в матеріали та ресурси, які вже використовуються суспільством. Розуміння цінності матеріалів і товарів, з яких складається інфраструктура, що використовується суспільством, власне, і є рушійною силою циркулярних економічних моделей.

**Поточна ситуація.** Зростання в два рази, починаючи з 1970 року, світового валового внутрішнього продукту забезпечило суттєвий прогрес і дозволило, певною мірою, звільнитися від

зубожіння мільярдам людей. При цьому економічне зростання підживлюється постійним підвищенням попиту на природні ресурси. І весь цей час тенденція до підвищення попиту на природні ресурси залишалася незмінною. Це, у свою чергу, призводить до втрати біорізноманіття та проблем з дефіцитом води, які обумовлюються методами, що застосовуються в ході видобутку і переробки природних багатств.

Сучасні лінійні моделі економічної діяльності залежать від постійного притоку матеріальних ресурсів, які видобуваються та стають предметами торгівлі, переробляються на виробництві і нарешті потрапляють в навколишнє середовище у вигляді відходів або забруднення. З 1970 по 2017 роки річний обсяг видобування матеріальних ресурсів збільшився у три рази – з 27 млрд тонн до 92 млрд тонн і продовжує зростати [5] (див. табл. 1.2).

*Таблиця 1.2*

### **Вплив видобування та первинної обробки ресурсів**

<b>Ресурси, що використовуються</b>	<b>Глобальний вплив на зміни клімату</b>	<b>Глобальний вплив твердих часток на здоров'я</b>	<b>Глобальний вплив на водні ресурси</b>	<b>Глобальний вплив на втрату біорізноманіття, пов'язаного із землекористуванням</b>
<b>Біомаса</b>	17%	0,7%	85%	80%
<b>Металічні корисні копалини</b>	10%	12%	0,3%	0,1%
<b>Викопні палива</b>	16%	0,5%	0,5%	0,5%
<b>Неметалічні корисні копалини</b>	10%	0,8%	0,1%	0,1%

*Джерело:* побудовано на основі [6]

З 2000 року темпи зростання споживання ресурсів підвищилися до 3,2% у рік, головним чином, в результаті значних інвестицій в інфраструктуру і зростання матеріального добробуту в країнах з економікою, що розвивається, і перехідною економікою, в особливості в Азії (див. табл. 1.3).

Таблиця 1.3

### Частка регіонів у видобуванні ресурсів

Регіон	1970 рік	2010 рік
Африка	7,9%	7,0%
Азія та Океанія	24,3%	52,9%
Східна Європа, Кавказ та Центральна Азія	14,7%	5,8%
Європа	20,9%	10,5%
Латинська Америка та країни Карибського басейну	9,4%	10,7%
Північна Америка	19,6%	9,7%
Західна Азія	3,2%	3,4%

*Джерело:* побудовано на основі [7]

Частка у видобутку Африки, Латинської Америки, країн Карибського басейну та Західної Азії залишалася відносно постійною протягом 1970-2010 років, але зростала в загальному абсолютному обсязі. В Європі та Північній Америці відбулося різке скорочення у загальному світовому видобутку ресурсів. Це також відноситься до регіонів Східної Європи, Кавказу та Центральної Азії, зниження частки яких було найбільш вираженим. Слід відмітити, що хоча відносні частки скорочувались у багатьох регіонах, загальний внутрішній видобуток ресурсів в цих регіонах все ще зростає (до 40%), тоді як регіон Східної Європи, Кавказу та Центральної Азії був єдиним регіоном де зростання становило 16%. Всі країни

Латинської Америки, Західної Азії та Африки показали зростання загального показника внутрішнього видобутку більше 100% при щорічних показниках зростання відповідно 3,1%, 2,9% та 2,5%.

Деякі економічні події вплинули на траєкторію внутрішнього видобутку. Зниження внутрішнього видобутку в Західній Азії відразу ж після 1980 року відображає зменшення експорту нафти після другого шоку цін на нафту, тоді як сучасне зниження внутрішнього видобутку в Північній Америці відповідає економічному спаду, який супроводжував шок цін на нафту там. Значне скорочення в регіоні Східної Європи, Кавказу та Центральної Азії спостерігався протягом 1990-х років в умовах економічної дислокації після розпаду колишнього СРСР. З недавніх пір чітко спостерігається вплив світової фінансової кризи на внутрішній видобуток Північної Америки та Європи, як і ступінь зменшення впливу економічного спаду в більшості інших регіонів [7].

Сучасне світове використання ресурсів зросло за всіма категоріями:

- загальне щорічне використання біомаси за період з 1970 по 2017 рік зросло в 2,6 рази, з 9 до 24 млрд тонн в основному за рахунок вирощування рослин та пасовищного утримання худоби;
- загальне щорічне використання металічних корисних копалин за період з 1970 по 2017 рік зросло в 3,5 рази, з 2,6 до 9,1 млрд тонн. Щорічний приріст споживання металічних руд з 1970 року становить 2,7%, та відображає попит будівництва, інфраструктури, промисловості та виробництва споживчих товарів;
- загальне щорічне використання викопних палив за період з 1970 по 2017 рік зросло в 2,5 рази, з 6 до 15 млрд тонн, проте частка викопного палива у світовому споживанні знизилася з 23% до 16%;
- загальне щорічне використання неметалічних корисних

копалин за період з 1970 по 2017 рік зросло в 4,9 разів, з 9 до 44 млрд тонн. Найбільший обсяг в цій категорії становили пісок, гравій та глина;

- загальний щорічний відбір води за період з 1970 по 2010 рік зріс в 1,6 разів, з 2,5 до 3,9 тисяч км<sup>3</sup> на рік, хоча темпи зростання забору води і знизилися. У другій половині ХХ сторіччя світові темпи росту споживання води для потреб промисловості, сільського і комунального господарства випереджали зростання чисельності населення планети. У проміжку з 2000 по 2012 рік на глобальному рівні 70% води використовувались у сільському господарстві, головним чином для зрошення, на промисловість 19%, а на комунальне господарство – 11% забору води [8];

- загальне щорічне використання земельних ресурсів за період з 2000 по 2010 рік зросло з 15,2 млн км<sup>2</sup> до 15,4 млн км<sup>2</sup>. Площа під сільськогосподарськими культурами скоротилася в Європі та Північній Америці, проте зросла в Африці, Латинській Америці та Азії. Площа світових пасовищ зменшилася з 31,3 млн км<sup>2</sup> до 30,9 млн км<sup>2</sup>. Загальна площа лісів в Африці та Латинській Америці незначним чином скоротилась, в той час як в інших регіонах світу вона дещо збільшилась.

Ресурси біомаси використовуються для отримання продуктів харчування, кормів та енергії. Виробництво харчування є основною причиною втрати біорізноманіття, ерозії ґрунтів, а також викидів парникових газів. Зараз вирощування і переробка біомаси є відповідальними за 90% світового рівня використання води і втрати біорізноманіття, що пов'язані із землекористуванням. У 2010 році землекористування призвело до зникнення 11% біологічних видів у світовому масштабі. Крім того, виробництво та переробка біомаси є джерелами 30% викидів парникових газів, пов'язаних із

використаними ресурсами (без зміни розмірів у землекористуванні).

За останні 15 років вплив на клімат та здоров'я населення, пов'язаний із видобутком металічної руди та виробництвом металів, збільшився у два рази.

Глобальні ланцюги виробництва у чорній металургії використовують 25% світового промислового енергоспоживання із відповідним впливом на клімат. Іншим значним енергоспоживачем є алюмінієва промисловість. У той же час у процесі виробництва міді та дорогоцінних металів має місце значне забруднення оточуючого середовища токсичними речовинами.

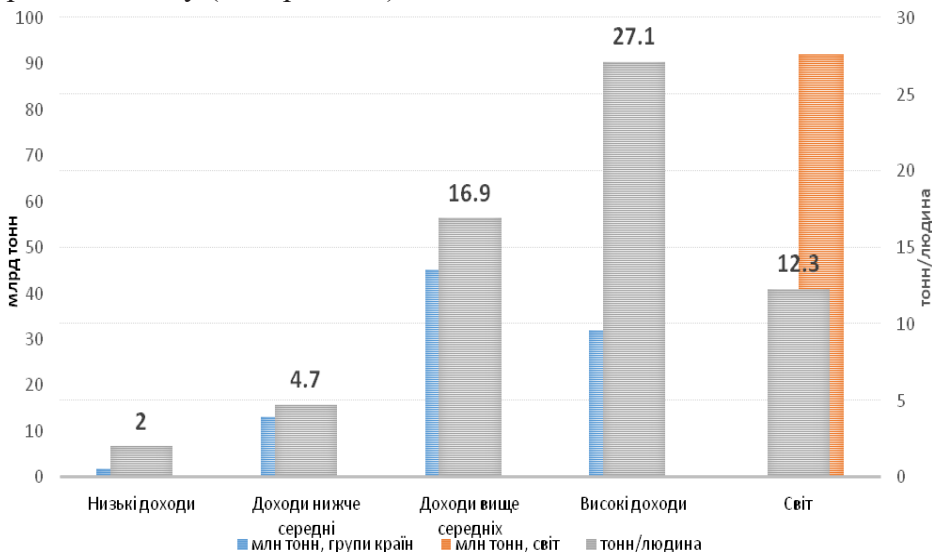
Більшість проблем для оточуючого середовища пов'язана не з видобутком, а з переробкою неметалічних мінеральних ресурсів. Тим не менш, видобування цих ресурсів, у особливості піску, є одним з критичних факторів впливу на місцеві екологічні системи.

Вугілля, нафта і природний газ є не тільки джерелами енергії, але й сировиною для виробництва медикаментів, пластмас, барвників та багатьох інших продуктів і матеріалів. Як видобуток, так і переробка, розподіл і використання цих ресурсів роблять значний внесок у забруднення навколишнього середовища та атмосфери. Кінцева стадія використання видобувного палива відіграє визначальну роль у його впливі на оточуюче середовище та здоров'я людей. Збільшення в останні десятиріччя встановленої потужності електричних станцій, які використовують видобувні види, значно підвищило доступність недорогої енергії, але це було досягнуто за рахунок нанесення шкоди оточуючому середовищу та здоров'ю людей.

Світова зворотна циркуляція ресурсів в економіці коливається в межах 8,5-9,0%. Збільшення цього показника вбачається неможливим через високі темпи видобутку, постійне нарощування

запасів, рівень обробки (постійно зростаючий, проте все одно низький) та кінцеве споживання видобутих ресурсів. Ці тенденції мають глибокі коріння в традиційній лінійній економіці з її основним принципом «бери-роби-користуйся».

Коло тих, хто користується плодами такого роду освоєння ресурсів, як і раніше залишається обмеженим. При цьому спостерігаються серйозні диспропорції в тому, що стосується так званого «ресурсного сліду» (material footprint) держав, тобто загального обсягу сировини і матеріалів, використаних окремою країною для задоволення своїх потреб. У країнах з високим рівнем доходу цей слід в розрахунку на душу населення на 60% перевищує аналогічний показник країн з рівнем доходу вище середнього і більш ніж в 13 разів перевищує відповідний показник країн з низьким рівнем доходу (див. рис. 1.2).



**Рис. 1.2.** «Ресурсний слід» в залежності від рівня доходу країн

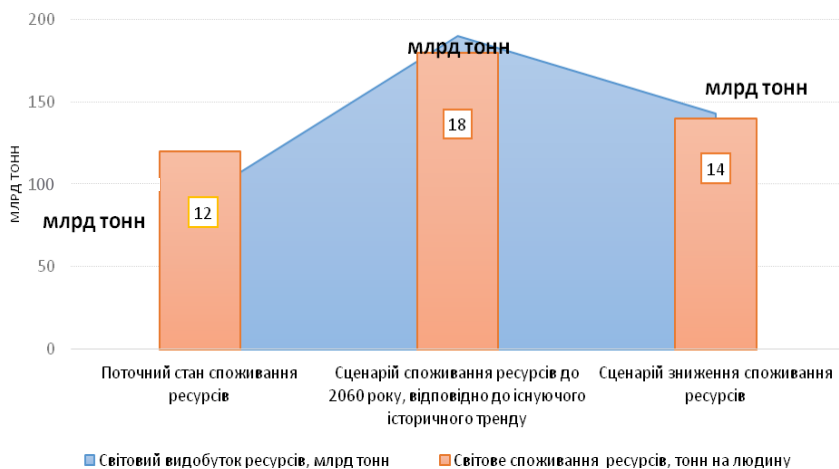
*Джерело:* побудовано на основі [9]



Показник споживання ресурсів на одну людину у країнах з високим рівнем доходів становить 27,1 тонн на людину, в країнах з доходами вище середніх – 16,9 тонн на людину, а середнє значення по світу – 12,3 тонн на людину.

«Ресурсний слід» показує яскраво виражену тенденцію – чим вищий рівень доходу в країні, тим більшим є споживання ресурсів.

Економічне зростання, що погіршує стан нашої планети, забезпечується, по суті, без урахування соціально-економічних і екологічних факторів розвитку. У зв'язку з цим питання полягає в тому, щоб задовольнити потреби людства в рамках ресурсів, якими володіє наша планета. Практична реалізація цього амбітного, проте критично важливого завдання вимагає переосмислення політиками, транснаціональними та національними корпораціями, громадянським суспільством і всіма громадянами поняття «прогрес», а також впровадження та використання інноваційних підходів, які дозволять змінити вибір, спосіб життя і поведінку людей.



**Рис. 1.3. Світовий видобуток ресурсів, млрд тонн**

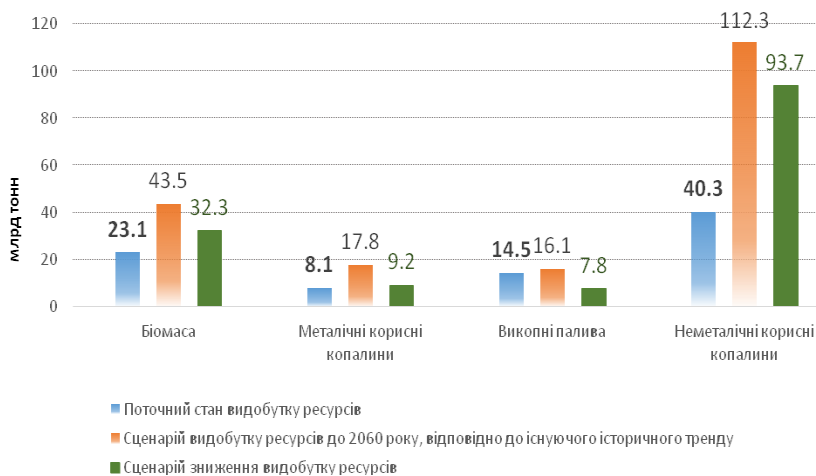
*Сценарій зниження споживання базується на розумінні того, що темпи зростання в країнах, що розвиваються та відсталих країнах повинні бути збалансовані з абсолютним скороченням використання ресурсів у розвинених країнах*

*Джерело: побудовано на основі [10]*

Прогнози щодо підвищення рівня кругообігу ресурсів для закриття розриву, зважаючи на темпи розвитку бізнесу, на сьогоднішній день є невтішними (див рис. 1.3) [10].

Відповідно до історичного тренду споживання природних ресурсів у найближчій перспективі передбачається 100% зростання абсолютного споживання. Відносно середнього світового споживання на людину історичний тренд показує тенденцію збільшення на 50% до 18 тонн на людину.

Нижче представлено поточний стан видобутку ресурсів за основними видами, історичний тренд споживання до 2060 року та можливий стан споживання при переході до сценарію збалансованого використання ресурсів (див. рис. 1.4).



**Рис. 1.4. Видобуток ресурсів за видом**

*Сценарій зниження споживання базується на розумінні того, що темпи зростання в країнах, що розвиваються та відсталих країнах повинні бути збалансовані з абсолютним скороченням використання ресурсів у розвинених країнах*

*Джерело: побудовано на основі [10]*

Для подальших перетворень необхідні зважені політичні рішення, які будуть передбачати обов'язкові зміни у способі господарювання.

У 2017 році річне використання ресурсів у світі становило більше 100 млрд тонн, з яких лише 8,6 млрд тонн надійшли в якості зворотних [11].

Дані свідчать, що швидкість, з якою збільшується видобуток ресурсів, випереджає в 2-3 рази відновлення після закінчення їх використання [12].

Також у світову економіку залучається більше ресурсів і матеріалів для розбудови глобального житлового фонду, інфраструктури та важкої техніки для задоволення потреб зростаючого світового населення.

Недостатня проробка питання кінцевого терміну експлуатації та циклічного використання, а також поганий дизайн виробів сприяють лінійності, яка підтримує себе сама та лише посилює попит на ще невикористані ресурси, тим самим запускаючи всю послідовність знов.

Аналізуючи сучасні соціальні потреби людства та їх вплив на економіку, можна виділи сім основних потреб:

1. *Житло, інфраструктура та їх обслуговування.* Для задоволення цієї потреби використовується найбільший запас ресурсів (приблизно 38,8 млрд тонн щороку).

2. *Харчування.* Є другою за величиною категорією за рівнем використання ресурсів. Сільськогосподарські продукти, такі як сільськогосподарські культури та тваринництво, потребують використання 21,3 млрд тонн в рік. При цьому харчові продукти мають дуже короткий життєвий цикл в економіці і швидко споживаються після виготовлення.

3. *Мобільність.* Потребує використання значних ресурсів, зокрема, для будівництва транспортних технологій і транспортних засобів (автомобілі, поїзди, літаки) та можливості рухатися (спалення викопного палива для живлення).

4. *Споживчі товари.* Є різноманітною та складною групою продуктів, які, зазвичай, мають короткий і середній термін експлуатації.

5. *Послуги.* Залучення ресурсів для задоволення даної потреби практично незначне і полягає у використанні професійного обладнання, офісних меблів, комп'ютерів та іншої інфраструктури.

6. *Охорона здоров'я.* Окрім будівель до них належать використання капітального медичного обладнання, лікарських засобів, обладнання для лікарень, одноразових товарів та обладнання для домашнього догляду.

7. *Зв'язок.* Підвищення рівня зв'язку сприяє розвитку циркулярної економіки, через оцифровування (digitalization), яке робить фізичні продукти неактуальними, а також сприяє кращому використанню наявних активів, включаючи витратні матеріали, будівельний фонд та інфраструктуру.

Урбанізація, як глобальне явище, збільшує та прискорює попит на житло, стимулюючи динаміку будівництва житла у всьому світі. Крім того, нарощування фізичних активів у комунальній інфраструктурі, збільшує надання таких послуг, як енергія та опалення, вода, каналізація, зв'язок та транспорт.

З матеріалів, що надходять у світову економіку щороку, більшість (52,6 млрд тонн) використовуються суспільством як недовговічні продукти, які спливають протягом року. Інші 48 млрд тонн матеріалів потрапляють у довгострокові запаси, і вважаються ресурсами, строк використання яких триває. Вони надходять

в економіку переважно у вигляді будівель, інфраструктури та капітального обладнання.

Слід відмітити, що прогноз на основі моделювання за деякими напрямками має тенденцію зворотну, ніж ту що передбачалась. Проте зростаючий темп видобутку та використання сировини показують, що ці скромні покращення у переробці відходів є недостатніми для того щоб підтримувати зростання економіки.

Застереження Римського клубу про те, що «фактично кожен забруднювач, виміряний як функція часу, збільшується експоненціально» не виправдалося, воно не лише перестало зростати, а й почало знижуватися. За даними Агентства із захисту навколишнього середовища США (United States Environmental Protection Agency, EPA), сумарні викиди шести провідних забруднювачів повітря зменшилися більш, ніж на дві третини, за період з 1980 до 2014 року. Частка летючих органічних сполук скоротилася на 53 відсотки, діоксиду азоту – на 55, твердих часток – на 58, монооксиду вуглецю – на 69, діоксиду сірки – на 81 і свинцю – на 99 відсотків.

Річки Темза та Рейн є прикладом того, як ріки та озера, які було оголошено біологічно мертвими, очистилися після того, як зменшилося промислове забруднення, а каналізаційні компанії були змушені очистити воду та утримувати належні системи збору.

Кількість нафтових розливів у океанах також різко скоротилася. У 1970-х роках у середньому траплялося двадцять чотири розливи нафти на рік. Із 2000 року – у середньому менше, ніж три. З 2000 до 2014 року було пролито 234 000 тонн. Може видатися, що це багато, але насправді такий об'єм значно менший, ніж річні показники у 1970-х роках. У період із 1970-го до 2014 року об'єм розливої нафти зменшився на 99 відсотків.

Наприкінці 1970-х та 1980-х років було багато повідомлень про вмираючі східноєвропейські ліси, і екологи висловлювали побоювання, що кислотні дощі знищать їх. Проте цього не сталося, завдяки тому, що рівень забруднення знизився, а сама тривога була перебільшеною. В екологічній системі ЄС територія, на якій перевищено критичне навантаження підкислення, зменшилася з 43 до 7 відсотків у 1980-2010-х роках, знижується і рівень евтрофікації [13].

У більшості країн ЄС було припинено вирубку лісу, і їх площа зростає більш, ніж на 0,3 відсотка щорічно, з 1990-го до 2015 року. У Сполучених Штатах цей показник становить 0,1%. Загальний річний рівень утрати лісу з початку 1990-х років сповільнився з 0,18 до 0,008 відсотка. Більше того, ліси також повертаються у багатьох країнах, що розвиваються. У Китаї лісовий покрив збільшується, більш ніж на 2 мільйони гектарів на рік. У бразильській Амазонці, яка довгий час була синонімом вирубки лісів, щорічний темп вирубки знизився на 70 відсотків із 2005 року, завдяки кращому захисту лісів та тому, що фермерам вдалося підвищити врожайність на існуючих сільськогосподарських угіддях.

Утилізація твердих відходів у ЄС за період з 2011 по 2016 рік зросла в середньому на 11%, а у Швеції, Австрії та Люксембурзі коефіцієнт переробки відходів досягає 80%.

***Перспективи.*** Для розбудови циркулярної економіки, яка є нейтральною для клімату, необхідним є започаткування відповідних політичних ініціатив, розробка програмних дій, мобілізація промисловості та фінансового сектору. Подібного роду трансформація може тривати досить довго (протягом декількох десятиліть), проте концептуальні рішення необхідно розробляти і приймати в найближчі роки.

Слід відзначити, що сучасний практико-орієнтований підхід до визначення концепції циркулярної економіки сформульований не тільки в академічній літературі, а й у ініціативах урядових кіл і бізнес-спільноти країн ЄС, Канади, Китаю.

Зокрема в Європейському союзі, починаючи з 2014 року, йде активна робота в напрямку розвитку циркулярної економіки: у 2014 році була опублікована концепція програми «Назустріч циркулярній економіці: програма нульових відходів для Європи», а в 2015 році – конкретний план заходів «Закриття циклу – План дій ЄС для циркулярної економіки».

Наприкінці 2019 року в контексті виконання цілей ООН з стійкого розвитку Єврокомісія, вищий орган виконавчої влади Європейського союзу, направила до Європейського парламенту, Європейської ради та профільних комітетів Концепцію «зеленого» переходу (The European Green Deal).

Як відзначається у Концепції «зеленого» переходу, на світових ринках є значний потенціал для технологій із низьким рівнем викидів, продуктів, які мають екологічні, соціальні та економічні вигоди, забезпечуючи при цьому захист здоров'я людей та навколишнього середовища протягом всього їх життєвого циклу, від видобутку сировини до їх остаточної утилізації (sustainable products).

Слід відзначити, що в даному документі перехід до циркулярної економіки розглядається в числі таких інших елементів, як:

1. Підвищення рівня кліматичних цілей.
2. Постачання чистої, доступної та безпечної енергії.
3. Мобілізація промисловості для чистої та циркулярної економіки.

4. Будівництво та оновлення в енерго- та ресурсоефективний спосіб.
5. Прискорення переходу до стійкої та розумної мобільності.
6. Розробка справедливої, здорової та екологічно чистої системи харчування.
7. Збереження та відновлення екосистем та біорізноманіття.
8. Нульові забруднення навколишнього середовища токсинами.

Якщо поглянути на ці елементи в сукупності, то можна побачити, що вони відображають все те, до чого прагнули і прагнуть ідеологи переходу до циркулярної економіки.

Європейська Концепція «зеленого» переходу, безперечно, зумовить суттєве пришвидшення енергетичних трансформацій в країнах ЄС, що матиме ефект в усіх сферах світової економіки. Ці трансформації стають одночасно великим викликом та можливістю для України.

Враховуючи закріплені в Конституції України стратегічний курс до повноцінного членства нашої держави в Європейському Союзі, міжнародні зобов'язання України, а також об'єктивні потреби у постійному вдосконаленні стратегічного планування в енергетичній сфері, Радою національної безпеки і оборони України було прийнято рішення щодо необхідності забезпечити перегляд Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, ефективність, конкурентоспроможність». Урядом України розпочато розробку Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року.

Слід зазначити, що вдала адаптація кліматично-енергетичної політики України до нових реалій дозволить досягнути довготривалого мультиплікативного ефекту, який забезпечить



сталий розвиток та конкурентоздатність нашої держави. У свою чергу, «зелений» енергетичний перехід дозволить досягнути такі основні цілі:

- енергонезалежність та стійкість до викликів, пов'язаних з безпекою;
- стале виробництво та споживання енергії;
- кліматична нейтральність економіки.

Основними напрямками змін в економіці відповідно до української Концепції «зеленого» енергетичного переходу мають стати:

- енергоефективність у промисловості, ЖКГ та теплоенергетиці;
- відновлювальна енергетика;
- поводження з відходами;
- інноваційне сільське та лісове господарство;
- диджиталізація та технологічні зміни економічних процесів;
- міський, міжміський, приватний та вантажний електротранспорт;
- підтримка науково-дослідних робіт та інновацій з акумулювання електроенергії, виробництва та зберігання водню.

Низка фахівців висловили принципові зауваження до української Концепції «зеленого» енергетичного переходу України. Зокрема, вони вважають, що у назві документа змішані різні поняття: концепція «зеленого» переходу (в термінах ЄС – Green Deal, або Ukraine Green Deal, як визначено на титульній сторінці цього документа) і концепція енергетичного переходу (в термінах ЄС – Energy Transition). Представлена українська «Концепція...» є прикладом саме «зеленого» переходу і викладена у тому ж форматі,

що і європейська Концепція «зеленого» переходу. Безперечно, енергетичний перехід є головною складовою частиною «зеленого» переходу, але концепція самого енергетичного переходу має бути стратегічним баченням шляхів розвитку енергетичної інфраструктури країни та прогнозуванням технологічних аспектів розвитку енергетики при рівних умовах розвитку всіх видів чистої енергетики.

Відсутність у Концепції посилань на прогноз розвитку енергетичного сектора і на результати багатофакторного економіко-математичного моделювання не є прагматичним підходом. Відсутність зазначених матеріалів не дозволяє експертному співтовариству верифікувати та підтвердити адекватність моделі. Зокрема, є підстави вважати, що висновки про частку відновлювальних джерел енергії у 70% та зниження частки атомної генерації до 20-25% до 2050 року були зроблені без урахування витрат на створення додаткових резервних потужностей і масштабного будівництва систем накопичення енергії (energy storage), розвитку електричних мереж для забезпечення стійкості енергосистеми, витрат на утилізацію обладнання відновлювальних джерел енергії після закінчення строків експлуатації. Концепція обов'язково повинна базуватися на прогнозних оцінках розвитку економіки держави в цілому, і прогнозі енергоспоживання зокрема.

Частки відновлюваної та атомної енергетики в енергобалансі України необхідно прогнозувати з урахуванням останніх міжнародних досліджень. Зокрема, дослідження виконане Агентством з атомної енергії (NEA) [14] та дослідження Массачусетського інституту технологій [15] показали, що системні витрати зі зростанням частки відновлювальних джерел енергії значно зростають:

- при сценаріях з часткою відновлювальних джерел енергії від 10 до 30% сукупна встановлена потужність системи повинна бути збільшена в 2 рази в порівнянні зі сценарієм без відновлювальних джерел енергії;

- при сценаріях з відновлювальними джерелами енергії до 50% – більш, ніж у 2 рази;

- при сценаріях до 75% відновлювальних джерел енергії необхідна встановлена потужність для функціонування енергосистеми збільшується в 3 рази.

При формуванні політики поводження з відходами слід враховувати й відходи відновлювальних джерел енергії. Згідно зі звітом Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA), до 2050 року майже весь парк сонячної енергетики вичерпає свій ресурс, створивши в Україні понад 300 тисяч тонн відходів, які майже не підлягають переробці (0,38% у світових відходах сонячної енергетики). При цьому інвестиції на утилізацію цих відходів та на заміну сонячних панелей в Концепції не розглядаються.

Тому було запропоновано провести розмежування між «зеленим» переходом і енергетичним переходом, розглядати ядерну енергетику як чисту низьковуглецеву технологію з прогнозованим графіком виробництва (це відповідає тенденціям, що існують в ЄС, які визначені в заяві низки урядів країн ЄС з питань кліматично нейтральної енергетики), а також не визначати конкретних значень частки відновлювальних джерел енергії й атомної енергії в енергобалансі (конкретні значення повинні визначатися в документах, спрямованих на реалізацію Концепції та ґрунтуватися на оптимізаційному прогнозному моделюванні розвитку економіки і енергетики з урахуванням останніх досліджень, а також всіх обмежень і факторів, включаючи потребу в резервних потужностях

енергосистеми при значній частці відновлювальних джерел енергії, системах зберігання енергії, а також вартість утилізації відходів відновлювальних джерел енергії; параметри таких моделей мають бути відкритими для верифікації).

Вбачається, що циркулярна економіка вже зараз має великий потенціал для нових видів економічної діяльності та створення нових робочих місць. Однак, як зазначалося вище, світові трансформації відбуваються занадто повільно, не відповідають темпам економічного зростання, а прогрес не є широкомасштабним та рівномірним.

Впровадження комплексу заходів у рамках нових політик, спрямованих на збільшення частки циркулярної економіки, допоможе модернізувати економіку та отримати користь від її можливостей на внутрішніх і глобальних ринках. Ключовою метою нової політики повинно стати стимулювання розвитку провідних ринків збуту кліматично нейтральних циркулярних продуктів (circular products).

Особливо це стосується таких енергоємних галузей промисловості, як металургійна, хімічна та цементна, та ресурсномістких галузей, таких як текстиль, будівництво, електроніка та пластмаси, які є незамінними для світової економіки, оскільки забезпечують ключові ланцюги вартості. Відповідно, декарбонізація та модернізація цих секторів є важливою.

Це, в свою чергу, вимагатиме створення нових бізнес-моделей (заснованих на оренді та обміні товарами і послугами) та встановлення мінімальних вимог, щоб не допускати будівництва шкідливих виробництв.

Експертами консалтингової компанії Accenture розроблена класифікація з п'яти інноваційних бізнес-моделей, що реалізуються як окремо, так і спільно в рамках циркулярної економіки – циркулярні

поставки, відновлення ресурсів, платформи для обміну та спільного використання, продовження життєвого циклу продукції, продукт як послуга.

Циркулярні поставки (circular suppliers) – модель, в якій невідновлювальні (обмежені) ресурси замінюються на повністю відновлювані джерела. Базується на тривалих наукових дослідженнях і розробках, передбачає забезпечення ресурсами, які повністю переробляються або біологічно розкладаються. Такі ресурси становлять основу циркулярної системи виробництва і споживання. На сьогоднішній день лідерами в економіці з реалізації даної моделі виступають такі галузі, як автомобілебудування та енергетика. Таку циркулярну бізнес-модель використовують компанії Ford, Fairphone, 3D Hubs, Desso, Toyota, Cisco.

Відновлення ресурсів (resources recovery) – модель, яка будується на використанні технологічних інновацій з відновлення і повторного використання ресурсів, що забезпечує усунення їх втрат завдяки зниженню відходів та підвищенню рентабельності виробництва продукції від зворотних потоків. Дана модель є найбільш прийнятною для підприємств, як виробляють великі обсяги побічних продуктів, так і таких, які мають можливість ефективно відновлювати і переробляти відходи. Як приклад компаній, що використовують дану бізнес-модель, можна назвати Coca-Cola, Maersk, Michelin, Philips, Walt Disney World Resort.

Платформи для обміну і спільного використання (sharing platforms) – модель, яка передбачає обмін або спільне використання товарів або активів. Забезпечує просування платформ для взаємодії між користувачами продукту (окремими особами або організаціями), підвищуючи тим самим рівень його використання. Цікавим є для виробників, які мають низький коефіцієнт використання продукції

або недовикористані потужності. На даній бізнес-моделі заснована діяльність Patagonia, BlaBlaCar, Nearly New Car, BMW, Drivy, Daimler, Lyft.

Продовження життєвого циклу продукції (product life extension) – модель, яка дозволяє компаніям продовжити життєвий цикл використання своїх продуктів за рахунок ремонту, модернізації, реконструкції або відновлення. Більшою мірою підходить для виробників промислового обладнання, де нові моделі забезпечують незначне збільшення продуктивності в порівнянні з виробленими раніше. Даною бізнес-моделлю користуються компанії Bosch, Caterpillar, Volvo, Renault, Apple, BMA Ergonomics, Michelin.

Продукт як послуга (product as a service) – модель, в якій клієнти використовують продукцію шляхом «оренди» з оплатою за фактом використання. Виступає альтернативою купівлі продукту, надаючи його в користування, наприклад, через договір оренди, лізингу тощо. Бізнес-модель застосовується в таких компаніях, як Rolls-Royce, Mud Jeans, De Kledingbibliotheek.

Зазначені бізнес-моделі в тій чи іншій мірі поступово знаходять своє втілення і в нашій країні.

Важливим питанням, яке постає сьогодні, є забезпечення доступу до ресурсів необхідних для чистих технологій, цифрових, космічних та оборонних розробок шляхом диверсифікації поставок як з первинних, так і з вторинних джерел, що є однією з передумов для здійснення великого переходу до циркулярної економіки.

Розвиток таких цифрових технологій, як штучний інтелект (artificial intelligence), п'яте покоління мобільних мереж (5G), обчислення у «хмарі» (cloud computing) та на периферії (edge computing), інтернет речей (the internet of things) є одними з вирішальних факторів розвитку циркулярної економіки які, можуть

прискорити та максимально вплинути на політику боротьби зі змінами клімату та захистом навколишнього середовища. За допомогою цифровізації стають доступними нові можливості для дистанційного моніторингу забруднення повітря та води, оптимізації використання енергії та природних ресурсів.

**Висновки.** У найближчі десятиріччя політика та економіка мають бути спрямовані на те, щоб діяльність, яка сприяє перетворенню суспільства на більш екологічно чисте, ставала економічно вигідною. Сьогодні ми дуже часто спостерігаємо прямо протилежне: товари, що виробляються, невдовзі стають застарілими, псуються або виходять з моди. Споживачі охоче купують нові товари і вимагають більше. Такий підхід приносить прибутки бізнесу, але суспільство, в цілому, втрачає.

Найбільш очевидним кроком має стати заборона субсидування будь-якої діяльності, що є шкідливою для навколишнього середовища. Яскравим прикладом є субсидії на викопне паливо, у сферах транспорту, гірничодобувній промисловості, лісовому господарстві та рибальстві.

Скасування субсидій є одним з очевидних та важливих заходів, що мають бути вжиті. Не менш важливим є дозволити ринковим цінам відображати справжні витрати. На жаль, ринки самі по собі не пропонують екологічно чисті та ресурсозберігаючі товари та послуги. Тут потрібні як чисто економічні заходи у формі податків, тарифів та зборів, зелених сертифікатів, так і регуляторні заходи та стимулюючі державні закупівлі. Якщо стимулювати виробництво і споживання такої продукції, то в подальшому вона ставатиме конкурентною та потребуватиме меншої підтримки з боку уряду.

В Україні існують широкі можливості для трансформації домінуючої моделі лінійної економіки в екологічно і економічно

ефективну циркулярну модель. Так, потенціал для розвитку переробки, компостування з видобуванням енергії та добрив в Україні мають харчові і комунальні відходи. Реновація може розвиватися в автомобільній промисловості, секторі великої побутової техніки, авіаційної промисловості та військово-промислового комплексу. Однак діючі в країні економічні механізми все ще орієнтують підприємства на застосування застарілої лінійної моделі. Так, вартість захоронення відходів на полігонах і сьогодні все ще є більш привабливим в порівнянні з інвестуванням в превентивні заходи. Для якісного поліпшення ситуації необхідні серйозні зміни в сфері стимулювання інвестиційної активності в рамках переходу до принципів циркулярної економіки. Розвиток циркулярної економіки в Україні може дати не тільки позитивний екологічний ефект від скорочення звалищ і полігонів, але й економічний ефект від підвищення енерго- та ресурсної ефективності, а також соціальний ефект від створення додаткових робочих місць, отримання прибутку компаніями в нових галузях і видах діяльності. Таким чином, розвиток концепції циркулярної економіки, як і її практичне втілення, є важливим завданням і для науковців, і для підприємців, державних органів і українського суспільства в цілому.

#### ***Список використаних джерел:***

1. Kirchherr J. et al. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*. №127. P. 221-232.
2. Батова Н., Сачек П., Точицкая И. На пути к зеленому росту: окно возможностей циркулярной экономики. BEROC Green Economy Policy Paper Series. 2018. URL: [http://www.beroc.by/webroot/delivery/files/PP\\_GE\\_1.pdf](http://www.beroc.by/webroot/delivery/files/PP_GE_1.pdf)
3. Hoogzaad J., Bardout M. Looking beyond borders: the



circular economy pathway for pursuing 1.5°C. Policy analysis brief. Stanley Foundation. URL: <https://shiftingparadigms.nl/wp-content/uploads/2018/03/Policy-Brief-on-Circular-Economy-and-Climate.pdf>

4. The Circularity Gap Report, Circle Economy, January 2020. URL: <https://www.shiftingparadigms.nl/projects/the-circularity-gap-report/>

5. Schandl H., West J. Resource use and resource efficiency in the Asia-Pacific region. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimension*. 2010. №20 (4). P. 636-647.

6. Global Resources Outlook 2019. Fact Sheet. URL: <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook>

7. Global material flows and resource productivity 2016. Assessment report for the UNEP International Resource Panel.

8. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016. URL: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>

9. UN Environment Programme International Resource Panel, 2018, Global Material Flows Database

10. Global Resources Outlook 2019. Scenarios. URL: <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook>

11. Global Material Flows Database. URL: <https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database>

12. Mineral Resource Governance in the 21st Century. Gearing extractive industries towards sustainable development. URL: <https://www.resourcepanel.org/reports/mineral-resource-governance-21st-century>

13. Exposure of ecosystems to acidification, eutrophication and ozone, 27.11.2015. URL: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/exposure-of-ecosystems-to-acidification-3/assessment-1>

14. The Costs of Decarbonisation: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables, OECD NEA, 2019.

15. The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World, An Interdisciplinary MIT Study, 2018.