

ПРОКІП А.В.



**ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА**  
ЗАМІЩЕННЯ  
НЕВІДНОВЛЮВАНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ  
БІОЛОГІЧНО ВІДНОВЛЮВАНИМИ

ПРОКІП А.В.

**ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА  
ЗАМІЩЕННЯ  
НЕВІДНОВЛЮВАНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ  
БІОЛОГІЧНО ВІДНОВЛЮВАНИМИ**

монографія

**ЛЬВІВ -2010**

УДК 504.062:330.15.003.12

*Рецензенти:*

**Стадницький Ю. І.** – доктор економічних наук, професор, проректор з навчально-методичної роботи Хмельницького кооперативного торговельно-економічного інституту, м. Хмельницький;

**Андрійчук І. В.** – кандидат економічних наук, доцент кафедри «Економіки підприємства» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, м. Івано-Франківськ

**Прокіп А.В.** Еколого-економічна оцінка заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними: монографія/ А.В. Прокіп. – Львів: ЗУКЦ, 2010. – 212 с.

ISBN 978-966-1518-65-9

У монографії досліджуються теоретичні та науково-прикладні аспекти оцінки еколого-економічної ефективності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними, обґрунтовуються методологічні підходи для здійснення такої оцінки, формалізуються критерії та розробляються методичні підходи еколого-економічної оцінки доцільності заміщення. Аналізується вплив використання відновлюваних енергоресурсів на національну безпеку. Розглядається зарубіжний досвід та вітчизняний потенціал використання біологічно відновлюваних енергоресурсів.

Видання призначене для студентів, магістрів, аспірантів та науковців, які цікавляться проблемами економічного оцінювання екологічних ефектів, пов'язаних із використанням паливних енергоресурсів.

УДК 504.062:330.15.003.12

ISBN 978-966-1518-65-9

© Прокіп А.В., 2010

© ЗУКЦ, 2010

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ I. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАМІЩЕННЯ НЕВІДНОВЛЮВАНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ БІОЛОГІЧНО ВІДНОВЛЮВАНИМИ .....	7
1.1.Методологічні основи еколого-економічної оцінки доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними.....	7
1.2.Передумови заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними .....	34
1.3.Критерії прийняття рішень про заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними.....	64
Висновки до першого розділу.....	77
РОЗДІЛ II. АНАЛІЗ СТАНУ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО ВІДНОВЛЮВАНИХ РЕСУРСІВ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЦІЛЯХ.....	80
2.1.Характеристика біологічно відновлюваних енергоресурсів .....	80
2.2.Використання біологічно відновлюваних енергоресурсів в Україні.....	108
2.3.Зарубіжний досвід використання біологічно відновлюваних енергоресурсів.....	124
Висновки до другого розділу .....	137
РОЗДІЛ III. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГО- ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО ВІДНОВЛЮВАНИХ РЕСУРСІВ .....	140
3.1. Оцінка доцільності заміщення енергоресурсів в умовах малої енергогенерації .....	141
3.2. Оцінка доцільності заміщення енергоресурсів в умовах великої енергогенерації.....	147
3.3. Здійснення оцінки з використанням відповідно до концепції	

компенсаторного заміщення .....	153
3.4. Оцінка ефекту заміщення енергоресурсів в сфері енергетичної залежності країни .....	157
3.5. Методика оцінки економічної ефективності енергетичного використання деревинних відходів на деревообробному підприємстві .....	162
3.6. Оцінка ефективності використання деревинних відходів.....	172
Висновки до третього розділу .....	190
ВИСНОВКИ.....	192
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	195

## ВСТУП

Рівень забезпеченості енергетичними ресурсами суттєво впливає на стан соціально-економічного розвитку країни. Динамічний економічний розвиток, погіршення якості навколишнього природного середовища і значне виснаження невідновлюваних енергоресурсів, неоднорідність їхнього територіального розміщення та негативний вплив енергетики на природне довкілля зумовили актуальність пошуку та використання альтернативних енергоресурсів, зокрема, заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними.

Лідерами з використання біологічно відновлюваних ресурсів є Фінляндія – 21 % від сукупного енергоспоживання, Швеція – 20 %, Португалія – 13 %, Австрія – 14 %, Данія – 13 %. У середньому розвинені європейські країни покривають 6 % енергетичних потреб за рахунок біологічно відновлюваних ресурсів.

В Україні рівень використання відновлюваних ресурсів становить не більше 7,2 %, а біологічно відновлюваних ресурсів – 0,5 %. Лівова частка вітчизняного енергоспоживання покривається за рахунок імпорту невідновлюваних енергоресурсів, що зумовлює високий рівень енергетичної залежності країни. Зважаючи на рівень розвитку аграрного сектора і промислової переробки деревини та значний потенціал територій, які можуть бути залісненими (плантаційним вирощуванням деревини, зокрема), Україна може суттєво розширити енергетичне використання біологічно відновлюваних ресурсів, і відповідно підвищити рівень енергетичної безпеки та знизити негативний антропогенний вплив на природне середовище.

Більшість наукових досліджень, пов'язаних із використанням невідновлюваних та відновлюваних ресурсів, стосуються особливостей їхнього використання, а не оцінки доцільності заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними. Вагомий внесок у дослідження проблеми використання невідновлюваних та відновлюваних ресурсів зробили

вітчизняні та зарубіжні вчені: А.А. Арбатов, Т.М. Афонченкова, О.Є. Баганов, Ю.С. Васильєв, В.М. Герасимович, А.А. Голуб, Б.М. Данилишин, І.З. Каганович, Є.Б. Струкова, Дж. Твайделл (*J. Twidell*), А. Уейр (*A. Weir*), Н.І. Хрисанов та інші.

Проблеми ефективності використання вітрової, геотермальної та сонячної енергії досліджували В.М. Будзяк, Б.А. Костюковський, О.В. Кушнірецька, Т.П. Нечаєва, В.В. Струнін, О.І. Руда.

Значний внесок у вирішення проблеми використання біологічно відновлюваних ресурсів зробили І.В. Андрійчук, Г.Г. Гелетуха, В.І. Головов, В.А. Горбунов, Т.А. Железна, А.А. Долинський, М.М. Жовмір, О.Р. Заборскі (*O.R. Zaborsky*), Г.М. Калетнік, І.Ф. Коперін, С.А. Литвиненко, Т.С. Лобовіков, А.П. Петров, В.К. Малишкіна, М.Е. Матвеев, В.І. Найдьонов, М.О. Поляков, Т.А. Сапожнікова, І.М. Синякевич, С. Соуфер (*S. Sofer*), С.М. Спринцин, Ю.І. Стадницький, Ю.Ю. Туниця та інші.

Питання ефективного взаємозаміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними в межах виробничої функції було предметом розгляду у працях П. Дасгупта (*P. Dasgupta*) та Г. Хіл (*G. Heal*).

Незважаючи на те, що питання використання відновлюваних енергоресурсів доволі широко розглянуто в науковій літературі, проблемі ефективного заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними та прикладним аспектам оцінки доцільності такого заміщення приділено недостатньо уваги.

Ефективне заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними (зокрема, біологічно відновлюваними), потребує удосконалення теоретико-методологічної бази, формалізації критеріїв прийняття рішень про заміщення ресурсів, а також методик, які б враховували особливості використання енергоресурсів та його вплив на інші сфери господарської діяльності та життя людини. За сучасних умов ці проблеми є особливо актуальними для України.

# РОЗДІЛ I

## ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАМІЩЕННЯ НЕВІДНОВЛЮВАНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ БІОЛОГІЧНО ВІДНОВЛЮВАНИМИ

### 1.1. Методологічні основи еколого-економічної оцінки доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними

XX століття характеризувалося різким зростанням чисельності населення та стрімким промисловим розвитком. Це, своєю чергою, сприяло зростанню енергоспоживання та використання невідновлюваних енергоресурсів, масове споживання яких негативно вплинуло на довкілля. Як наслідок, постала загроза швидкого вичерпання невідновлюваних енергоресурсів та деградації багатьох компонентів природного життєвого середовища (ПЖС). Таким чином, виникла потреба пошуку надійніших та екологічно безпечніших енергоресурсів для забезпечення балансу в природній та господарській системах. Саме таким вимогам відповідають відновлювані енергоресурси.

Зрозуміло, що науковий розвиток, спрямований на пошук та використання відновлюваних ресурсів у певній країні чи регіоні, зумовлюється забезпеченістю невідновлюваними енергоресурсами. Зокрема в СРСР, зважаючи на одні з найбільших запасів у світі газу, вугілля та нафти, проблема пошуку нових енергоресурсів не була настільки нагальною, як в європейських країнах, а проблеми захисту довкілля були на другорядному плані порівняно з потребами нарощування промислового виробництва. Відповідно і поступ науки в цьому напрямку не був інтенсивним. Увагу науковців СРСР було звернено до використання невідновлюваних енергоресурсів лише в середині 1980-х років, у той час коли, європейські країни вже активно використовували відновлювану енергетику. Сьогодні в Україні, за умов зростання цін на невідновлювані енергоресурси та недостатніх запасів власних ресурсів, дедалі більше уваги приділяється



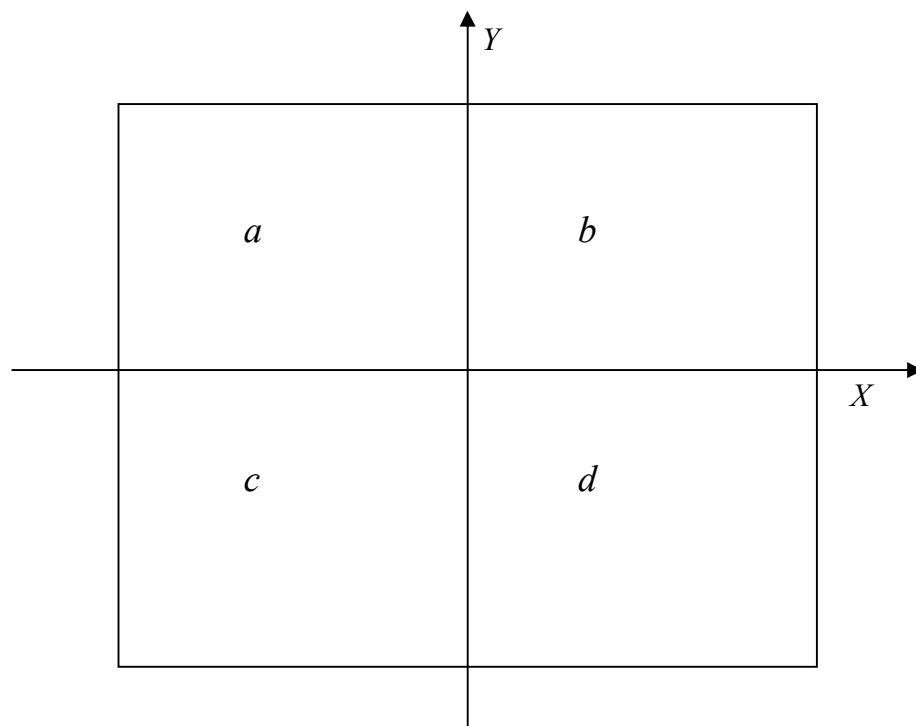
проблемі використання відновлюваних енергоресурсів. Проте науковці здебільшого досліджують особливості використання відновлюваних енергоресурсів та аналізують їх потенціал, а питанню оцінки доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними приділено недостатньо уваги.

Очевидно, що еколого-економічна оцінка заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними, як і будь-якої господарської діяльності, повинна базуватися на порівнянні змін у природній та господарській системах, зумовлених енергетичним використанням цих ресурсів. Тому інструменти врахування змін в екологічній та економічній системах для оцінки доцільності заміщення енергоресурсів варто розглянути детальніше.

Здійснення еколого-економічної оцінки заміщення енергоресурсів можна виконувати ординальним та кардинальним шляхами. Терміни кардинальна та ординальна оцінка широко використовуються в мікроекономіці для оцінки корисності від споживання благ. Таку ж термінологію можемо використати для оцінки доцільності заміщення енергоресурсів. Виконання ординальної оцінки передбачає порівняння використання обох груп ресурсів без здійснення кількісних оцінок усіх ефектів, які виникають. Таким чином, ординальна оцінка передбачає лише визначення більш ефективного варіанта використання ресурсів без числової конкретики порівняння. Здійснити ординальну оцінку заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними можна, наприклад, за допомогою схеми інтерпретації еколого-економічних ефектів, яку запропонував Ю.Ю. Туниця [1](рис.1.1.).

На рис.1.1.  $X$  та  $Y$  позначають шкалу екологічних та економічних ефектів. Області  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  показують різні варіанти з позитивними та негативними екологічними та економічними ефектами. Таким чином, визначаючи позитивні та негативні економічні та екологічні ефекти, які виникають внаслідок заміщення ресурсів, можна приймати рішення про використання того чи іншого енергоресурсу.

Здійснення кардинальної оцінки заміщення енергоресурсів передбачає кількісну оцінку ефектів, які виникають внаслідок такого заміщення. Кардинальна еколого-економічна оцінка потребує визначення ефектів, які виникають у природній та господарській системах, та їхню числову оцінку. Зрозуміло, що зростання кількості ефектів, які враховуються у процесі здійснення оцінки, ускладнює процес оцінювання. Це, своєю чергою, зумовлює потребу у поділі ефектів на основні, які власне і повинні бути враховані, та другорядні – ті, якими можна знехтувати під час остаточної оцінки.



**Рис.1.1. Графічна інтерпретація еколого-економічного ефекту за Ю.Ю. Туницею**  
Джерело: [1]

Використання ординальної оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними порівняно з кардинальною є виправданим, зважаючи на думку про неможливість здійснення безпохибкової кардинальної оцінки.

Як інструмент кардинальної оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними, може бути метод оцінки впливів на довкілля (*Environmental Impact Assessment, EIA*). Цей метод враховує всі зміни, які стаються в природному середовищі, а також у соціо-економічній

системі. За визначенням міжнародної асоціації з оцінки впливів (*International Association for Impact Assessment, IAIA*), метод аналізу впливів на довкілля – це процес встановлення, прогнозування, оцінки та послаблення біофізичних, соціальних та інших вагомих впливів від впровадження прийнятих рішень [2].

У розвинених країнах рекомендації щодо здійснення оцінки впливів на довкілля ввійшли у законодавчі документи. Зокрема в ЄС, методика здійснення аналізу визначається директивою із здійснення оцінки впливів на довкілля (директива 85/337/ЕЕС [3]). У США рекомендації з оцінки впливів на довкілля викладено в Національному акті щодо екологічної політики, а також у низці прецедентних судових рішень.

Методика здійснення оцінки впливів на довкілля передбачає визначення та врахування усіх змін, які відбудуться у довкіллі (див. напр. [4,5]). Здійснюючи еколого-економічну оцінку заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними з використанням методу оцінки впливів на довкілля, потрібно визначити основні впливи використання цих ресурсів на довкілля. Застосування методу оцінки впливів на довкілля передбачає визначення змін, які відбудуться в компонентах довкілля внаслідок заміщення ресурсів, а також економічну оцінку таких змін.

Розглянемо використання методики оцінки впливів на довкілля для оцінки заміщення енергоресурсів на конкретних їх видах. Встановлення негативних впливів на довкілля від використання невідновлюваних енергоресурсів з'ясуємо на прикладі вугілля. Як біологічно відновлюваний енергоресурс оберемо деревинні відходи.

Видобування та використання вугілля негативно впливають на всі компоненти довкілля. У [6] автори визначають характерні для України негативні впливи видобутку вугілля на стан довкілля, а саме:

- ✓ зміни ландшафту, зумовлені розробленням кар'єрів;
- ✓ механічне пошкодження родючого шару ґрунту;

- ✓ порушення режиму, виснаження запасів та забруднення підземних вод, а також засолення верхніх горизонтів підземних вод;
- ✓ зміна складу поверхневих вод;
- ✓ зміна хімічного складу і якості атмосферного повітря, внаслідок здійснення вибухових робіт та розвіювання відвалів.

Обґрунтування негативного впливу вугільних розроблень потребує також якісної оцінки таких впливів. У табл.1.1 наведено порівняльну оцінку впливу гірничодобувної промисловості на довкілля, запропоновану в [6].

Таблиця 1.1

### Порівняльна оцінка впливу видобувної промисловості на довкілля

Компонент довкілля	Спосіб видобутку корисної копалини		
	відкрито	підземно	геотехнологічно
<b>1. Земна поверхня</b>			
- ґрунтовий покрив	<i>Сл</i>	<i>Ср</i>	<i>Н</i>
- ландшафт	<i>Сл</i>	<i>Ср</i>	<i>Н</i>
- флора та фауна	<i>Сл</i>	<i>Н</i>	<i>0</i>
<b>2. Надра</b>	<i>Сл</i>	<i>Сл</i>	<i>Сл</i>
<b>3. Водний басейн</b>			
- поверхневі води	<i>Сл</i>	<i>Ср</i>	<i>Ср</i>
- підземні води	<i>Сл</i>	<i>Сл</i>	<i>Сл</i>
<b>4. Повітряний басейн</b>	<i>Сл</i>	<i>0</i>	<i>Н</i>

Позначення: *0* – відсутність впливу; *Н* – незначний вплив; *Ср* – вплив середньої сили; *Сл* – сильний вплив.

Джерело: [6]

Здійснюючи еколого-економічну оцінку заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними (наприклад, деревинними відходами та рослинними відходами сільського господарства), з використанням методу оцінки впливів на довкілля, потрібно чітко визначити впливи від використання цих ресурсів на природне життєве середовище та тривалість цих впливів. Визначення тривалості впливів передбачає розмежування ефектів, які виникають в коротко- та довгостроковому періодах. З поняттям тривалості вияву ефекту пов'язане поняття горизонту його оцінки – періоду часу, протягом якого варто оцінювати ці ефекти.

У табл.1.2 наведено основні впливи від використання невідновлюваних енергоресурсів (на прикладі вугілля) та біологічно відновлюваних (на прикладі деревинних відходів) на компоненти природного життєвого

середовища, а також горизонти оцінки цих впливів. Інформацію в таблиці зібрано на основі даних про вплив ресурсів, наведених у [6-8]. Горизонт впливу співмірний із періодом, протягом якого здійснюється дисконтування ефектів, оскільки пов'язаний з часовими границями виникнення ефектів.

Таблиця 1.2

**Вплив використання вугілля та вторинних деревинних ресурсів на ПЖС**

<b>Елемент ПЖС/ Горизонт оцінки</b>	<b>Невідновлювані енергоресурси (вугілля)</b>	<b>Вторинні деревинні енергоресурси</b>
<b>Атмосферне повітря</b>	Викиди пилу від добування та результатів горіння в повітря	Відбуваються викиди продуктів горіння в атмосферу
<i>Горизонт оцінки</i>	У масштабі конкретного періоду (короткотерміновий період); у масштабі загальної оцінки (довготерміновий період)	
<b>Земельні ресурси</b>	Відчуження земель при розробці та використанні родовищ	Негативний вплив відсутній
<i>Горизонт оцінки</i>	У масштабі загальної оцінки	
<b>Надра</b>	Зниження якості та кількості гірських копалин; зниження напруженості гірських порід	Негативний вплив відсутній
<i>Горизонт оцінки</i>	У масштабі загальної оцінки	
<b>Водні ресурси</b>	Засолення вод, зниження рівня тиску підземних вод, забруднення поверхневих вод викидами від розроблення та спалювання енергоресурсів	Незначне забруднення поверхневих вод внаслідок опадів речовин, викинути в атмосферне повітря
<i>Горизонт оцінки</i>	У масштабі конкретного періоду; у масштабі загальної оцінки	
<b>Флора</b>	Можливе вирубування лісів; зниження продуктивності сільськогосподарських культур;	Вплив незначний
<i>Горизонт оцінки</i>	У масштабі загальної оцінки	
<b>Фауна</b>	Можливе зниження чисельності диких тварин, внаслідок погіршення умов існування фауни і флори (забруднення атмосферного повітря та зниження якості водних ресурсів); міграція диких тварин	Можливий незначний негативний вплив внаслідок забруднення атмосферного повітря та зниження якості водних ресурсів
<i>Горизонт оцінки</i>	У масштабі конкретного періоду; у масштабі загальної оцінки	

*Джерело: власна розробка на основі [6-8]*

Наприклад, якщо розглядаються ефекти від використання двох ресурсів, часові моменти виникнення яких збігаються, то оцінку можна здійснювати у межах будь-якого існування цих впливів, тобто в масштабі конкретного

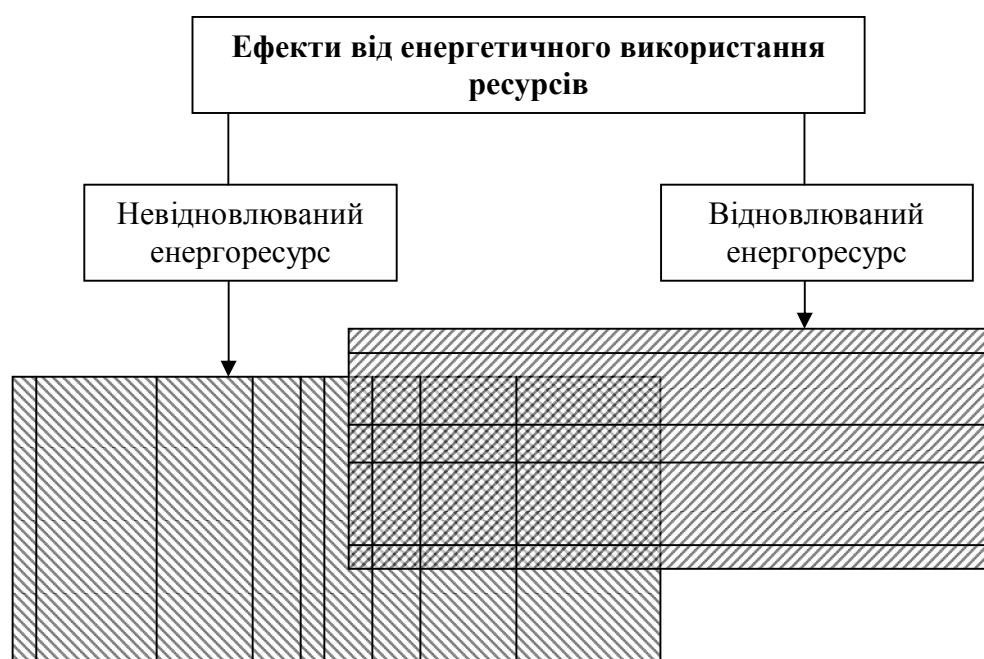
періоду. У цьому випадку, розглядаючи ефекти в конкретній сфері ПЖС, немає потреби їх дисконтування. Водночас, якщо часові моменти не збігаються або ж наявні ефекти від використання лише одного з ресурсів, то для здійснення оцінки варто брати весь період, тобто в масштабах загальної оцінки, а, відповідно, потрібно дисконтувати ефекти протягом періоду, в якому вони виникають.

З табл. 1.2 видно, що енергетичне використання вторинної деревини негативно впливає на стан атмосферного повітря та може мати негативний вплив на водні ресурси. Водночас використання невідновлюваних енергоресурсів негативно впливає на стан атмосферного повітря, водні ресурси, фауну та флору, є причиною відчуження земель та знижує якість та кількість викопного ресурсу. Таким чином за критеріями впливу на атмосферне повітря та водні ресурси, вище наведені невідновлювані та біологічно відновлювані ресурси можуть бути порівнювані у короткотерміновому періоді. Водночас, при врахуванні решти впливів на природне життєве середовище від використання невідновлюваних енергоресурсів (зокрема відчуження земель) порівняння можливе лише в масштабах довготермінового періоду. Причиною цього є те, що тривалість розроблення та використання родовищ викопних енергоресурсів сягає кількох десятків років. А відповідно і негативні впливи на природне життєве середовище варто брати за увесь період. Саме із цим пов'язаний горизонт оцінки цих енергоресурсів, вказаний у табл.1.2.

Тож беручи до уваги зазначене вище, зрозуміло, що для адекватної оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними, таку оцінку варто проводити в довгостроковому періоді – з урахуванням всіх впливів у масштабі загальної оцінки. Очевидно, що при цьому матиме місце певна похибка. Наприклад, для оцінки ефективності заміщення використання певного невідновлюваного ресурсу, отриманого з конкретного родовища, біологічно відновлюваними ресурсами потрібно оцінювати ефекти від використання біологічно відновлюваних ресурсів за

весь період, протягом якого використовується родовище, за умови, що негативні наслідки від використання цього родовища не матимуть місця після припинення його розроблення. У разі ж, якщо якісь негативні впливи на довкілля не будуть ліквідовані після припинення використання родовища (наприклад, не здійснено рекультивацію земель), потрібно враховувати ці ефекти для „безмежно тривалого” періоду. Водночас, враховуючи, що дисконтування ефектів, які виникають в далекому майбутньому, зводить їх фактично до нуля, можна обмежитися конкретним горизонтом оцінки.

Як видно з вище описаного, оцінюючи доцільність заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними, основна увага приділяється економічним та екологічним ефектам, які виникають у процесі використання кожного енергоресурсу. Але кількість ефектів, які береться до уваги, часто є доволі велика, що може значно ускладнити процес оцінювання. Зрозуміло, що деякими незначними ефектами можна знехтувати, тим самим спростивши процес оцінювання. Важливим питанням, яке постає при цьому, є значущість похибки та можливість нехтування нею. Схематично наше бачення співвідношення ефектів від заміщення енергоресурсів та принцип їх врахування під час здійснення оцінки представлено на рис. 1.2.



**Рис. 1.2. Співвідношення ефектів під час заміщення енергоресурсів**

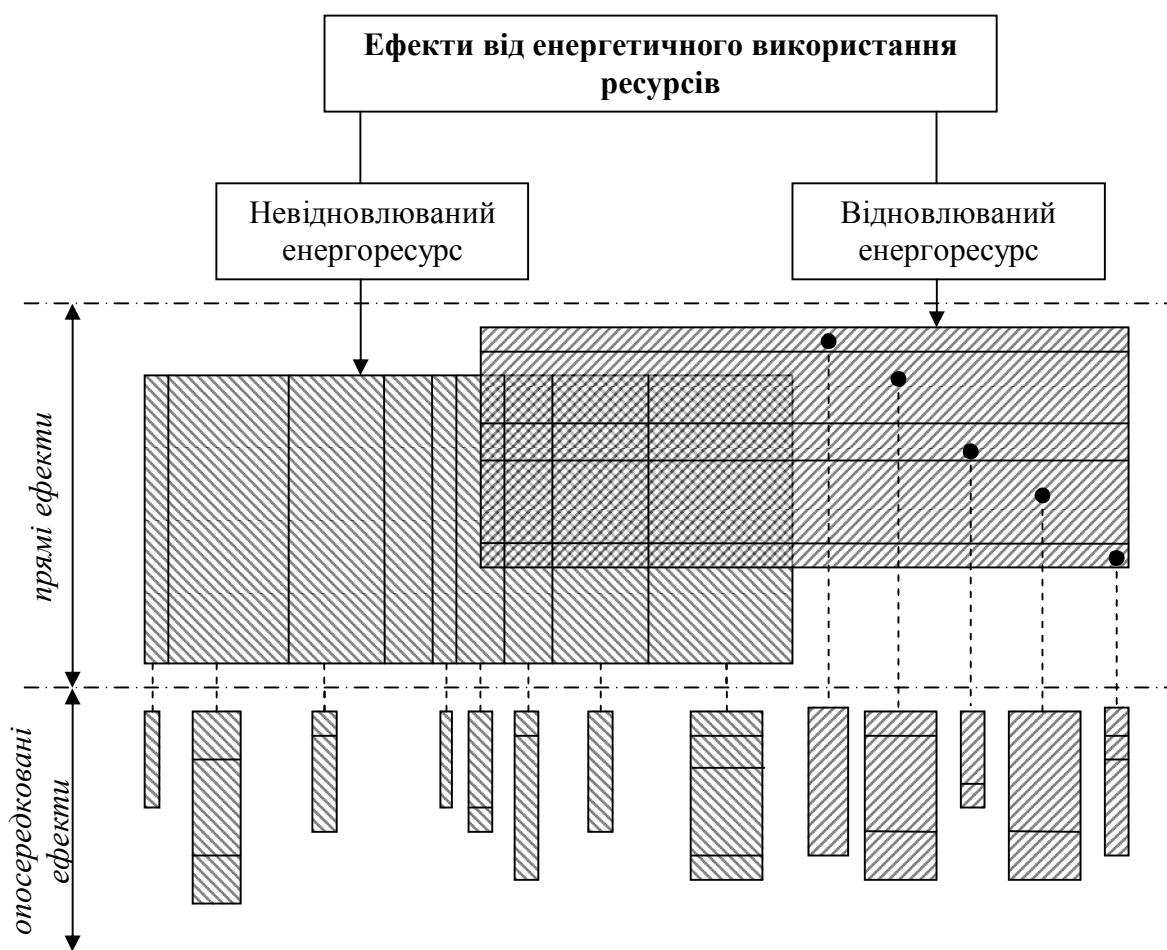
*Джерело: власна розробка*

Стрілками зображено виникнення ефектів від використання невідновлюваного та відновлюваного ресурсів. Ефекти, які виникають від використання невідновлюваного енергоресурсу, відображено прямокутником з штрихуванням із від'ємним нахилом – ▨; а відновлюваного – прямокутником із штрихуванням з додатним нахилом – ▩. Область, яка виникає внаслідок перекриття двох прямокутників – ▧ не розглядається (такі ефекти, які виникають під час використання як невідновлюваного, так і відновлюваного енергоресурсу), а області, які не перекриваються, власне і є ефектом від заміщення енергоресурсів. Кожен із прямокутників (ефекти від використання енергоресурсів) розділені на області, які позначають сукупність ефектів, що власне і становлять загальний ефект від використання енергоресурсу. Площа кожної області зумовлює внесок певного ефекту в загальний ефект від використання енергоресурсів. Найбільші області власне і позначають основні ефекти, а найменші – другорядні.

Продовжуючи тему поділу ефектів, зумовлених використанням енергоресурсів на першочергові та другорядні, зауважимо, що здійснення кардинальної оцінки потребує чіткого відокремлення та класифікації ефектів, що виникають, з метою повноти їх врахування та оцінки їхньої значущості. Економічні ефекти, що виникають внаслідок використання енергоресурсів, можна поділити на прямі та опосередковані. Під прямим економічним ефектом використання будь-якого енергоресурсу розуміється дохід від отримання перетвореної енергії (енергія фотосинтезу, акумульована в енергоресурсах, перетворюється в інший вид енергії – електричну, теплову тощо). Опосередковані економічні ефекти від використання енергоресурсів є наслідком мультиплікативного прямого економічного ефекту від розроблення енергоресурсів. До опосередкованих економічних ефектів від використання енергоресурсів можна, наприклад, віднести вигоди отримувані робочою силою, що залучена до процесу розроблення та використання цих енергоресурсів. Наше бачення прямих та опосередкованих ефектів від заміщення енергоресурсів схематично представлено на рис.1.3.



Здійснюючи еколого-економічну оцінку заміщення енергоресурсів, порівняння екологічних ефектів від використання ресурсів доцільно проводити у відношенні на одиницю економічного ефекту, який виникає. При цьому важливе значення має оцінка опосередкованих економічних ефектів. Для здійснення такої оцінки доцільно припустити рівність опосередкованих економічних ефектів, що виникають внаслідок використання невідновлюваних та біологічно відновлюваних енергоресурсів, а у випадку неможливості такого припущення, потрібно додатково враховувати зміну опосередкованих ефектів.



**Рис. 1.3. Прямі та опосередковані ефекти, які виникають внаслідок заміщення енергоресурсів**

*Джерело: власна розробка*

Для здійснення еколого-економічної оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними доцільно прийняти положення про рівність опосередкованих економічних ефектів від використання цих енергоресурсів. Прирівнявши прямий економічний ефект використання

кожного з видів енергоресурсів та прийнявши гіпотезу про рівність опосередкованих ефектів, еколого-економічний ефект заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними можна проводити, прирівнюючи впливи використання енергоресурсів на довкілля в розрахунку на одиницю енергії, що може бути отримана із них.

Звертаючись до питання розподілу екологічних ефектів від використання енергоресурсів на першочергові та другорядні, В.С. Вішаренко при використанні енергоресурсів визначає основні екологічні збитки від використання енергоресурсів та розподіляє їх за етапом виникнення. Науковець пропонує визначати збитки від отримання енергії наступним чином [9]:

$$Y_E = Y_D + Y_T + Y_B, \quad (1.1)$$

де  $Y_E$  – збитки, завдані довкіллю від використання енергоресурсу;

$Y_D$  – збитки, завдані довкіллю в процесі видобутку енергоресурсу;

$Y_T$  – збитки, завдані довкіллю в процесі транспортування енергоресурсу;

$Y_B$  – збитки, завдані довкіллю в процесі отримання енергії.

У випадку, якщо в процесі використання енергоресурсів (добування, транспортування та енергогенерація) основна частка негативного впливу на довкілля припадає саме на безпосереднє використання енергоресурсу (енергогенерацію), порівнювати еколого-економічну ефективність використання ресурсів можна шляхом порівняння відносних екологічних збитків на одиницю економічного ефекту лише в частині безпосереднього використання енергоресурсу. У разі використання викопних енергоресурсів, енергогенерація відбувається шляхом їх спалювання, а відповідно забруднюється атмосферне повітря. У цьому випадку саме забруднення атмосферного повітря становить значну частку негативного впливу на довкілля від використання енергоресурсів та основну частину шкоди від їхнього поточного використання. Таким чином, одним із аспектів порівняння використання біологічно відновлюваних та невідновлюваних паливних енергоресурсів може бути оцінка екологічності цих енергоресурсів,

здійснювана шляхом порівняння шкідливості викидів в атмосферне повітря від їх використання.

Саме такий підхід обґрунтовано в [10]. Автори пропонують визначати показник загальної шкідливості палива таким чином:

$$P = \sum P_i, \quad (1.2)$$

де  $P_i$  –  $i$ -й питомий показник шкідливості, який характеризує питому кількість шкідливої речовини та його відносну токсичність.

При цьому автори поділяють шкідливі речовини, що викидаються в процесі використання палив, на три групи [10]. До першої відносять ті речовини, наявність яких можна точно визначити в залежності від виду палива та незалежно, а їх обсяги залежать від технології спалювання палива. Це, зокрема, оксиди сірки та зола.

До другої групи відносять шкідливі домішки, утворення яких залежить не лише від складу палива, але й значною мірою від масштабів, технології та режимів спалювання палив. До цієї групи автори відносять оксиди азоту та вуглецю, а також продукти неповного згорання, в тому числі сірководень [11].

До третьої групи автори відносять такі речовини, викид яких зумовлений не спалюванням палива, а іншими джерелами, наприклад запиленням вугільних складів та золовідвалів, виділенням парів вуглеводнів у системах зливу мазуту, викидами тонких фракцій вугільного пилу та інші. Автори зазначають, що обсяги викидів цих викидів незрівнянно малі порівняно з обсягами викидів першої та другої груп, а облік їх – процес надзвичайно важкий. Саме тому, заважаючи на не токсичність цих речовин, цими викидами забруднювальних речовин можна знехтувати [10].

Питомим показником шкідливості забруднювальних речовин може бути їхня гранично допустима концентрація (ГДК). Зокрема в [11], автори пропонують порівнювати екологічність палив таким чином:

$$R = \sum R_i = \sum M_i F_i \frac{ГДК_E}{ГДК_i}, \quad (1.3)$$

де  $M_i$  – питомий масовий викид речовини, в тоннах у.п. (умовного палива);

$F_i$  – безрозмірний коефіцієнт, який враховує швидкість осідання домішок;

$ГДК_E$ ,  $ГДК_i$  – гранично допустимі концентрації відповідно еталонної речовини, до якої зводиться шкідливість палива, та інших речовин, мг/м<sup>3</sup>.

Як еталонну речовину, автори беруть нетоксичний пил з ГДК, що дорівнює 0,5 мг/м<sup>3</sup>, до якої, наприклад, можна віднести золу з вмістом діоксиду кремнію не більше ніж 20 %.

Підходи для порівняння екологічної шкідливості палива, виражені у формулах (1.2) та (1.3) є відображенням одного підходу оцінки, за яким визначається рівень шкідливості викидів від безпосереднього використання палива. Підхід, запропонований в [11] (формула (1.3)) основний акцент робить на вплив забруднювальних речовин на здоров'я людей, адже гранично допустима концентрація є тим обсягом шкідливих речовин, який не шкодить організму людини. За визначенням М.Ф. Реймерса, гранично допустима концентрація – це такий вміст шкідливої речовини в довкіллі, коли за постійного контакту або впливу протягом певного проміжку часу практично не позначається на здоров'ї людини і не спричинює несприятливих наслідків у її потомства [12].

Таким чином, порівнюючи два види палива, здійснювати екологічно оцінку їх заміщення можна, виходячи з обсягів забруднень, які виникають внаслідок їхнього використання. Водночас, у науковій літературі висловлено також і скептичні думки з приводу можливості використання показників ГДК для визначення рівня шкідливості різних речовин (див. напр. [13,14]). При цьому основний акцент робиться на різний рівень стійкості екосистем до забрудників.

Звісно, такі підходи зручні для порівняння рівня екологічності палив, але вони не завжди можуть бути використані повноцінно для точного порівняння екологічних ефектів.

Негативні зміни довкілля, зокрема спричинені використанням енергоресурсів, безумовно мають безпосередній вплив на здоров'я населення. У науковій літературі висвітлюється чимало досліджень, присвячених впливу якості довкілля на стан здоров'я населення та можливості оцінки екологічних ефектів через зміну стану здоров'я населення. О.Ф. Балацький зауважує, що людина посідає центральне місце в господарській та природній системі, а тому важливо оцінювати саме вплив забруднень через призму змін якості життя людини [15].

З одного боку, порівняння екологічності різних видів палива, що базується на використанні показників викидів від використання енергоресурсу та величин гранично допустимих концентрацій є виправданим, адже рівень здоров'я населення є певним індикатором якості довкілля. З іншого боку, в такому методі порівняння є низка вад.

Насамперед, залежність між обсягами викидів у довкілля та станом здоров'я населення не є лінійною, а відповідно, просте порівняння обсягів забруднень від використання двох енергоресурсів не буде адекватно відображати екологічний ефект від їхнього використання.

Другою вадою порівняння енергоресурсів безпосереднім відношенням обсягів забруднення від їхнього використання, є заниження еколого-економічного ефекту. Так, еколого-економічний ефект у частині заміщення енергоресурсів охоплює не лише зміну рівня здоров'я населення, але й зміну народогосподарського ефекту, пов'язану з цією зміною. Відповідно, еколого-економічний ефект, розрахований таким чином, теж буде заниженим.

Вирішенням цієї проблеми могла б бути можливість прогнозування рівня захворюваності та смертності населення залежно від обсягів забруднення довкілля. Зрозуміло, що заміщення енергоресурсів з різними рівнями викидів призведе до зміни рівня забруднення довкілля, що матиме вплив на здоров'я населення. Таким чином, відповідно до поширеної на заході концепції „вартості життя” (*value of life* див. напр. [16-18]), яка передбачає визначення економічної вартості зниження ризику

захворюваності чи смертності населення, можна було б констатувати і про еколого-економічну оцінку заміщення ресурсів, яке призведе до певної гіпотетичної зміни здоров'я населення.

У науковій літературі точиться дискусія про можливість прогнозування рівня смертності та захворюваності населення від рівня забрудненості довкілля. Безумовно, стан довкілля чинить вагомий вплив на стан людського здоров'я, про що свідчать різноманітні дослідження (див. напр. [19-23]). Водночас спірним питанням є можливість прогнозування рівня суспільного здоров'я, виходячи з обсягів викидів забруднювальних речовин. О.Ф. Балацький приймає можливість прогнозування рівня захворюваності та смертності населення залежно від рівня забруднень (див. напр. [15,24]). Понад це, у науковій літературі наведено функціональні залежності між обсягами забруднень атмосферного повітря та рівнем захворюваності на різні хвороби (див., напр., про функціональні залежності захворювання органів дихання від обсягів забруднення атмосферного повітря [25, 26]).

Водночас, деякі науковці ставлять під сумнів можливість точного прогнозування рівнів захворюваності населення залежно від рівня забрудненості довкілля. Зокрема, Ю.І. Стадницький вважає, що „внаслідок складності, різноманітності та неподільності забрудненого повітря проблема забруднень відноситься до тих, які важко вивчати методом ізольованого аналізу” і наводячи низку вагомих прикладів, стверджує, що „дуже важко оцінити справжній збиток, який спричиняє здоров'ю людей забруднене повітря” [27, С. 97]. У [28] теж зауважено, що немає достатньої інформації про точну залежність між рівнями забруднення та станом здоров'я населення. Крім цього, існує великий часовий лаг (і при цьому для різних захворювань та забрудників) між викидами забрудників у довкілля та зміною здоров'я населення, що ускладнює, якщо не унеможлиблює визначення функціональних залежностей між обсягами забруднень та рівнем захворюваності та смертності населення.

Як видно, обидва підходи щодо еколого-економічної оцінки забруднення довкілля, які базуються на зв'язку рівня забруднення та стану здоров'я населення та могли б бути використані для еколого-економічної оцінки заміщення енергоресурсів, не є достатньо точними та не можуть повноправно претендувати на інструмент здійснення оцінки доцільності заміщення енергоресурсів. За цих умов, використання кардинальної екологічної чи еколого-економічної оцінки заміщення енергоресурсів утруднюються і зважаючи на неминучі похибки під час таких обчислень з'являються додаткові аргументи на користь використання ординальних оцінок.

Розглянувши підходи для оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними, які базуються на концепції економічної оцінки екологічних ефектів, можемо дійти важливого висновку. Зазначені підходи нерозривно пов'язані із двома групами труднощів, які значно ускладнюють процес здійснення такої оцінки, а також призводять до низки похибок, які знижують цінність отриманого результату. До цих труднощів відносять складність визначення та розмежування ефектів, які виникають у процесі заміщення, а також здійснення їх точної оцінки. Переважно це зумовлено неврахуванням частини ефектів та прийняттям різноманітних гіпотез при економічній оцінці врахованих ефектів (безпосередній економічній оцінці взятих до уваги ефектів).

Зауважимо, що такі висновки є далеко не новими. Наприклад, у [29, С.157] М.С. Гурфінкель та В.Є. Єлаховський, аналізуючи методологічні підходи оцінки ефективності природоохоронних заходів, зазначають, що „в практиці визначення збитку доводиться зіштовхуватися зі значною кількістю умовностей та наближень, які суттєво спотворюють кінцевий результат”. При цьому науковці наводять приклади недоліків у використанні методів, які базуються на оцінці ефектів від господарської та природоохоронної діяльності. Зокрема побудова моделей, які покликані спрогнозувати наслідки антропогенного забруднення, зумовленого певним видом господарської діяльності в конкретному регіоні, здебільшого не описуватиме тенденції, у

випадку провадження такої діяльності за інших, навіть подібних природних та господарських умов, а сам процес побудови таких моделей трудомісткий та ускладнений браком емпіричних даних [29, С. 157].

Подібні думки висловлює Ю.І. Стадницький у [30]. Висвітлюючи проблеми точної економічної оцінки екологічних збитків, науковець наголошує на неоднорідності екологічних збитків одного походження в часі та просторі, статичності математичних моделей, пов'язаних з розрахунком збитків, при загальній динамічності реальних параметрів цих моделей, існуванням часового лагу між виникненням антропогенного навантаження та реальним екологічним його проявом [30]. Усю глибинність проблеми оцінки екологічних ефектів автор описує, констатує „наскільки складні зв'язки окремих ланок суспільного виробництва, настільки і складний механізм, що формує економічний збиток” [30, С. 80].

Під час проведення еколого-економічної оцінки доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними з використанням підходів, які ґрунтуються на економічній оцінці екологічних збитків, виникають три групи труднощів, які часто утруднюють оцінку остаточного еколого-економічного результату, та прийняття певного рішення на основі цього результату. До таких труднощів ми можемо віднести:

- ✓ зведення екологічних та економічних оцінок до єдиних одиниць виміру;
- ✓ відсутність єдиної чіткої загальної методичної бази для здійснення такої оцінки;
- ✓ проблема розмежування екологічного та економічного ефектів (зумовлена діалектичним взаємозв'язком природної та господарської систем)

Проблема *зведення екологічного та економічного ефектів до єдиних одиниць виміру* полягає в тому, що іноді досить важко оцінити їх у єдиних одиницях виміру. Ю.Ю. Туниця зазначає, що екологічний ефект можна оцінювати в певних кількісних одиницях, зокрема у грошових [31]. Варто



зауважити, що оскільки усі матеріальні фонди, які є засобом виробництва, мають грошову вартість, то й економічну оцінку природних ресурсів варто здійснювати в грошовій формі [32], а відповідно і оцінку екологічних ефектів доцільно виконувати у грошовій формі. Звісно ж, використання натуральних вимірників для оцінки природних ресурсів та економічних ефектів є можливим, але в умовах товарно-грошових відносин (за яких саме гроші є універсальним вимірником, які дають змогу глибше та ґрунтовніше зіставляти економічне значення ресурсів) та за умов, коли цінність ресурсу визначається його дефіцитністю, використання грошового еквіваленту видається доволі аргументованим. Проте з іншого боку, іноді ціна ресурсу виступає не зовсім адекватним вимірником. Зокрема у випадках високої доступності ресурсу, за умови несформованості ринку даного ресурсу та водночас не високого попиту, його ціна може сформуватися на рівні, нижчому за величину витрат на відновлення ресурсу або альтернативної вартості використання ресурсу за інших територіальних та техніко-економічних умов використання.

Другою проблемою, яка виникає під час оцінки екологічного ефекту, є *відсутність єдиної чіткої загальної методичної бази*, відсутність конкретних рекомендацій для оцінки цього ефекту. Так, для здійснення еколого-економічної оцінки можна застосувати різні методики, які базуються на різних підходах. Однак певні методики можуть давати різні результати.

До цієї ж проблеми віднесемо і те, що еколого-економічну оцінку можна визначати для коротко- та довготермінового періоду, позаяк деякі зміни довкілля можуть відбуватися лише у довготерміновому періоді, а звідси постає проблема врахування зміни, що ставатимуться у довготерміновому періоді та чи можливо врахувати їх взагалі для певних конкретних варіантів оцінки. Існує проблема, що інколи досить важко спрогнозувати, які зміни в природній системі відбудуться у довготерміновому періоді, спричинені точковим короткотривалим антропогенним впливом. Іншим питанням у контексті цієї проблеми, є те, що певна людська діяльність, екологічний

результат якої оцінюється, самотійно не призведе до певних змін довкілля у довготерміновому періоді, але в комплексі з антропогенними впливами (тими, що не беруться до уваги в рамках оцінки певного екологічного ефекту) можуть мати певні наслідки у довготерміновому періоді.

*Проблема розмежування екологічного та економічного ефектів.* Економічний ефект може містити грошовий вираз частини екологічного ефекту, що може призвести до похибок у кінцевому результаті. Наведемо приклад, що проілюструє цей випадок. Нехай, у процесі господарської діяльності підприємство скидало речовини-забруднювачі в річку. Таким чином мав місце певний негативний екологічний ефект. З одного боку, економічним ефектом діяльності підприємств буде чистий дохід, отриманий від його діяльності. Водночас під час розрахунку чистого доходу було враховано відрахування до бюджету за викиди забруднювачів, а плата за забруднення довкілля, певною мірою відображає екологічний ефект. Тобто економічний ефект у грошовому виразі охоплює частину екологічного ефекту в грошовому виразі. Водночас плата за забруднення не є повною величиною екологічного ефекту від забруднення. Все це може призвести до подвійного рахунку або ж неврахування певних витрат.

Зважаючи на всі описані вище труднощі економічної оцінки екологічних збитків, доцільніше використовувати такі методи еколого-економічної оцінки заміщення енергоресурсів, які б були позбавлені необхідності числової оцінки екологічних ефектів, які виникають внаслідок заміщення. За таких умов, до методів, які могли б бути використані для оцінки заміщення енергоресурсів, можна віднести такі, які базуються на концепції економічної оцінки запобігання забрудненню, яке виникає в процесі використання різних енергоресурсів.

Методики здійснення еколого-економічної оцінки заміщення енергоресурсів, які базуються на оцінці запобігання антропогенному забрудненню довкілля, передбачають порівняння вартості заходів із запобігання антропогенному забрудненню, що може виникнути чи виникає в

процесі використання енергоресурсів. Безумовно, здійснення такої оцінки є набагато простішим, аніж економічна оцінка екологічних збитків. Як і у випадку використання методів, які ґрунтуються на економічній оцінці ефектів, що виникають в процесі заміщення, таке порівняння доцільно здійснювати на одиницю отримуваної енергії. Під заходами, які запобігають забрудненню навколишнього середовища, розуміють будь-яку дію, яка призводить до скорочення антропогенного надходження забруднень у навколишнє природне середовище [30].

У загальному вигляді прийняття рішення про заміщення ресурсів на основі критерію економічної оцінки запобігання антропогенному забрудненню можна представити таким чином. Нехай  $P_1$  та  $P_2$  – обсяги забруднень, які виникають під час використання двох енергоресурсів;  $P_E$  – „бажаний” (оптимальний) рівень забруднення;  $c^i(P_i, P_E)$  – вартість зниження рівня забруднення природного довкілля від використання  $i$ -го енергоресурсу з рівня  $P_i$  до рівня  $P_E$ .

Зрозуміло, що заходів із зниження антропогенного навантаження на довкілля під час використання енергоресурсів може бути декілька, тоді вартість зниження негативного впливу на довкілля від використання енергоресурсу визначатиметься за такою концептуальною формулою:

$$c^i(P_i, P_E) = \min(c_1^i(P_i, P_E), c_2^i(P_i, P_E), \dots, c_n^i(P_i, P_E)). \quad (1.4)$$

Вартість зниження рівня забруднення визначається не лише існуючим та бажаним рівнем викидів, але й масштабом виробництва енергії.

Тоді показник співвідношення природоохоронних витрат, який може бути використаний для оцінки еколого-економічної доцільності заміщення енергоресурсів, на основі критерію економічної оцінки запобігання забрудненню від їхнього використання, можна представити таким чином:

$$E_{1,2} = \frac{c^2(P_2, P_E)/Q_2}{c^1(P_1, P_E)/Q_1}, \quad (1.5)$$

де  $E_{1,2}$  – показник еколого-економічної ефективності заміщення енергоресурсів;

$Q_2, Q_1$  – рівні потужності енергетичних виробництв, для яких розглянута вартість зниження рівня забруднення природного довкілля.

Такий розрахунок не враховує потреби здійснення капітальних витрат на очисне обладнання, а тому не може бути адекватним вимірником доцільності заміщення енергоресурсів. Розрахунок еколого-економічної оцінки заміщення ресурсів із врахуванням природоохоронних інвестицій можна здійснювати так:

$$E_{1,2} = \frac{(c^2(P_2, P_E) + K^2 \cdot E_n) / Q_2}{(c^1(P_1, P_E) + K^1 \cdot E_n) / Q_1},$$

де  $K^2, K^1$  – вартість капіталовкладень, які потрібно здійснити для зниження обсягів забруднення природного довкілля до рівня  $P_E$  під час використання двох груп енергоресурсів;

$E_n$  – норматив дохідності інвестиції на підприємствах певної галузі.

Показник оцінки доцільності заміщення енергоресурсів, описаний вище, ґрунтується на використанні нормативу прибутковості інвестицій. У випадку використання концепції чистої теперішньої вартості, показник еколого-економічної оцінки доцільності заміщення енергоресурсів, який базується на оцінці запобігання антропогенного забруднення, може бути визначений наступним чином:

$$E_{1,2} = \frac{\left[ \sum_{h=1}^T c_h^2(P_2, P_E) / (1+d)^h + K^2 \right] / Q_2}{\left[ \sum_{h=1}^T c_h^1(P_1, P_E) / (1+d)^h + K^1 \right] / Q_1}, \quad (1.6)$$

де  $T$  – тривалість інвестиційного горизонту;

$d$  – норма дисконту.

Для здійснення оцінки заміщення енергоресурсів, на основі економічної оцінки запобігання забрудненню, цілком допустимим є варіант оцінки вартості зниження забруднень від використання одного ресурсу до рівня забруднення від використання іншого ресурсу. За такої умови „бажаний” рівень забруднення визначатиметься таким чином:

$$P_E = \min(P_1, P_2). \quad (1.7)$$

Використання методу оцінки запобігання забрудненню при розгляді питання заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними, має низку переваг порівняно з методом економічної оцінки ефектів, які виникають внаслідок такого заміщення, але водночас не позбавлене труднощів. Варто зауважити, що використання двох груп енергоресурсів (у цьому випадку біологічно відновлюваного та невідновлюваного) призводить до викидів різних забрудників, які можуть різнитися за ступенем шкідливості та в різних пропорціях. Таким чином забруднення від використання енергоресурсів потрібно звести до єдиних умовних одиниць. У випадку паливних енергоресурсів, коли на етапі енергогенерації основна частка забруднення припадає на викиди в атмосферу, таким вимірником може бути показник ГДК. Звертаючись до проблеми використання ГДК як показника для агрегування шкідливості забруднювальних речовин, автор [30] зазначає, що зведення різних забрудників до умовного забруднення певною мірою утруднене внаслідок різних рівнів чутливості різних реципієнтів до конкретних забрудників.

Зведення величини забруднень до єдиного умовного вимірника можна здійснювати за допомогою величин ГДК та обсягів викидів забрудників. Зокрема у літературі трапляється (див., напр., [33]) такий спосіб визначення шкідливості викидів, в умовних вимірниках:

$$I = \frac{C_{\phi_1}}{ГДК_1} + \frac{C_{\phi_2}}{ГДК_2} + \frac{C_{\phi_3}}{ГДК_3} + \dots + \frac{C_{\phi_i}}{ГДК_i}, \quad (1.8)$$

де  $I$  – умовний показник шкідливості викидів;

$C_i$  – фонова концентрація  $i$ -ї забруднювальної речовини;

$ГДК_i$  – гранично допустима концентрація  $i$ -ї речовини.

Визначення умовної небезпеки забруднювальних речовин, здійснене за формулою (1.8) не можна вважати точним, адже різні речовини мають різні ступені шкідливості. У такому випадку доцільно враховувати клас небезпеки забруднювальних речовин. Тоді, умовний показник шкідливості забрудників можна визначати так, як це запропоновано в [34]:

$$I = \left( \frac{C_{\phi_1}}{ГДК_1} \right)^{K_j} + \left( \frac{C_{\phi_2}}{ГДК_2} \right)^{K_j} + \left( \frac{C_{\phi_3}}{ГДК_3} \right)^{K_j} + \dots + \left( \frac{C_{\phi_i}}{ГДК_i} \right)^{K_j}, \quad (1.9)$$

де  $K_j$  – коефіцієнт, який визначається класом небезпеки забруднювальної речовини.

Так, для першого, другого, третього та четвертого класів небезпеки коефіцієнт  $K_j$  становить 1.7, 1.3, 1.0 та 0.9 відповідно. Крім таких підходів, для зведення величини забруднення до інтегрального показника в умовних вимірниках, можна також застосовувати підходи, описані формулами (1.2) та (1.3), які є значно простішими у використанні, оскільки позбавлені необхідності розрахунку концентрації забруднювальної речовини.

При цьому, ми однозначно погоджуємося, що використання показника гранично допустимої концентрації забруднюючої речовини є дещо половинчастим, адже такий показник зважає лише на шкідливість для здоров'я людини, оминаючи негативний вплив забруднювальних речовин, наприклад, на фауну та флору, основні фонди підприємств та інше. Проте, на нашу думку, ця проблема більше лежить в технічній площині і зводиться до пошуку показників, які могли б бути використані для зведення рівня забруднення від кількох речовин до єдиних умовних одиниць.

Відмовляючись від концепції економічної оцінки екологічних ефектів на користь концепції економічної оцінки запобігання антропогенному забрудненню, оцінюючи доцільність заміщення енергетичних ресурсів, цілком слушно може виникнути запитання про адекватність заміни використовуваних підходів та можливість їх впливу на результат, який власне, і визначає прийняття рішення про заміщення ресурсів. Розглянемо це питання докладніше.

Візьмемо до уваги два енергетичні ресурси  $R_1$  та  $R_2$ , у разі використання яких, існує антропогенне забруднення (наприклад, викид в атмосферу забруднювальної речовини  $X$ ) в обсязі  $P_1$  та  $P_2$  на одиницю отриманої енергії. Припустимо, що ресурс  $R_1$  володіє вищим потенціалом забруднення порівняно з  $R_2$ , тобто  $P_1 > P_2$ . Нехай  $E$  – функція, яка описує реальну

економічну оцінку екологічного ефекту від антропогенного забруднення, спричиненого використанням енергоресурсу. Розглядаючи забрудники як антиблаго, неважко дійти висновку, що функція  $E$  буде зростаючою з однією точкою перегину (опукла вверху до точки перегину, та опукла вниз після). Тобто, якщо  $P_1 > P_2$ , то однозначно  $E(P_1) > E(P_2)$ .

Нехай  $C$  – функція вартості запобігання забруднення під час використання енергоресурсів (фактично є вартістю очищення продуктів горіння енергоресурсу до певного „оптимального” рівня). Зважаючи, що обсяги забруднення від використання ресурсу  $R_1$  є вищими, ніж аналогічний показник для  $R_2$ , то і вартість очищення продуктів горіння енергоресурсу  $R_1$  буде вищою. Таким чином, доходимо висновку, що якщо  $E(P_1) > E(P_2)$ , то і  $C(P_1) > C(P_2)$ . Аналогічна ситуація існує в реальному випадку, тобто коли внаслідок спалювання енергоресурсу викидається декілька забруднювальних речовин, адже набір забрудників для різних палив є переважно однаковим, а відрізняються лише обсяги їх викиду в розрахунку на одиницю отримуваної енергії.

Тут уважний читач може зробити зауваження, що таке моделювання не зовсім відповідає концепції оптимального забруднення. Керуючись цією концепцією, заміщення ресурсів є доцільним, якщо величина витрат на заміщення є меншою в порівнянні з вигодами від зниження антропогенного забруднення, тобто відверненого збитку оціненого в грошовому вимірі. Проте зважаючи на викладені вище аргументи, ми не можемо достатньо достовірно говорити про сам обсяг оптимального забруднення, адже немає можливості для здійснення достатньо точної економічної оцінки збитків екологічного характеру. Таким чином часто знижується цінність концепції оптимального забруднення за рахунок унеможливлення адекватного її застосування.

Зважаючи на викладене вище, доведено, що використання концепції економічної оцінки запобігання антропогенному забрудненню для прийняття рішень про заміщення енергоресурсів дає результат, не відмінний від

використання концепції економічної оцінки екологічних ефектів, спричинених таким забрудненням.

Здійснюючи оцінку доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними, базовану на концепції економічної оцінки запобігання антропогенному забрудненню, масштабом оцінки може бути не конкретний енергогенеруючий суб'єкт, а регіон загалом. Беручи до уваги вартість зниження антропогенного забруднення енергогенеруючими підприємствами під час використання обох груп енергоресурсів до певного нормативного рівня, можна здійснювати еколого-економічну оцінку доцільності заміщення енергоресурсів у межах конкретного регіону. Така задача є на порядок складнішою, ніж здійснення оцінки в межах одного енергогенеруючого суб'єкта, адже вона ускладнюється необхідністю вирішення транспортної задачі. Необхідно вирішувати питання про кількість енергогенеруючих підприємств, зважаючи на віддаль від споживачів енергії та джерел біологічно відновлюваних ресурсів. Зростання кількості енергогенеруючих підприємств збільшуватиме величину капітальних затрат, а відповідно і знижуватиме показник еколого-економічного ефекту від такого заміщення. Не будемо заглиблюватися у вирішення цієї задачі в межах даної монографії, оскільки ставимо перед собою дещо інші завдання.

Таким чином, здійснення оцінки доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними (як і будь-яких інших паливних енергоресурсів) може базуватися на концепції економічної оцінки запобігання антропогенному забрудненню від їхнього використання. Такий підхід не лише забезпечує отримання адекватного результату, але й на відміну, від використання концепції економічної оцінки екологічних ефектів, значно простіший та позбавлений ризику виникнення багатьох похибок.

Водночас іноді *еколого-економічну оцінку можна здійснити без прямої оцінки екологічної складової заміщення* (тобто без економічної оцінки екологічних збитків чи витрат на їх відвернення). Це видається можливим у



разі зведення однієї з пар ефектів (економічного чи екологічного) до однакової величини з порівнянням між собою іншої пари ефектів (екологічного чи економічного відповідно). Для прикладу, дві еколого-економічні альтернативи господарської діяльності можна порівняти, звівши рівень антропогенного забруднення до єдиного рівня з подальшим порівнянням економічних ефектів.

Зведення величини екологічних ефектів (у випадку енергогенерації – це антропогенне забруднення) для порівняння двох варіантів може здійснюватися шляхом нарощення обсягів виробництва за варіантом з нижчим питомим рівнем забруднення. За рахунок нарощення обсягів промислового виробництва підвищується рівень антропогенного забруднення до рівня аналогічного варіанту з вищим питомим рівнем забруднення. Таким чином прирівнявши екологічні ефекти, оцінка здійснюється шляхом порівняння економічних ефектів. Зважаючи на те, що нижчі рівні антропогенного забруднення компенсуються нарощенням обсягів виробництва, таке заміщення назовемо *компенсаторним*. Здійснення еколого-економічної оцінки заміщення енергоресурсів з використанням такого підходу вимагає врахування додаткових ефектів, які виникають внаслідок нарощення обсягів виробництва та величини інвестицій, необхідних для цього. Водночас, іноді при використанні підходу компенсаторного заміщення необхідно враховувати чи існує потреба в нарощення обсягів виробництва.

При цьому варто зазначити, що капітальна складова компенсаторного заміщення (необхідність здійснення певних інвестицій для нарощення обсягів виробництва за варіантом з нижчим рівнем забруднення) є важливим чинником, який визначає ефективність заміщення паливних енергоресурсів. Результат здійснюваної оцінки значної мірою визначається співвідношенням капітальних та експлуатаційних витрат, тобто напряму залежить від обсягу енергогенерації та вартості капіталовкладень, які необхідні для приведення рівня забруднення до єдиного рівня.

Величина інвестицій для компенсаторного заміщення є певною мірою умовно незмінними витратами, розмір яких переноситься на весь обсяг енергогенерації. Фактично, капітальна складова є тим чинником який певною мірою може «викривлювати» екологічну складову оцінки. Природно, що сама оцінка цілком залежить від конкретних ресурсів, техніко-економічних та організаційних умов здійснення компенсаторного заміщення.

Показник еколого-економічної доцільності заміщення енергоресурсів (еколого-економічний ефект від заміщення ресурсів) може бути розрахований за формулою:

$$E_K = p_e \cdot (Q_2 - Q_1) + (c_2 \cdot Q_2 - c_1 \cdot Q_1) - K_K,$$

де  $E_K$  – показник еколого-економічної доцільності заміщення енергоресурсів, розрахований відповідно до концепції компенсаторного заміщення;

$p_e$  – ціна одиниці отриманої енергії;

$Q_2$  та  $Q_1$  – обсяги генерованої енергії з використанням заміщуючого та заміщуваного ресурсу відповідно;

$c_r$  та  $c_n$  – поточні витрати на виробництво енергії з використанням заміщуючого та заміщуваного ресурсу відповідно;

$K_K$  – величина інвестицій як необхідні для заміни енергоресурсів;

При цьому важливо, що  $Q_2$  та  $Q_1$  є такими обсягами отриманої енергії, за яких рівень антропогенного забруднення довкілля при обох виробництвах є однаковий, тобто і витрати із запобігання забрудненню будуть однаковими. Зрозуміло, що за таких умов заміщуючий енергоресурс володіє нижчою питомою здатністю антропогенного забруднення порівняно із заміщуваним. Рівень забруднення розраховується в умовних одиницях за допомогою писаних вище методів.

Крім того, при розрахунку, у випадку виведення з виробничої діяльності обладнання для енергогенерації з використанням заміщуваних ресурсів, може додатково включатися ринкова вартість такого обладнання, а також збитки,

які можуть виникнути у формі незабезпечення запланованого рівня окупності обладнання.

Методики використання запропонованих підходів для здійснення еколого-економічної оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними буде розглянуто нижче.

## **1.2. Передумови заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними**

Заміна використовуваних енергоресурсів (зокрема і заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними) впливає на всі сфери людського життя. Безпосереднім змінам такого заміщення піддана економічна сфера життя, функціонування якої певною мірою визначається різними рівнями ефективності використання енергоресурсів. Заміщення використовуваних енергоресурсів впливатиме на стан якості природного довкілля, адже енергоресурси володіють різним рівнем антропогенного впливу. Своєю чергою, еколого-економічні зміни можуть прямо та опосередковано впливати на якість життя населення. Значною мірою рівень національної енергетичної безпеки визначається наявністю власних енергоресурсів та можливістю їх самостійного використання.

Здійснення оцінки заміщення енергоресурсів потребує врахування змін, які виникають в усіх сферах людського життя (зважаючи на те, що така оцінка є антропоцентричною). Усі компоненти такого заміщення тісно пов'язані між собою, деколи настільки, що важко провести межу між ними [35]. Саме тому можна стверджувати, що критерій ефективності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними є складним за своєю сутністю та багатокomпонентним. Важливою умовою ефективного заміщення ресурсів є врахування усіх компонент критерію ефективності. Позитивні зміни в сферах, на які впливає заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними (складові

заміщення ресурсів), можуть бути передумовами такого заміщення. Розглянемо детальніше основні складові результату заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними та основні передумови цього.

*Економічні передумови заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними.* Сучасний етап розвитку світового господарства характеризується значним рівнем виснаженості викопних енергоресурсів, що зумовлено стрімким зростанням численності населення та обсягів виробництва як загалом, так і в розрахунку на душу населення. Чинник забезпеченості викопними енергоресурсами значною мірою сприяв економічному розвитку багатьох країн. Паливно-енергетичний комплекс – основа функціонування всього суспільного виробництва. Саме його успішна діяльність та розвиток стає запорукою високих темпів економічного зростання країни, яке своєю чергою дає основу соціально-економічній та політичній стабільності в суспільстві, досягнення високого рівня національної безпеки та незалежності [36]. Внаслідок значного виснаження вичерпних ресурсів, зростання їх вартості виникає потреба пошуку та використання інших видів енергоресурсів. Цю проблему можна вирішити шляхом використання відновлюваних ресурсів.

Одним із показників, що характеризує рівень соціально-економічного розвитку країни, є обсяг енергоспоживання в розрахунку на одну особу та співвідношення використання енергії у побутових та виробничих цілях. Зокрема, в розвинених країнах загальний обсяг енергоспоживання прямо пропорційний енергоспоживанню в розрахунку на одну особу в побуті, а частка використання енергії в побуті перевищує енергоспоживання у промислових цілях [37]. Країни, які не володіють достатніми обсягами викопних енергоресурсів, можуть забезпечити власний розвиток відновлюваними енергоресурсами [38], які є більш поширеними. Як для розвинених країн, так і для країн, що розвиваються, постає нагальна потреба подолання дефіциту невідновлюваних енергоресурсів – відновлюваними

(процес подорожчання невідновлюваних енергоресурсів є об'єктивним та невідворотним). Зауважимо, що на сьогодні невідновлювані ресурси обходяться переважно дешевше, ніж відновлювані. При цьому основною причиною порівняно вищих витрат на відновлювану енергію є те, що її отримання потребує дуже великих інвестицій. Але ситуація буде кардинально змінюватись у найближчому майбутньому, у зв'язку із зниженням доступності невідновлюваних ресурсів та зростанням цін на них. Зростаючі інвестиції у відновлювану енергетику (що зумовлено часто не економічними чинниками, а екологічними та політичними) постійно знижуватимуть собівартість відновлюваної енергії. Крім цього треба зауважити, що ціна на невідновлювані ресурси не включає в себе довготермінові ризики та екологічну шкоду від використання цих ресурсів [39].

Ще однією причиною, яка мотивує перехід від невідновлюваних до відновлюваних джерел енергії, є висока залежність ринків основних видів невідновлюваних енергоресурсів (наприклад, газу та нафти) від політичної та економічної ситуації в країнах-постачальниках цих енергоресурсів. Відтак, використання викопних енергоресурсів містить у собі ризик непоставок та зміни цін на ці ресурси, внаслідок зміни обсягів їх видобутку та політичної ситуації в країнах-постачальниках [35]. Більшість сучасних виробництв залежні від використання викопних енергоресурсів, а відповідно, не застраховані від ризику різких змін цін на ці ресурси (особливо, у разі постачання енергоресурсів іншими країнами). Ризик різкої зміни ціни на ресурс матиме негативний вплив на національну економіку країн-споживачів невідновлюваних енергоресурсів. Зокрема, внутрішній ринок не може швидко відреагувати на різке підвищення ціни енергоресурсів, що може призвести до загальноекономічної кризи. Понад це – використання навіть відновлюваних ресурсів на сьогодні залежне від викопних ресурсів [40].

Сам факт залежності від країн-постачальників невідновлюваних енергоресурсів належить до тих, які визначають рівень національної безпеки

(а відтак, стосується до тих передумов заміщення енергоресурсів, які пов'язані із гарантуванням національної безпеки), але ризик коливання цін на енергоресурси більше тяжіє до економічних передумов заміщення невідновлюваних енергоресурсів. Водночас варто зауважити, що доволі важко розмежувати економічні передумови та ті, які визначають рівень національної безпеки, адже стан економіки країни є однією із складових стану національної безпеки.

Для прикладу, можна навести енергетичну кризу 1973-1974 рр., коли зниження обсягів видобутку нафти країнами ОПЕК вилилося у зростання цін на нафту та призвело до низки економічних труднощів у багатьох країнах, а особливо у США, Японії, країнах Європи. Така ситуація була індикатором стану національної енергетичної безпеки, але економічні проблеми, які виникли в короткотерміновому періоді, дають підстави стверджувати про можливість віднесення ризику коливання цін на енергоресурси саме до економічних передумов заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними (зокрема й біологічно відновлюваними).

Ризик коливання цін на імпортовані невідновлювані енергоресурси, безумовно, впливає на економічну ситуацію не лише на внутрішньому ринку країни, але й може негативно позначитися на її міжнародній торгівлі. Закономірно, що вартість енергоресурсів значною мірою визначає конкурентоспроможність країни на світовому ринку. Знаковою є ситуація, коли внаслідок зростання вартості імпортованих енергоресурсів країна припиняє експортувати свою продукцію (яка стає занадто дорогою) в країну-постачальника енергоресурсів.

Використання відновлюваних енергоресурсів не зумовлює ризиків коливання цін на енергоресурси. Однією із причин цього є властивість нижчої питомої щільності у розрахунку на одиницю території відновлюваних енергоресурсів порівняно з невідновлюваними, зазначена в [41]. Тобто, якщо основними викопними енергоресурсами у великих кількостях володіють небагато країн, то більшістю відновлюваних ресурсів володіють багато країн

у дещо менших кількостях. Це означає вищий рівень розсіяності відновлюваних енергоресурсів, а отже – й зниження ризику різких коливань цін на енергію як основний продукт енергоресурсів.

Крім проведення обґрунтованої екологічної політики, вихід на жорсткі критерії енерго- та матеріалоспоживання, заощадження ресурсів, які використовуються у виробничих цілях, є важливими чинниками забезпечення національної конкурентоспроможності в світі [42]. Власне кажучи, заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними (зокрема й біологічно відновлюваними) є яскравим прикладом ресурсоощадності та екологічно безпечного господарювання, яке певною мірою нейтралізуватиме ризики коливання цін на невідновлювані енергоресурси та сприятиме зростанню конкурентоспроможності національних економік.

Прикладом уникнення економічних та геополітичних ризиків використання невідновлюваних енергоресурсів шляхом заміщення їх біологічно відновлюваними може бути сільське господарство. Сьогодні аграрний комплекс значною мірою залежить від використання різних видів нафтопохідних видів палива. Таким чином ризик зростання цін на невідновлювані ресурси матиме негативний вплив на сільське господарство. Водночас сільське господарство продукує відходи у вигляді біомаси та може сприяти виробництву біопалива, яке усуватиме ризики, пов'язані з використанням невідновлюваних енергоресурсів.

*Екологічні передумови заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними.* З початком ХХ століття більшість розвинених країн зіткнулися з проблемою пошуку енергоресурсів, які б могли забезпечити енергетичні потреби, сприяти економічному зростанню та водночас сприяти зростанню якості природного довкілля та життя загалом. Протягом багатьох десятиріч ХХ століття забезпеченість енергією (в плані можливості отримання енергії із наявних енергоресурсів) була основою економічного розвитку. На сьогодні актуальність проблеми забезпеченості

енергією посилюється потребою забезпечення екологічної безпеки та зростання рівня життя людини [43]. Важливим критерієм повинна стати не лише економічна, але й екологічна доцільність використання певного енергоресурсу.

Неефективне використання невідновлюваних енергоресурсів призвело до низки негативних екологічних наслідків. До них можна віднести виснаження невідновлюваних ресурсів, надмірне забруднення природного середовища, знищення ґрунтів, пов'язане із видобутком деяких ресурсів та інші. Прагнення здешевлення отримуваної енергії із нехтуванням негативних змін у природному середовищі, яке мало місце у ХХ столітті, призвело до фатальних наслідків. Все це нагально ставить питання пошуку нових енергоресурсів, які були б екологічно безпечнішими.

Частково проблему пошуку нових екологічно безпечніших ресурсів може вирішити використання відновлюваних енергоресурсів замість невідновлюваних. Звісно, використання відновлюваних енергоресурсів не є абсолютно безпечним з екологічної точки зору, проте все ж більш екологічно безпечним порівняно із використанням невідновлюваних енергоресурсів.

Головною перевагою відновлюваних енергоресурсів є сам факт їх відновлюваності. У разі заміщення викопних енергоресурсів відновлюваними цілком зрозуміло, відбудеться зниження видобутку невідновлюваних ресурсів із паралельним зниженням рівня ризику виникнення екологічних загроз, пов'язаних з цим.

Зокрема, спалювання біомаси призводить до значно нижчих викидів в атмосферу небезпечних речовин порівняно із викопними енергоресурсами [44]. Для прикладу, під час спалювання вугілля обсяги викидів парникових газів ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  та  $\text{N}_2\text{O}$ ) в перерахунку на  $\text{CO}_2$ -еквівалент становлять 200 т/ТДж корисної енергії, при цьому аналогічний показник для деревинної тріски становить лише 10 т/ТДж [45]. Використання біопалива, у порівнянні з нафтопохідними видами палива також є екологічно



прийнятнішим, адже продукти згорання біопалива не є токсичними та не містять сірки (на відміну від бензину та дизельного пального) [46].

Заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними тісно пов'язане із проблемою вуглецевого забруднення та парникового ефекту. Парниковий ефект проявляється у підвищенні рівня температури Землі та зниженні здатності віддавати тепло в космос. Розширення використання біологічно відновлюваних енергоресурсів та заміщення ними невідновлюваних енергоресурсів знижуватиме обсяги вуглецевого забруднення та розширюватиме поле дій держави в межах домовленостей Кіотського протоколу.

У цьому контексті, важливою характеристикою відновлюваних ресурсів є те, що більшість із них не створюють додаткової теплової енергії. Перетворення енергії, яка акумульована у більшості невідновлюваних енергоресурсів, супроводжується виділенням значної кількості тепла (завдяки спалюванню цих ресурсів та перетворенню отриманої теплової енергії у інші форми енергії), а це, своєю чергою, сприяє зростанню загрози глобального потепління. У випадку використання таких відновлюваних енергоресурсів, як сонячна енергія або енергія вітру, процес перетворення енергії практично не супроводжується виділенням тепла. Зрозуміло, що при будь-якому енергогенеруючому процесі, відповідно до засад термодинаміки, виділення тепла неможливо уникнути, але обсяги виділення тепла на одиницю отриманої енергії можна значно знизити шляхом заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними (зокрема й біологічно відновлюваними). Крім цього, електростанціям на мазуті та вугіллі притаманний вищий рівень втрати тепла, ніж енергоустановкам на біопаливі. Це зумовлено масштабами покриття таких енергостанцій, тобто територією навколо ТЕС, яка забезпечується енергією її виробництва. Великі теплоелектростанції втрачають значний рівень тепла під час його транспортування. Водночас енергостанції на біопаливі є меншими та обслуговують менші території, а відповідно володіють нижчим потенціалом

теплого забруднення. Водночас теплоенергетика на мазуті та вугіллі є одним із найбільших забруднювачів та найбільшим споживачем чистої води та повітря.

Використання біомаси як промислового ресурсу матиме мінімальний вплив або взагалі не матиме впливу на кліматичні зміни [43]. Це зумовлено тим, що біологічно відновлювані енергоресурси є вуглецевонеutralними. Використання біомаси як енергоресурсу передбачає збільшення обсягів її вирощування (насадження плантаційної деревини, використання відходів сільськогосподарського виробництва, а як наслідок, його здешевлення і стимул до виготовлення більшої кількості сільськогосподарської продукції), а це своєю чергою збільшує можливості біосфери щодо поглинання діоксиду вуглецю – одного з чинників парникового ефекту. Фактично використання біомаси як енергоресурсу є створенням виробничого циклу, за якого частина відходів цього виробничого циклу є його ж ресурсом (поглинання хлоропластами вуглецю, який утворюється в процесі спалювання біомаси). Відповідно до прогнозів, у США до 2010 року обсяги енергії, утвореної з використанням біомаси (біологічно відновлюваного ресурсу) складатимуть 8 ГВт, а до 2020 року близько 26 ГВт [43]. Цей прогноз також передбачає, що продукування такої кількості енергії (замість використання викопних енергоресурсів) сприятиме зниженню обсягів викидів вуглецю в атмосферу на 16-24 млн тонн (завдяки створенню закритого виробничого циклу, одним із етапів якого є поглинання вуглецю біомасою). Таким чином, використання відновлюваних енергоресурсів може сприяти зниженню загрози глобального потепління.

Використання біомаси як енергоресурсу також може виконувати водоохоронну функцію [43]. Наприклад, насадження плантацій паливної деревини в регіонах, які цього потребують, сприятиме покращанню водорегуляції регіону. Використання біомаси також може сприяти відновленню земель, які були виснажені тривалим вирощуванням на них однорідних культур [47].

Зниження негативних впливів на природне середовище в процесі отримання енергії можна здійснювати трьома шляхами: зміна технології отримання енергії з відмовою від викопних енергоресурсів; використання нових технологій, які забезпечать ефективніше виробництво енергії з викопних ресурсів; підвищення ощадливості використання отриманої енергії [43]. Звісно ж, бажаним є поєднанням цих трьох шляхів.

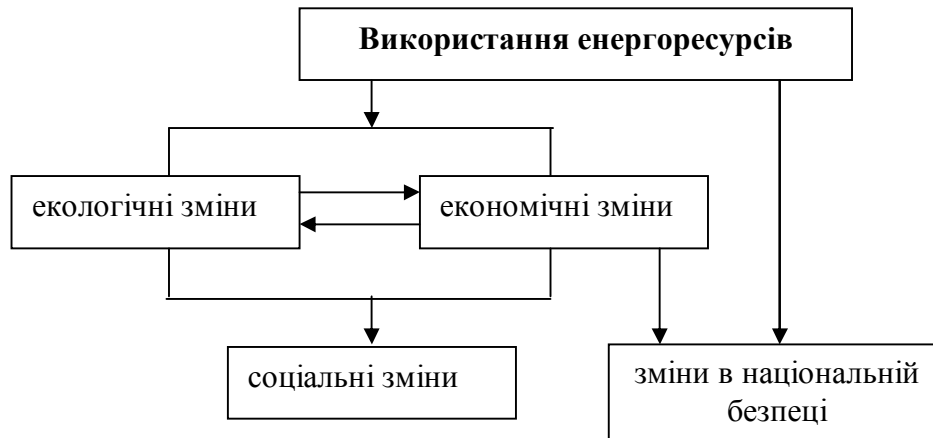
Тож всупереч аргументам про неабсолютну екологічну безпечність відновлюваних енергоресурсів, варто пам'ятати, що такі відновлювальні енергоресурси як сонячна енергія безпосередньо не впливають на підвищення рівня забруднення повітря та води, а використання біомаси призводить до значно нижчих викидів в атмосферу порівняно з деякими невідновлюваними енергоресурсами та має певні побічні позитивні наслідки [35].

Екологічні передумови заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними напряду визначаються екологічними ефектами, які виникають внаслідок такого заміщення. Під екологічним ефектом розуміють зміни (в просторі та часі) умов довкілля та його ресурсів, які впливають чи можуть вплинути на економічні результати виробництва в певному регіоні (тобто вплинути на економічний ефект) [31]. Таким чином, економічний та екологічний ефекти є взаємопов'язаними. На рис. 1.4 представлено наше бачення порядку виникнення ефектів в економічній, екологічній та соціальній сферах, а також у сфері національної безпеки, які виникають у процесі використання та заміщення енергоресурсів.

Екологічний ефект є поняттям складним за своєю сутністю та охоплює поняття ризику, тобто ймовірність появи негативного екологічного ефекту та форму, в якій може проявитись цей негативний ефект. У [48, С.102-117] екологічні ризики поділяються на:

- ✓ природно-екологічні;
- ✓ техногенні;
- ✓ ризики катастроф;

- ✓ еколого-нормативні;
- ✓ соціально-екологічні;
- ✓ еколого-політичні;
- ✓ еколого-демографічні.



**Рис.1.4. Механізм виникнення ефектів у різних сферах під час використання та заміщення енергоресурсів**

*Джерело: власна розробка*

Усі наведені вище групи екологічних ризиків мають складові, які корелюють з ними. Усі ці складові можна звести до кількох окремих видів ризиків, які характеризуватимуть поняття єдиного екологічного ризику. З огляду на це, виокремимо такі ризики, наведені в [48, С.102-117]:

- ✓ зникнення ресурсів;
- ✓ зміни якості ресурсів;
- ✓ порушення цілісності ландшафтів;
- ✓ зміни у фауні і флорі;
- ✓ зміни у кліматі;
- ✓ зростання вмісту речовин-забруднювачів у довкіллі;
- ✓ зростання рівня захворюваності населення;
- ✓ збільшення рівня смертності населення.

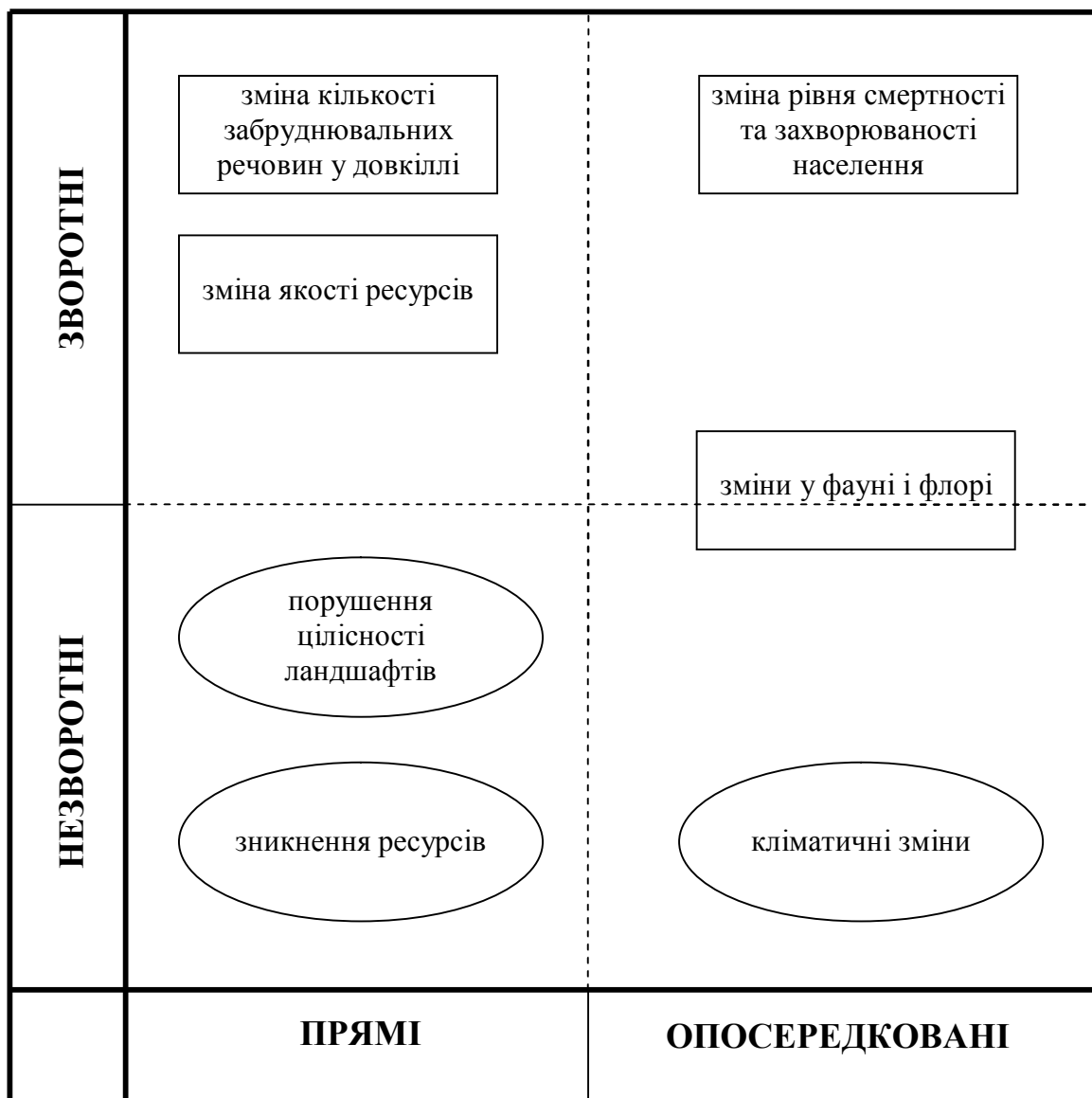
Зауважимо, що частково групи ризиків можуть перетинатися у довготерміновому періоді, що зумовлено складністю природної системи та

взаємозв'язками між її компонентами. Водночас, такі критерії до поділу екологічних ризиків, на нашу думку, все-таки можуть бути застосовані.

З огляду на це, такими ж можуть бути й екологічні ефекти, але якщо негативним екологічним ефектом є ризик зростання загрози за одним із вище наведених пунктів, то позитивним екологічним ефектом є зниження рівня ризику за певним критерієм, відсутність ризику або ж тенденція, протилежна вище перерахованим ризикам (так, для ризику зростання рівня смертності населення протилежною тенденцією буде зростання рівня здоров'я та кількості населення, хоча й демографічний вибух також можна розглядати як певний негативний екологічний ефект).

Ю.Ю. Туниця поділяє екологічні ефекти за такими критеріями: походження, форма прояву, можливість кількісного виміру, характер взаємодії з економічним ефектом, часовий лаг, можливість зміни, тривалість дії, прогнозованість, масштаб дії, мотивація [1]. Екологічні ефекти, які виникають у процесі заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними, можна поділити на такі, що виникають в короткотерміновому періоді та на такі, що виникають у довготерміновому періоді. Крім цього, вони можуть бути зворотними та незворотними. Так, екологічний ефект зміни чисельності населення є зворотним, а ефект зникнення ресурсів може бути незворотним (у випадку, якщо мова йде про невідновлювані ресурси). Щодо екологічних ефектів, що виникають під впливом заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними, то їх можна поділити на прямі та опосередковані. Прямі ефекти – це такі, які виникають безпосередньо внаслідок заміщення (або ж внаслідок того, що таке заміщення не мало місця), а опосередковані – ефекти, які зумовлені виникненням прямих. Таким чином, екологічні ефекти, пов'язані із заміщенням невідновлюваних ресурсів відновлюваними, можна класифікувати за трьома ознаками: горизонт оцінки (такі, що виникають у коротко- та довготермінових періодах), зворотність (зворотні та незворотні)

та безпосередність виникнення (прямі та опосередковані). На рис.1.5. подано розподіл ефектів за цими ознаками.



**Рис.1.5. Розподіл екологічних ефектів заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними за ознаками горизонту оцінки, зворотності та безпосередності виникнення**

Прямокутниками зображено ефекти, що виникають у короткотерміновому періоді, а еліпсами – у довготерміновому.

*Джерело: власна розробка*

Така класифікація, зокрема, демонструє складність економічної оцінки ефектів, які виникають у процесі заміщення енергетичних ресурсів, адже ефекти не рівномірно виникають у часі, та часто можуть бути не прогнозованими, що ще раз свідчить про доцільність застосування концепції економічної оцінки запобігання антропогенному забрудненню, порівняно з концепцією економічної оцінки екологічних ефектів.

*Соціальні передумови заміщення енергоресурсів.* Нерівномірність розміщення об'єктів отримання енергії з використанням невідновлюваних енергоресурсів та проблема транспортування енергії певною мірою сприяла створенню мегаполісів, нерівномірному розміщенню населення в межах певних адміністративно-територіальних одиниць, а відповідно, як наслідок, створило проблему нерівномірного антропогенного навантаження на природне середовище. Таким чином використання енергії відновлюваних ресурсів може сприяти соціально-економічному розвитку в районах, розміщених далеко від енергетичних центрів, а відповідно, і вирівнюватиме щільність розселення. Це ж, цілком ймовірно, сприятиме підвищенню економічного розвитку малозаселених районів віддалених від енергетичних центрів (йдеться переважно про малозаселені та водночас мало розвинені сільські райони).

Використання відновлюваних енергоресурсів (насамперед біомаси) може забезпечити зниження безробіття та економічний розвиток у сільській місцевості, що має обмежені можливості щодо економічного розвитку. Це, своєю чергою сприятиме підвищенню рівня добробуту мешканців сільської місцевості і знижуватиме міграцію населення до великих міст, основною причиною чого є соціально-економічні чинники [47].

Використання відновлюваних енергоресурсів (зокрема біомаси) є вирішенням проблеми газифікації малих населених пунктів, а особливо сіл гірських районів, газифікація яких утруднена з об'єктивних причин. Таким чином системний розвиток використання відновлювальних енергоресурсів (у масштабі країни), який призводитиме до зниження собівартості біоенергії та підвищення її доступності для населення, вирішуватиме проблему газифікації віддалених районів.

Фактично соціальний розвиток та підвищення рівня життя населення завдяки зростанню зайнятості в регіонах, де розвивається біоенергетика, є найважливішою соціальною передумовою та рушієм заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними.

Цілком імовірно, що заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними супроводжуватиметься скороченням виробництва перших. Це, своєю чергою, спричинить скорочення рівня зайнятості населення, залученого в цих сферах, але водночас збільшуватиме залучення робочої сили в галузь відновлюваної енергетики (галузь, що використовує відновлювані енергоресурси). Особливо такі зміни торкнуться тих країн і регіонів, які є вагомими постачальниками невідновлюваних енергоресурсів. Безсумнівно, таке заміщення використовуваних енергоресурсів зумовить виникнення певного рівня структурного та територіального безробіття, але цілком допустимим є подальше перепрофілювання працівників невідновлюваної енергетики в галузь відновлюваної. Доцільним буде розвиток біологічно відновлюваної енергетики у місцях згорання розроблень та використання невідновлюваних енергоресурсів.

Протягом тривалого часу використовували невідновлювані енергоресурси, цільовою функцією якого була максимізація обсягів отримання енергії з орієнтацією на короткотермінові економічні показники. Мало місце екстенсивне використання енергоресурсів без врахування екологічних та соціальних наслідків. Як наслідок, побічним ефектом суспільного виробництва стало забруднення природного середовища. Добре відомо, що стан людського здоров'я залежить значною мірою від стану природного довкілля, а зростання обсягів викидів забруднювальних речовин в атмосферу негативно впливає на стан здоров'я населення. Тому для зниження ризику захворюваності та смертності населення та підвищення рівня життя населення потрібно знижувати обсяг викидів у природне середовище.

Зважаючи на те, що за рівнем екологічної безпеки використання відновлюваних ресурсів є набагато безпечнішим порівняно із використанням викопних енергоресурсів, перехід від невідновлюваних до відновлюваних енергоресурсів може стати одним із чинників підвищення рівня життя населення.



Соціальний ефект від заміщення енергоресурсів тісно пов'язаний із еколого-економічним ефектом. Отримання позитивного еколого-економічного ефекту від заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними, безсумнівно, забезпечуватиме позитивний соціальний ефект.

*Зміцнення національної безпеки як передумова заміщення енергоресурсів.* Заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними тісно пов'язане з поняттям національної безпеки. Усі перераховані складові ефективного заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними (еколого-економічні, соціальні та елементи національної безпеки) виступають як єдине ціле та усі є складовими національної безпеки. Поняття національної безпеки можна розглядати під різними ракурсами, зокрема економічним, екологічним та соціальним.

Енергетична безпека є важливою складовою національної безпеки, адже енергетика значною мірою визначає рівень розвитку економіки, певною мірою формуючи конкурентоспроможність продукції цих галузей.

У літературі акцентовано увагу на чинниках, які формують енергетичну сферу держави. До них автори [37] відносять:

- ✓ наявність власних енергоресурсів, їх доступність та обсяги;
- ✓ вартість палива та економічна доцільність використання певних його видів;
- ✓ вартість технології, що застосовується для отримання енергії;
- ✓ екологічні вимоги, які висуває суспільство до виробництва та споживання енергії;
- ✓ здійснення політики ресурсо- та енергозбереження;
- ✓ потреба забезпечення енергетичної безпеки держави для мінімізації можливого негативного впливу внутрішніх та зовнішніх економічних та політичних чинників.

Використання відновлюваних енергоресурсів може пом'якшити гостроту негативного впливу більшості із цих чинників. Використання власних

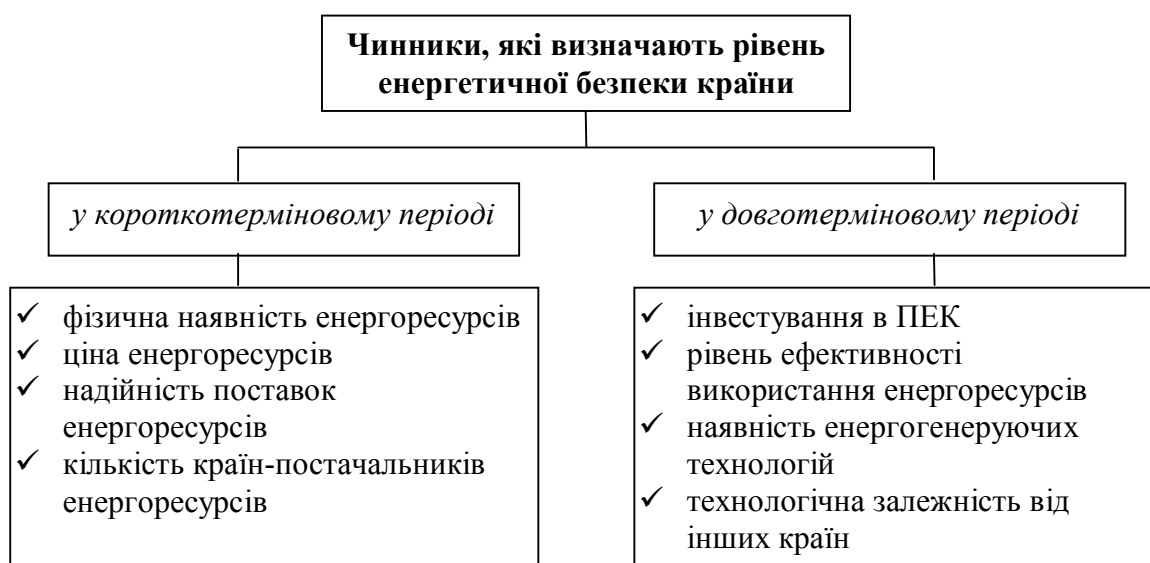
відновлюваних енергоресурсів частково вирішує проблему забезпеченості власними енергоресурсами (невідновлюваними), а також певним чином вирішує проблему ресурсозбереження.

Чинник забезпеченості природними енергетичними ресурсами є головною складовою економічної (а відповідно, і національної) безпеки [37]. Сьогодні енергетичні потреби України значно перевищують власний видобуток первинних енергоносіїв. Річні потреби України в нафті становлять 35-40 млн т, за внутрішнього виробництва на рівні близько 4 млн т, понад 90 млрд м<sup>3</sup> природного газу, за внутрішнього видобутку об'ємом 19 млрд м<sup>3</sup>. Крім цього, потрібно імпортувати близько 30 млн т коксового вугілля та повний обсяг ядерного палива [49]. Протягом найближчих років, коли відбудуватиметься трансформація світових газових ринків, національна економіка може зіткнутися з суттєвими труднощами, оскільки ціни на газ формуватимуться за участю провідних індустріальних держав [50]. Ще в 2007 році основні експортери газу (серед яких Росія, Іран, Катар, Алжир – загалом 10 країн), які забезпечують 42 % світового видобутку газу, підписали угоду про створення „газової ОПЕК”, намагаючись поставити під контроль світові ринки природного газу [51]. Уже в 2009 році Україна зіткнулася з проблемою переходу на ринкові ціни на природний газ (під силою економічного та політичного диктату єдиного постачальника газу – Росії). Своєю чергою, українська економіка виявилася не готовою до таких змін, внаслідок чого похитнулися вітчизняні позиції на міжнародному ринку металопрокату, який забезпечує левову частку українського експорту – експортна конкурентоспроможність вітчизняної продукції різко знизилася.

Знизити рівень енергетичної залежності країни, яка виникає внаслідок імпорту енергоресурсів, можна трьома шляхами [50]: збільшення власного видобутку, скорочення споживання та структурні перетворення в економіці у напрямку менш енергомістких галузей. При цьому, на нашу думку, автор не звертає уваги на можливість використання відновлюваних енергоресурсів.

Адже збільшення власного видобутку обмежене наявністю власних викопних енергоресурсів, а скорочення енергоспоживання має свої технологічні межі.

Водночас, рівень енергетичної безпеки визначається не лише забезпеченістю ресурсами, але й рівнем розвитку технологій для енергогенерації та їх доступністю. Зрозуміло, що певні чинники, які визначають енергетичну безпеку, є змінними лише в довготерміновому періоді, а інші в короткотерміновому. Нами встановлено поділ чинників, які визначають рівень енергетичної безпеки країни, на короткотермінові та довготермінові. Такий поділ представлено на рис. 1.6.



**Рис.1.6. Чинники, які визначають рівень енергетичної залежності країни від постачальників енергоресурсів**

*Джерело: власна розробка*

Важливим чинником, який визначає рівень енергетичної залежності країни, є не лише частка імпортованих енергоресурсів (рівень забезпеченості власними енергоресурсами), але й рівень диверсифікації імпортованих енергоресурсів поміж імпортерами (географічна структура імпорту енергоресурсів). У літературі наведено підходи (див. напр. [52, 53]) до визначення рівня енергетичної безпеки країни (з позиції забезпеченості власними енергоресурсами). Водночас вони не враховують частки енергоресурсів, які постачаються різними країнами та вклад кожного енергоресурсу (за групами їх призначення) у кінцеве енергоспоживання

країни (див., напр., [52]), що, безумовно, впливає на рівень енергетичної безпеки, або ж просто пропонується нормативний показник обсягу імпорту енергоресурсів з однієї країни (див., напр., [53]), що не дає змоги визначити єдиний показник енергетичної залежності, за всіма енергоресурсами загалом.

У [54] ми запропонували методику визначення залежності суб'єкта господарювання від постачальників. На основі такої методики можна визначити показник, який оцінюватиме рівень енергетичної залежності країни від імпорту енергоносіїв, а відтак – і рівень енергетичної безпеки країни в частині забезпеченості ресурсами. У визначенні рівня залежності країни від постачальників енергоресурсів будемо керуватися такими твердженнями:

- ✓ для конкретного обсягу імпорту енергоресурсів рівень енергетичної безпеки спадає у разі зменшення кількості постачальників (зростає залежність країни від постачальників енергоресурсів);
- ✓ рівень енергетичної залежності від конкретного постачальника визначається його часткою у загальному обсязі використання певного ресурсу.

Враховуючи ці припущення, функція рівня енергетичної залежності від постачальників енергоресурсів буде опуклою вгору. За основу визначення рівня енергетичної залежності країни візьмемо індекс Герфіндаля [див. напр. 55], який використовується для визначення рівня конкуренції на ринках. Такий індекс за своєю сутністю є степеневою функцією зі степенем два. Рівень енергетичної залежності від постачальників конкретного енергоресурсу можна визначити таким чином:

$$Z_j = \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_{ij}}{X_j} \cdot 100 \right)^2, \quad (1.10)$$

де  $Z_j$  – рівень енергетичної залежності країни за  $j$ -им енергоресурсом;  
 $x_{ij}$  – обсяг  $j$ -го енергоресурсу, який постачається  $i$ -им постачальником;  
 $X_j$  – загальна потреба країни в  $j$ -му енергоресурсі.

Обсяги використання енергоресурсу приймаються у енергетичному еквіваленті (т у.п., нафтового еквіваленту (н.е.) і т.п.). Значення показника енергетичної залежності, визначеного за формулою (1.10) знаходиться в межах  $0 \leq Z \leq 10^4$ .

Рівень енергетичної залежності для всіх видів імпортованих енергоресурсів можна розрахувати як інтегральний показник, що враховує рівні енергетичної залежності, визначені за формулою (1.10), для всіх енергоресурсів. Методика визначення інтегрального показника на основі індивідуальних показників та переваги використання саме такого підходу наведені нами в [56].

Інтегральний показник, який розраховується на основі кількох індивідуальних, можна визначити за формулою:

$$I = \prod_{i=1}^n (k_i)^{\lambda_i}, \quad (1.11)$$

де  $I$  – певний інтегральний показник;

$n$  – кількість індивідуальних показників, на основі яких обчислюється інтегральний показник;

$k_i$  – величина  $i$ -го індивідуального показника;

$\lambda_i$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го індивідуального показника.

Для розрахунку інтегрального показника за формулою (1.11) має виконуватись умова:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \leq 1.$$

Отже, загальний рівень енергетичної залежності країни можна визначити таким чином:

$$Z_T = \prod_{j=1, Z_j \neq 0}^m Z_j^{w_j} = \prod_{j=1, Z_j \neq 0}^m \left[ \sum_{i=1}^{n_j} \left( \frac{x_{ij}}{X_j} \cdot 100 \right)^2 \right]^{w_j}, \quad (1.12)$$

де  $Z_T$  – рівень енергетичної залежності країни;

$m$  – кількість первинних енергоресурсів, які використовує країна;

$n_j$  – кількість постачальників  $j$ -го енергоресурсу;

$w_j$  – вагомість  $j$ -го енергоресурсу, визначається як частка споживання  $j$ -го енергоресурсу в загальному обсязі первинного енергоспоживання;

$x_{i,j}$  – обсяг імпорту  $j$ -го енергоресурсу, який постачається  $i$ -им постачальником цього ресурсу;

де  $X_j$  – обсяг споживання  $j$ -го енергоресурсу.

Вагомість  $j$ -го енергоресурсу  $w_j$  визначається за формулою:

$$w_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_j}{X_c}, \quad (1.13)$$

де  $X_c$  – загальний обсяг первинного енергоспоживання.

Для визначення рівня енергетичної залежності країни від постачальників енергоресурсів можна одночасно застосувати підходи, описані формулами (1.10) та (1.12). Так, розрахунок загального рівня енергетичної залежності від країн-постачальників можна виконати без використання інтегрального показника, застосовуючи формулу (1.11). При цьому групування доцільно здійснювати лише за країнами-постачальниками (а не за групами енергоресурсів), а вимірником споживання енергоресурсів буде їхня енергетична цінність. Зауважимо, що такий показник може застосовуватися для оцінки рівня енергетичної залежності країни від постачальників енергоресурсів у короткотерміновому періоді.

Тож у випадку забезпечення країни ресурсами, з метою зниження рівня залежності від постачальників ресурсів (у цьому випадку – від інших країн) треба диверсифікувати число постачальників та вирівнювати їхні частки у загальних обсягах постачання ресурсів або ж зводити до мінімуму частку імпортованих ресурсів (у загальному обсязі потреб у ресурсах) із паралельним вирівнюванням частки кожного постачальника у загальному обсязі імпорту. Такий принцип, звісно ж, суперечить економічній логіці законів міжнародної торгівлі та міжнародного поділу виробництва, але водночас знижує рівень залежності від країн-постачальників та сприяє зміцненню національної безпеки. Водночас, часто немає змоги

диверсифікувати постачальників невідновлюваних енергоресурсів, через природні чинники розміщення світової природно-ресурсної бази (високої неоднорідності розміщення невідновлюваних енергоресурсів на планеті). За таких умов, одним із оптимальних рішень може стати використання відновлюваних енергоресурсів, які, як ми зазначали вище, є рівномірніше поширеними на планеті, аніж невідновлювані. Звідси напрашується висновок про те, що розширення використання відновлюваних енергоресурсів сприяє зміцненню національної безпеки. Для прикладу, в Євросоюзі в комунальній енергетиці широко використовуються біологічно відновлювані енергоресурси – ресурси біомаси використовуються для централізованого та одноосібного опалення житла. Використання біологічно відновлюваних енергоресурсів для теплопостачання в Україні зможе не лише знизити вартість таких послуг, але й знизити рівень геополітичної залежності від Росії, за рахунок скорочення обсягів імпорту газу.

З наведеного можна зробити висновок, що використання відновлюваних енергоресурсів позитивно впливає на зміцнення національної безпеки, знижуючи рівень залежності від іноземних постачальників енергоресурсів. Саме забезпеченість відновлюваними енергоресурсами може гарантувати енергетичну безпеку держави. Єдиним чинником, на який не впливає наявність відновлюваних енергоресурсів, а який фактично регулює використання відновлюваних енергоресурсів, є рівень розвитку технологій та забезпеченість технологіями для використання цих ресурсів. Фактично саме цей чинник є найслабшим місцем у використанні відновлюваних енергоресурсів.

Ще одним важливим геополітичним чинником, що може стимулювати перехід від викопних до відновлюваних енергоресурсів, може бути чинник міжнародної інтеграції. Щоправда, він найбільше стосується країн, що розвиваються. Так, для приєднання до міжнародних структур дедалі частіше використовуватимуться не лише соціальні чи економічні стандарти, а й екологічні стандарти, зокрема рівень використання відновлюваних

енергоресурсів. Наприклад, рівень використання відновлюваних ресурсів для потенційних членів Європейського союзу повинен перевищувати 12% [57] і це значення зростатиме з часом.

Розглянувши всі перераховані вище аргументи, можна стверджувати про позитивний ефект у сфері гарантування національної безпеки від заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними (зокрема біологічно відновлюваними). Основні передумови заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними представлено на рис. 1.7 [35].

<b>економічні</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• вирішення проблеми виснаження невідновлюваних енергоресурсів</li> <li>• потенціал зростання енергетичної бази та економічного зростання</li> <li>● зростання конкурентоспроможності національної економіки</li> <li>● зниження ризику залежності від коливання цін на невідновлювані енергоресурси</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• зниження рівня залежності від країн-постачальників невідновлюваних енергоресурсів</li> <li>• ▲сприяння міжнародній інтеграції</li> </ul>	<b>зміцнення національної безпеки</b>
<b>екологічні</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ зниження антропогенного навантаження на довкілля</li> <li>• збереження викопних енергоресурсів</li> <li>• зростання потенціалу біосфери з поглинання вуглецю</li> <li>• зниження обсягів теплового забруднення</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• зростання рівня життя населення сільських поселень та віддалених районів</li> <li>• вирішення проблеми енергетичного забезпечення віддалених районів</li> <li>• оздоровлення населення (завдяки зниженню обсягів забруднення довкілля)</li> </ul>	<b>соціальні</b>

**Рис. 1.7. Передумови заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними**

*Джерело: власна розробка*

На рис. 1.7 представлено передумови заміщення невідновлених енергоресурсів біологічно відновлюваними за основними групами: економічні, екологічні, соціальні та ті, які сприяють зміцненню національної безпеки. Трикутниками (▲) відзначено передумови, які за своєю природою можна віднести, крім основної групи, до економічних; квадратами (■) – до соціальних; колом (●) – до передумов у сфері зміцнення національної безпеки.

Отримання енергії з використанням відновлюваних енергоресурсів має свої вади та переваги порівняно з невідновлюваними. Зокрема, можемо визначити такі якості відновлюваних та невідновлюваних енергетичних



ресурсів (якими володіє чи не володіє певна група ресурсів), які виступають сильними чи слабкими сторонами використання тієї чи іншої групи енергоресурсів:

- ✓ потенціал незмінності чи зростання обсягів енергоресурсу;
- ✓ питома енергоємність ресурсу на одиницю площі території;
- ✓ рівномірність розміщення на планеті;
- ✓ вартість одиниці отримуваної енергії;
- ✓ вплив на природне середовище;
- ✓ рівень розвитку технологій з використання ресурсу;
- ✓ обсяги ресурсів.

На рис.1.8. зображено сильні та слабкі сторони використання відновлюваних енергоресурсів. Розглянемо детальніше якості енергоресурсів, зображені на цьому рисунку.

<b>ВІДНОВЛЮВАНІ ЕНЕРГОРЕСУРСИ</b>	
<b>СЛАБКІ СТОРОНИ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Питома енергоємність ресурсу на одиницю площі розміщення ресурсу</li> <li>✓ Вартість одиниці отримуваної енергії</li> <li>✓ Рівень розвитку технологій з використання ресурсу</li> </ul>
<b>СИЛЬНІ СТОРОНИ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Обсяги ресурсів</li> <li>✓ Потенціал незмінності чи зростання обсягів енергоресурсу</li> <li>✓ Рівномірність розміщення на планеті</li> <li>✓ Вплив на ПЖС</li> </ul>

**Рис.1.8. Сильні та слабкі сторони використання відновлюваних енергоресурсів**

*Джерело: власна розробка*

*Потенціал незмінності чи зростання обсягів енергоресурсу. Головною перевагою відновлюваних ресурсів порівняно з невідновлюваними є їхня*

відновлюваність, а відповідно, можливість тривалішого використання їх порівняно з невідновлюваними. Можна говорити про певний потенціал „необмеженого” використання відновлюваних енергоресурсів (відносно загального періоду промислового використання енергоресурсів людством).

Необмеженість є абсолютною для невичерпних енергоресурсів та відносною для вичерпних, а отже – потребує дотримання всіх умов відновлення цих ресурсів і їх використання у допустимих обсягах. Використання таких ресурсів, зазвичай, вимагає спрямування людських зусиль на їхнє відновлення. Невичерпні відновлювані ресурси, звісно ж, є простішими у використанні людиною, оскільки не вимагають затрат зусиль на відновлення цих ресурсів. Водночас людські потреби не можуть бути задоволені лише за допомогою невичерпних ресурсів (у будь-якому випадку, на сучасному етапі розвитку людства та технологій, які воно використовує). Тут нагально постає питання релевантності<sup>1</sup> енергетичних ресурсів. Так, конкретний енергетичний ресурс може ефективно задовольняти лише деякі потреби в енергії. Фактично, не можна говорити про абсолютну взаємозамінність енергоресурсів.

*Питома енергоємність ресурсу на одиницю площі території.* У [41] наголошено на таку ознаку відновлюваних енергоресурсів, як низька питома густина енергії на одиницю (площі, довжини, і т.п.), а відповідно – значні труднощі для концентрації енергії під час створення великих енергостанцій.

Водночас питання побудови великих енергостанцій не є настільки важливим. Наприклад, середній чи великий деревообробний завод цілком задовольняє власні потреби у тепловій енергії (обігрівання приміщень, забезпечення гарячою парою сушарок деревини) за рахунок деревинних відходів (кускові відходи, стружка та тирса), які створюються в процесі виробничої діяльності, а також може частково забезпечувати енергією навколишніх споживачів (наприклад, громадські будівлі). Аналогічна ситуація існує і з невеликими фермерськими господарствами, коли на основі

---

<sup>1</sup>Від англ. *relevant* – цільовий; такий, що відповідає конкретним умовам.

продуктів життєдіяльності тварин виготовляється газ, який використовується для опалення. І як свідчить практика (навіть в Україні, де використання таких відновлюваних джерел енергії ще не набуло поширення), такого газу утворюється достатньо. Використання відновлюваних енергоресурсів вирішує питання газифікації віддалених та гірських районів. Дедалі поширенішим стає покриття потреб в електроенергії будинків за рахунок використання сонячних гальванічних елементів.

Фактично, аналізуючи зазначену властивість енергоресурсів приходимо до класичної транспортної задачі, а відповідно, і до питання оптимізації транспортування енергії, отриманої з відновлюваних джерел. Транспортування отриманої енергії потребує не лише значних витрат, але й призводить до технологічних втрат енергії під час транспортування. Таким чином, питання побудови великих електростанцій, зазначене в [41], не повинно поставати так гостро, адже критерієм оптимальності буде максимізація ефекту від використання таких енергоресурсів, на що, безумовно, впливає вартість транспортування отриманої енергії.

*Рівномірність розміщення на планеті.* Невідновлювані та відновлювані енергоресурси можна порівнювати за критерієм однорідності їх розміщення на планеті. Невідновлювані енергоресурси надзвичайно нерівномірно розміщені на планеті. У [58] автор звертає увагу на велику нерівномірність у розміщенні традиційних ресурсів на території планети з тяжінням до обмеженої наявності в регіонах певних груп ресурсів та на високу концентрацію головних видів промислових ресурсів на досить обмеженому ареалі. Водночас відновлювані енергоресурси розміщені більш однорідно на території планети. Можна констатувати, що рівень концентрації енергії у відновлюваних енергоресурсів є менш щільним та більш рівномірним, аніж у невідновлюваних. Наприклад, основними експортерами природного газу є Росія (31 %), Іран (15 %) та Катар (9 %), які контролюють понад половину світових запасів газу [50]. Водночас такими відновлюваними енергоресурсами як сонячна енергія, енергія вітру, біомаса володіють

практично усі країни. Дещо нерівномірним може бути використання гідроенергії та геотермальної енергії.

*Вартість одиниці отримуваної енергії* є ще однією характеристикою, яка розставляє пріоритети використання відновлюваних та невідновлюваних енергоресурсів. Цілком логічно, що ціна невідновлюваних енергоресурсів постійно зростатиме з часом (а відповідно, і вартість енергії, отримуваної з використанням цих ресурсів), у зв'язку із постійним зниженням їх кількості. Ця думка, зокрема, підтверджується правилом Хоттелінга. Відповідно до правила Хоттелінга, ціна на будь-який викопний ресурс може бути описана таким чином [59]:

$$p_t = p_0 \cdot e^{\gamma t}, \quad (1.14)$$

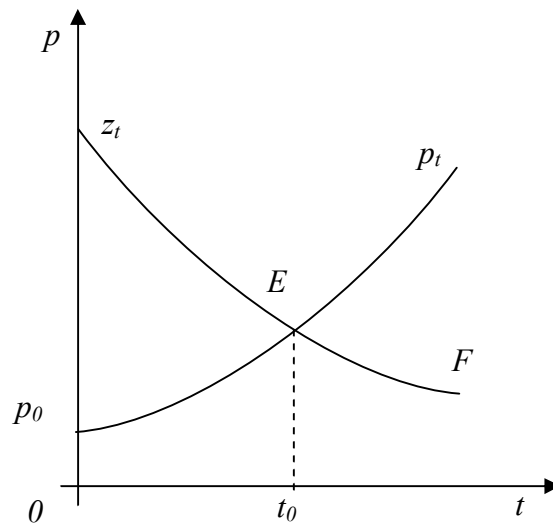
де  $p_0$  та  $p_t$  – ціна ресурсу на початок періоду та в момент  $t$  відповідно;

$\gamma$  – норма дисконту (у Хоттелінга збігається з величиною банківського відсотка).

У [60] автори зазначають, що зміна ціни на невідновлювані ресурси в певний момент часу починає визначатися заміниками цих ресурсів. Такими заміниками можуть бути відновлювані енергоресурси. На рис.1.9. зображено вплив затрат використання відновлюваних ресурсів на ціну невідновлюваних ресурсів.

З рис. 1.9. видно, що ціна невідновлюваного ресурсу зростає з плином часу (відповідно до правила Хоттелінга). Водночас, затрати на розроблення відновлюваних енергоресурсів знижуються з часом, що зумовлено розвитком науково-технологічного прогресу та технологій розроблення таких ресурсів, зумовленого здорожчанням використання невідновлюваних енергоресурсів. Таким чином, до моменту  $t_0$  ціна невідновлюваного ресурсу змінюватиметься за траєкторією  $p_0 - p(t_0)$ . Після того, як затрати на розроблення відновлюваного ресурсу-замінника зрівняються з ціною невідновлюваного ресурсу, ціна невідновлюваних ресурсів змінюватиметься відповідно до зміни затрат на використання відновлюваного ресурсу заміника [60]. При

цьому зрозуміло, що ціна невідновлюваного ресурсу у довготерміновому аспекті не може бути нижчою витрат на його розроблення.

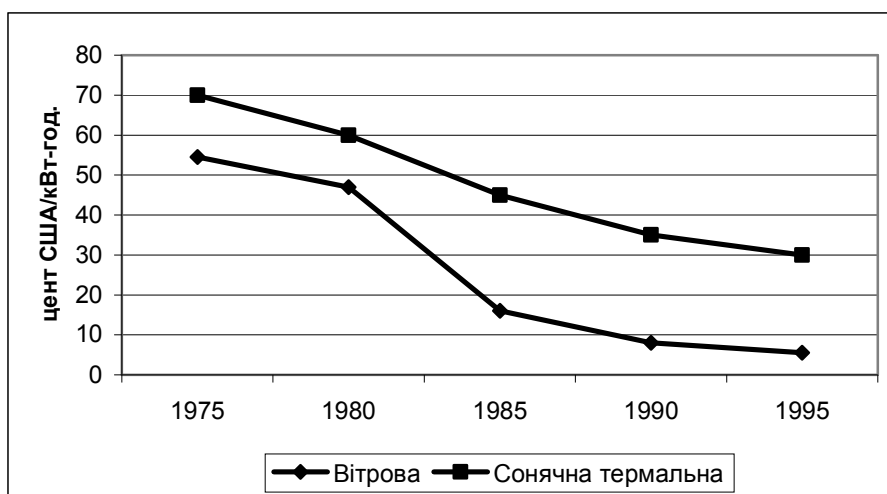


**Рис. 1.9.** Графік зміни ціни невідновлюваного енергоресурсу за умов зниження затрат розроблення відновлюваного ресурсу.

Джерело: [60].

$p_t$  – функція цін на невідновлюваний енергоресурс;  $z_t$  – функція затрат на розроблення відновлюваного енергоресурсу.

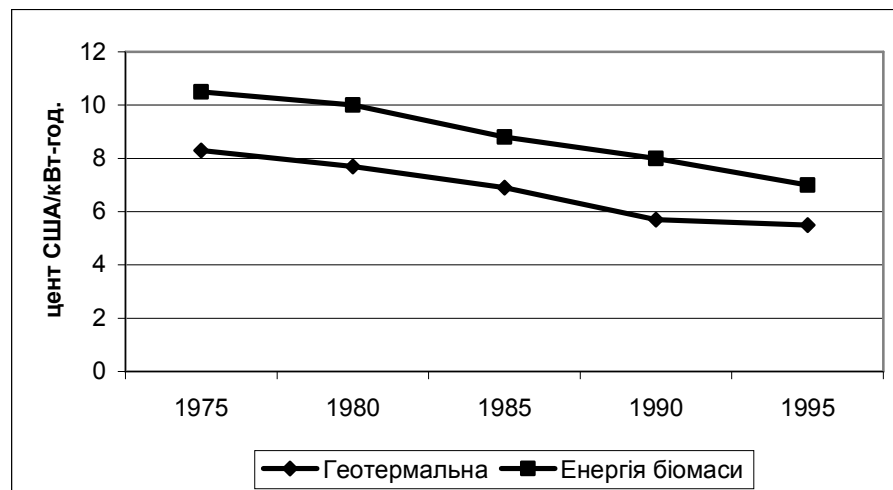
Нарощування обсягів виробництва енергії з використанням відновлюваних енергоресурсів знижує собівартість виробництва цієї енергії. Така теза може бути проілюстрована рисунками 1.10 та 1.11, на яких зображено зміну ціни енергії, отримуваної з деяких відновлюваних джерел протягом 20-річного періоду (1975-1995 рр.) у США.



**Рис. 1.10.** Динаміка собівартості виробництва 1 кВт-год. вітрової електроенергії та сонячної термальної енергії в США за 1975-1995 рр., у цінах 1995 р.

Джерело: власна розробка на основі [61]

Питання порівняння цін на відновлювані та невідновлювані енергоресурси розглянемо не лише з погляду їхньої ринкової вартості (т.зв. бухгалтерської вартості), а й з точки зору їх економічної вартості. Для прикладу, як відновлюваний енергоресурсу оберемо деревину. Поняття економічної вартості співмірне з поняттям альтернативної, яка передбачає розгляд можливості найефективнішого варіантного використання ресурсу, або ж його невикористання взагалі.



**Рис. 1.11.** Динаміка собівартості виробництва 1 кВт-год. геотермальної енергії та енергії біомаси в США за 1975-1995 рр., у цінах 1995 р.

*Джерело: власна розробка на основі [61]*

Для отримання енергії можна використовувати спеціально вирощену для цього деревину (використання плантаційної деревини для отримання енергії) [62, 63] або ж певні деревинні відходи (це, наприклад, може бути некондиційна деревина, відходи певного деревообробного виробництва, уживана деревина, що використовувалась в промисловості або була предметом споживання, наприклад, старі меблі та інше). Якщо для отримання енергії використовувати плантаційну деревину, то зрозуміло, що вона має певну вартість, тобто собівартість енергоресурсу вища нуля. Якщо ж для спалювання використовуються певні відходи деревообробного виробництва, то вартість цих відходів (у нашому випадку енергоресурсу) може бути нульовою, додатною або ж навіть від'ємною [64].

У цій ситуації скористаємось концепцією альтернативної вартості. Під альтернативною вартістю блага розуміємо максимальну величину доходу,

яку могло б принести благо у разі використання його за іншим призначенням [55]. Тобто альтернативною вартістю відходів може бути ціна, яку їхній виробник міг би отримати, наприклад, продавши їх. Наприклад, деревинна стружка, що утворюється під час деревообробного виробництва, може бути спаленою на цьому ж деревообробному підприємстві з метою отримання енергії або продана на інше виробництво (наприклад, виробництво ДСП). У такому разі альтернативною вартістю відходів буде ціна, що її можна отримати від найбільш вдалого продажу цих відходів і економічна вартість ресурсу більша нуля. Якщо ж альтернативних варіантів використання цих відходів немає, то економічна вартість ресурсу дорівнює нулю. Існує ще й випадок, за якого виробник відходів повинен сплатити плату за забруднення або здійснювати витрати, пов'язані зі зберіганням цих відходів. У такому разі економічна вартість ресурсу нижча від нуля, бо використавши деревні відходи як енергоресурс, він позбавить себе потреби здійснювати витрати щодо збереження цих відходів [64]. Тож можна констатувати, що потенційно вартість отримання енергії з відновлюваних ресурсів може бути нижчою, аніж у разі використання невідновлюваних енергоресурсів. Зростання ресурсомісткості добування невідновлюваних енергоресурсів у процесі їх виснаження, а також відсутність конкуренції на ринку невідновлюваних енергоресурсів сприяє постійному зростанню їхніх цін.

*Вплив на ПЖС.* Результатом використання будь-якого ресурсу є позитивні та негативні ефекти, зокрема і в сфері впливу на довкілля. Зрозуміло, що використання відновлюваних ресурсів не є абсолютно екологічно безпечним. У літературних джерелах точаться дискусії щодо рівня екологічної безпеки використання відновлюваних та невідновлюваних енергоресурсів.

Використання відновлюваних енергоресурсів теж може мати негативний вплив на природне середовище. Зокрема під час використання сонячної енергії головною екологічною загрозою може бути зміна рівня затемненості

земної поверхні, і як наслідок, – зміна клімату, в гідроенергетиці – відчуження земель, у вітроенергетиці – значне шумове забруднення та інше. Не є винятком і біологічно відновлювані енергоресурси, адже вони є частиною природної системи, і втручання в неї може призводити до негативних екологічних наслідків.

*Рівень розвитку технологій з використання ресурсу.* Розроблення відновлюваних енергоресурсів є досить ресурсномістким на сьогодні. Певною мірою це зумовлено недостатнім рівнем розвитку технологій з використання відновлюваних енергоресурсів. Удосконалення технологій та інвестиції в цю галузь (що стимулюється в багатьох розвинених країнах) спростить використання цих ресурсів та зробить доступнішим використання енергії відновлюваних енергоресурсів.

*Обсяги ресурсів.* Обсяги ресурсів можна одночасно віднести до слабких сторін як відновлюваних, так і невідновлюваних енергоресурсів. З одного боку, обсяги невідновлюваних ресурсів є скінченними та зможуть забезпечувати людство енергією відносно нетривалий період часу, що звісно ж є слабкою стороною використання невідновлюваних енергоресурсів. При цьому, потенційно обсягів відновлюваних енергоресурсів цілком достатньо для забезпечення енергетичних потреб людства. Наприклад, обсяги споживання електроенергії США сягають  $3,2 \times 10^{12}$  кВт-год, що становить 25 % світового споживання. Водночас відомо, що такий самий обсяг електроенергії могли б забезпечити сонячні гальванічні елементи розміщені в штаті Невада на території  $27\,600 \text{ км}^2$  (що становить менше 0,4 % доступних площ США) за ККД 10 %, а у випадку рівності ККД 15 % така площа скоротиться до  $18\,200 \text{ км}^2$  [65]. У 2000 році вітрова енергія забезпечувала виробництво 18 000 МВт енергії, що еквівалентно обсягам виробництва ядерної енергії в 1970 році, а в 2004 році обсяги виробництва вітрової енергії становили 48 000 МВт [66]. Відповідно до оцінок департаменту США з питань енергетики, річний потенціал вітрової енергетики еквівалентний використанню  $2,61 \cdot 10^{26}$  тонн вугілля, що більш ніж в 15 разів перевищує



обсяги сучасного світового енергоспоживання [66]. Водночас недостатній рівень розвитку та поширеності технологій з використання невідновлюваних енергоресурсів є слабкою стороною їх використання.

Розглянувши характеристики невідновлюваних та біологічно відновлюваних енергоресурсів, слабкі та сильні сторони їхнього використання, а також ефекти, які виникають під час заміщення ресурсів, потрібно звернутися до чітких формалізованих критеріїв прийняття рішення про здійснення заміщення. Мова про це піде в наступному підрозділі цього розділу.

### **1.3. Критерії прийняття рішень про заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними**

Одним із основних критеріїв задачі про заміщення ресурсів є критерій економічної ефективності. Задача про заміщення ресурсів – це вибір оптимальної кількості певного ресурсу, потрібної для заміни іншого ресурсу в межах певної виробничої функції, з умовою досягнення максимального позитивного ефекту такої заміни. Сам критерій ефективності можна розглядати під різними ракурсами. Зокрема, можемо розглядати ефективність з економічної, екологічної та еколого-економічної точок зору, а також з погляду національної безпеки і соціальної ефективності такого заміщення. Врахування критеріїв соціальної ефективності та зміцнення енергетичної безпеки при заміщенні ресурсів передбачає ширший масштаб розгляду, аніж конкретна виробнича функція.

Для оцінки ефективності заміщення ресурсів з погляду зміцнення національної безпеки можна використати, наприклад, запропонований нами показник оцінки енергетичної залежності країни. Зниження показника енергетичної залежності, розрахованого за формулами (1.10) та (1.12), свідчатиме про зниження рівня енергетичної залежності, а відповідно – про позитивний ефект у сфері національної безпеки від заміщення ресурсів. Ще одним критерієм оцінки ефективності заміщення в цій сфері може бути

оцінка рівня конкурентоспроможності продукції. Для здійснення такої оцінки можна застосовувати показники конкурентоспроможності енергії виробленої з енергоресурсів, вибраної для заміщення.

Розглянемо детальніше показники економічної та екологічної ефективності, а також комплексний показник еколого-економічної ефективності заміщення ресурсів.

Під критерієм ефективності розуміємо такий спосіб заміни певного ресурсу іншим, коли за незмінного кінцевого обсягу виробництва загальна вартість ресурсів після заміщення є мінімальною порівняно з всіма іншими альтернативами заміни. Критерій ефективності можна подати у вигляді технічної максимізації або технічної мінімізації [67]. Постулат технічної максимізації полягає у виготовленні максимально можливої кількості благ з одночасною найвищою продуктивністю використання ресурсів. Постулат технічної мінімізації полягає у виготовленні усталеної кількості благ із мінімальними затратами ресурсів. Постулат технічної мінімізації є двоїстою задачею до задачі з цільовою функцією технічної максимізації.

Визначимо умови ефективного заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними, в межах конкретної виробничої функції. Цю проблему неодноразово висвітлювали в науковій літературі (див напр.[68-71]). Але автори, приділяючи значну увагу проблемі обмеженості невідновлюваного ресурсу та зміні обсягів виробництва в процесі заміщення, недостатньо дослідили екологічні чинники заміщення та проблему вибору ресурсів в часі. Ми частково вже зверталися до даної проблеми (див. напр. [72]).

Розглянемо задачу економічного оптимуму поєднання двох частково взаємозамінних ресурсів  $X_1$  та  $X_2$  у межах однієї виробничої функції. Розглянемо виробничу функцію  $Y = f(X_1, X_2)$ , яка визначає обсяги виробництва певного блага, при використанні ресурсів  $X_1$  та  $X_2$ . У даній виробничій функції абстрагуємося від використання інших ресурсів, прийнявши їх обсяги незмінними.

Оптимальне поєднання ресурсів (кількість ресурсів  $X_1$  та  $X_2$ ) для виготовлення найбільшої кількості блага при загальних витратах на ресурси, які не перевищуватимуть  $C$ , матиме місце, при виконанні умов:

$$\begin{aligned} Y = f(X_1, X_2) &\rightarrow \max \\ p_1 \cdot X_1 + p_2 \cdot X_2 &\leq C, \\ X_1, X_2 &\geq 0 \end{aligned} \quad (1.15)$$

де  $p_1$  та  $p_2$  – ціна одиниці ресурсу  $X_1$  та  $X_2$  відповідно;

$X_1$  та  $X_2$  – обсяги використовуваних ресурсів.

Загальновідомо (див. напр. [55, 67]), що найефективніше поєднання двох взаємозамінних ресурсів (не абсолютно взаємозамінних) в межах виробничої функції матиме місце за умови рівності граничної норми технологічної заміни ресурсів величині відношенню цін на ці ресурси тобто, якщо виконуватиметься умова:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\partial Y}{\partial X_2} / \frac{\partial Y}{\partial X_1}. \quad (1.16)$$

Умова (1.16) є рішенням задачі (1.15). Таким чином, оптимальне поєднання ресурсів із використанням умови (1.16), крім технологічних особливостей заміщення ресурсів, враховує лише їхню вартість, тобто є чисто економічним критерієм оптимального поєднання та заміщення ресурсів. Припустимо, що  $X_1$  та  $X_2$  є енергетичними ресурсами, а їх використання за конкретної технології спричинює забруднення довкілля в розмірі  $Z_1$  та  $Z_2$  у розрахунку на одиницю ресурсу. Тоді оптимальне поєднання та заміщення ресурсів з використанням умови (1.16) не призведе до оптимального поєднання ресурсів з точки зору забруднення, яке виникає внаслідок використання ресурсів. Припустимо, що  $c_1^Z$  та  $c_2^Z$  – витрати для запобігання забрудненню під час використання ресурсів  $X_1$  та  $X_2$  відповідно. Запобігання забрудненню передбачає зниження рівня забруднення від використання ресурсів до певного оптимального рівня  $Z_e$ . Тоді, умова заміщення та оптимального поєднання ресурсів, із врахуванням еколого-економічного критерію, може бути представлена у вигляді:

$$\frac{p_2 + c_2^z}{p_1 + c_1^z} = \frac{\partial Y}{\partial X_2} / \frac{\partial Y}{\partial X_1}. \quad (1.17)$$

Умова (1.17) є розв'язком задачі про найбільш ефективне поєднання ресурсів в межах виробничої функції, і відповідає оптимальному розподілу ресурсів, яку використовують для виробництва блага. Така умова заміщення ресурсів враховує не лише економічні та технологічні чинники, а й екологічні.

Водночас така умова розподілу ресурсів буде оптимальною лише в статичному випадку, оскільки задача (1.15) не враховує міжчасових зв'язків, а отже, не визначає оптимального розподілу та використання ресурсів у часі. Визначимо критерії ефективного використання ресурсів із врахуванням міжчасових зв'язків.

Розглянемо умови оптимального поєднання та заміщення ресурсів у часі, з урахуванням особливостей відновлюваних та невідновлюваних енергоресурсів. Припустимо, що ресурс  $X_n$  є невідновлюваним, а  $X_r$  – паливним відновлюваним. Розглянемо часовий горизонт виробництва з двох років. Використання обох груп енергоресурсів призводить до антропогенного забруднення у формі викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря. Для врахування екологічної складової використаємо підхід, запропонований вище (формула (1.7)): необхідно враховувати вартість очищення продуктів горіння палива з вищим питомим рівнем забруднення до рівня забруднення, яке виникає при спалюванні енергоресурсу з нижчим питомим рівнем забруднення. Зважаючи на те, що невідновлювані ресурси володіють вищим питомим рівнем забруднення, будемо враховувати вартість очищення продуктів горіння невідновлюваного ресурсу ( $X_n$ ) до рівня, який виникає при використанні біологічно відновлюваного ( $X_r$ ).

Таким чином, задачу найбільш ефективного поєднання двох ресурсів для виробництва блага з урахуванням проблеми вибору ресурсів у часу можна представити наступним чином:

$$\begin{aligned}
Y &= Y_1 + Y_2 \rightarrow \max \\
(p_n^1 + c_z^1) \cdot X_n^1 + p_r^1 \cdot X_r^1 &\leq C_1 \\
(p_n^2 + c_z^2) \cdot X_n^2 + p_r^2 \cdot X_r^2 &\leq C_2 \\
Y_1, Y_2, X_n^1, X_n^2, X_r^1, X_r^2 &\geq 0
\end{aligned} \tag{1.18}$$

де  $Y_1$  та  $Y_2$  – обсяги виробленого блага у перший та другий роки відповідно;

$X_n^1$  та  $X_r^1$  – обсяги споживання невідновлюваного та відновлюваного ресурсу відповідно для виготовлення блага в перший рік;

$X_n^2$  та  $X_r^2$  – обсяги споживання невідновлюваного та відновлюваного ресурсу відповідно для виготовлення блага в другий рік;

$p_n^1$  та  $p_r^1$  – ціна одиниці невідновлюваного та відновлюваного ресурсу відповідно в першому році;

$p_n^2$  та  $p_r^2$  – дисконтована ціна (з позиції першого року) одиниці невідновлюваного та відновлюваного ресурсу відповідно в другому році;

$C_1$  та  $C_2$  порогові значення витрат на ресурси для виготовлення блага в перший та другий рік відповідно

Для розв'язку задачі (1.18) запишемо її лагранжیان, який в кінцевому результаті матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
L(X_n^1, X_r^1, X_n^2, X_r^2, \lambda_1, \lambda_2) &= Y(X_n^1, X_r^1) + Y(X_n^2, X_r^2) - \\
&+ \lambda_1 (C - (p_n^1 + c_z^1) \cdot X_n^1 - p_r^1 \cdot X_r^1) + \lambda_2 (C_2 - (p_n^2 + c_z^2) \cdot X_n^2 - p_r^2 \cdot X_r^2)
\end{aligned}$$

У такому випадку, умови оптимальності матимуть наступний вигляд:

$$\frac{\partial Y_1}{\partial X_r^1} - \lambda_1 p_r^1 = 0; \quad \frac{\partial Y_1}{\partial X_n^1} - \lambda_1 p_n^1 = 0; \quad \frac{\partial Y_2}{\partial X_r^2} - \lambda_2 p_r^2 = 0; \quad \frac{\partial Y_2}{\partial X_n^2} - \lambda_2 p_n^2 = 0; \tag{1.19}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = C - (p_n^1 + c_z^1) \cdot X_n^1 - p_r^1 \cdot X_r^1 = 0; \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = C_2 - (p_n^2 + c_z^2) \cdot X_n^2 - p_r^2 \cdot X_r^2 = 0. \tag{1.20}$$

Умови (1.20) відповідають вихідній задачі (1.18), а найефективніше поєднання ресурсів матиме місце при виконанні умов (1.19), які можемо переписати наступним чином:

$$\frac{\frac{\partial Y_1(X_n^{1*}, X_r^{1*})}{\partial X_n^1} / \frac{\partial Y_1}{\partial X_r^1}}{\frac{\partial Y_2(X_n^{2*}, X_r^{2*})}{\partial X_n^2} / \frac{\partial Y_2}{\partial X_r^2}} = \frac{p_n^1 + c_z^1}{p_r^1}, \quad (1.21)$$

де  $X_n^{1*}, X_r^{1*}, X_n^{2*}, X_r^{2*}$  – обсяги оптимального використання невідновлюваних та відновлюваних ресурсів для виробництва блага у першому та другому році відповідно.

На перший погляд, умови оптимального поєднання ресурсів (1.21) не відрізняються від статичної умови поєднання ресурсів (1.17). Проте найцікавішою особливістю (1.21) є те, що в другому році ми приймаємо до увагу дисконтовані ціни.

У літературних джерелах мають місце дискусії з приводу того, що при врахуванні міжчасових зв'язків вартість невідновлюваних ресурсів повинна дисконтуватися не лише на „класичний” коефіцієнт дисконтування, який використовується для дисконтування трудо-капітальних витрат. Зокрема, в [73-75] зазначено, що враховуючи те, що ресурсно-екологічна система звужується, а відповідно, цінність виснажуваних природних ресурсів зростає, в той час як трудо-капітальних – зростає. У такому зв'язку ресурсно-екологічна норма дисконту (в нашому випадку  $r$ ) – від'ємна [75].

Водночас питання дисконтування вартості відновлюваних ресурсів є доволі дискусійним. Наприклад, у випадку великого запасу та доступності відновлюваного ресурсу, споживання його в поточному періоді не обмежує його споживання в наступних періодах і навпаки, а відсутність можливості складування деяких відновлюваних ресурсів нівелює потребу дисконтування їхньої вартості. При цьому, у разі обмеженості доступності відновлюваного ресурсу, дисконтування його вартості видається доцільним та потрібним.

Введемо вектор  $P^1 = (p_n^1, p_r^1)$  – вартість одиниці невідновлюваного та відновлюваного ресурсу в перший рік та  $P^2 = (p_n^2, p_r^2)$  – приведена вартість одиниці невідновлюваного та відновлюваного ресурсу в другому році.

У короткотерміновому періоді (що передбачено задачею (1.18)) доцільно припустити про незмінність цін на відновлювані та невідновлювані ресурси. Аналогічно доцільно припустити про незмінність витрат із запобігання забрудненню, тобто  $c_z^2 = c_z^1$ . Тоді, враховуючи міжчасові зв'язки, перепишемо вектор  $P^2$  наступним чином:

$$P^2 = (p_n^2, p_r^2) = (p_n^1 \cdot (1+d)^{-1} \cdot (1+r)^{-1}, p_r^1 \cdot (1+d)^{-1}), \quad (1.22)$$

де  $r$  – норма дисконтування невідновлюваних природних ресурсів;

$d$  – „класичний” коефіцієнт дисконтування.

Таким чином, враховуючи (1.22), умову оптимального поєднання та використання відновлюваних і невідновлюваних ресурсів у часі з урахуванням еколого-економічного критерію можна переписати:

$$\frac{\partial Y_1(X_n^{1*}, X_r^{1*})}{\partial X_n^1} \Big/ \frac{\partial Y_1}{\partial X_r^1} = \frac{p_n^1 + c_z^1}{p_r^1} \quad (1.23)$$

$$\frac{\partial Y_2(X_n^{2*}, X_r^{2*})}{\partial X_n^2} \Big/ \frac{\partial Y_2}{\partial X_r^2} = \frac{p_n^1(1+r)^{-1} + c_z^1}{p_r^1}$$

З умов (1.23) видно, що співвідношення між обсягами поточного та майбутнього споживання невідновлюваних ресурсів, крім чинників, які враховуються в статичному випадку (технологічні фактори, екологічні – вартість запобігання забрудненню, економічні – ціни на ресурси), визначається некласичним коефіцієнтом дисконтування, тобто зростанням цінності невідновлюваних ресурсів в часі, що зумовлено зменшенням їх обсягів.

Значущість коефіцієнта дисконтування вартості невідновлюваних ресурсів при прийнятті рішень про обсяги використання відновлюваних та невідновлюваних ресурсів дозволяє зробити ще один важливий висновок. Задача (1.18) моделює випадок, коли немає нагального дефіциту неповновлюваних ресурсів і їх вистарчатиме для виготовлення необхідної кількості благ в найближчі роки, тобто невідновлювані ресурси будуть доступними саме в такій кількості, як вимагає умова (1.23). У випадку ж коли на найближчу перспективу прогнозується дефіцит невідновлюваних ресурсів,

постає питання в якому часовому періоді споживати невідновлювані ресурси (в теперішньому чи майбутніх) відповідно до однієї з умов (1.23), а в яких замінювати дефіцит невідновлюваних поновлюваними. Для відповіді на це запитання корисною є роль коефіцієнту дисконтування вартості невідновлюваних ресурсів, використаного в (1.23). Саме він схиляє до того, що використання невідновлюваних енергоресурсів доцільно переносити на майбутні періоди, замінюючи їх дефіцит в поточному споживанням відновлюваних.

Звісно ж, такі міркування не враховують факту, на який звертають увагу автори [60], що зростання вартості невідновлюваних ресурсів матиме місце лиш до моменту, доки не з'являться їх штучні замінники в достатній кількості, які будуть дешевшими, а відтак припиниться зростання промислового значення конкретних невідновлюваних ресурсів. Але не зважаючи на потенційне зниження промислового значення невідновлюваних ресурсів в майбутньому, соціальна та екологічна складова їх вагомості не знижуватиметься. Адже екологічні наслідки розробок невідновлюваних ресурсів в поточних періодах можуть бути відчутними в майбутніх, а екологічний збиток від розробки родовищ розтягується в часі та потребує здійснення заходів з його усунення. Не можна виключати і втрату в майбутньому, наприклад, рекреаційних функцій екосистем, внаслідок поточних розробок родовищ невідновлюваних енергоресурсів. Таким чином, коефіцієнт дисконтування вартості невідновлюваних ресурсів повинен враховувати екологічній і соціальні вигоди, які можуть бути втрачені наслідок розробки невідновлюваних ресурсів в поточних періодах.

Із запропонованих вище моделей можемо зробити висновок, що основними чинниками, які впливають та визначають ефективно заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними, а відповідно – пропорції їхнього використання у виробництві благ, є вартість ресурсів та очікування щодо її зміни, обсяги запасів невідновлюваних ресурсів, а також рівень технологічної заміни відновлюваних та невідновлених ресурсів. Звідси можна зробити



висновок, що регулювання оптимального розподілу на макрорівні є можливим через використання різноманітних фінансових важелів, які б звертали увагу на використання саме відновлюваних ресурсів та враховували рівень забруднення, що виникає в процесі використання цих ресурсів.

Основною метою заміщення ресурсів якраз і є прагнення підвищити ефективність виробництва благ. Так, з точки зору економічної ефективності, заміщення ресурсів може бути спрямоване на уникнення використання дорожчих ресурсів та залучення дешевших ресурсів до процесу виготовлення благ, зниження величин капітальних та трудових затрат, з метою зниження собівартості кінцевих благ. Часто зниження трудових та капітальних витрат відбувається саме завдяки зниженню ефективності використання природних ресурсів. З погляду екологічної ефективності, метою заміщення ресурсів є мінімізація впливу на довкілля, прагнення мінімізувати використання традиційних (невідновлюваних) природних ресурсів та перехід до використання біологічно відновлюваних. Оптимальним підходом на сучасному етапі розвитку людства можна вважати прагнення еколого-економічної ефективності, який є поєднанням двох згаданих вище.

Зауважимо, що економічний підхід прийняття рішень зважає лише на загальні витрати для виготовлення благ, тобто цільовою функцією є зниження загальної вартості чинників виробництва із одночасною максимізацією результату виробничої функції. Таким чином, за такого підходу не враховується кількість використовуваних ресурсів, відповідно недооцінюються ті ресурси, ринкова ціна яких нульова, але які задіяні у процесі виробництва благ. Фактично, єдиним, що береться до уваги за даного підходу з точки зору раціонального використання природних ресурсів, є плата за забруднення довкілля та плата за використання природних ресурсів. А, як відомо, плата за використання ресурсу не завжди тотожна ціні (чи економічній оцінці) такого ресурсу. Тож прийняття рішень про заміщення ресурсів, з використанням лише економічного критерію ефективності (без врахування екологічного ефекту) є наперед хибним.

Екологічний критерій ефективності прийняття рішень в здебільшого притаманний суб'єкту природоохоронної діяльності. Цільовою функцією за такого способу прийняття рішень буде зниження негативного впливу на довкілля, а саме: мінімізація витрат природних ресурсів; максимізація питомої частки відновлюваних природних ресурсів у загальному обсязі використовуваних природних ресурсів; мінімізація викидів забруднюючих речовин у довкілля. Звісно ж, ціна ресурсу дає змогу оптимізувати його використання. При цьому зауважимо, що не завжди ринкова ціна ресурсу відповідає його економічній оцінці. Крім цього, максимізація цільової функції із збереження природних ресурсів призводить до зростання капітальних та трудових витрат.

Еколого-економічний критерій в цій ситуації оптимальним, оскільки поєднує в собі два попередні підходи. Цільовою функцією такого критерію ефективності є мінімізація вартості усіх використовуваних ресурсів, враховуючи природні<sup>2</sup> з оцінкою їх вартості, за конкретного обсягу благ, що виготовляються. Головною перевагою використання інтегрального еколого-економічного критерію оцінки заміщення ресурсів є єдина кількісна оцінка, яка охоплює екологічні та економічні зміни. При цьому варто зробити зауваження про вартість ресурсів, яка приближається до оцінки під час прийняття рішення про заміщення ресурсів. Зрозуміло, що в цьому випадку не використовується ринкова вартість ресурсу. Треба брати до уваги економічну оцінку ресурсу. Також варто враховувати альтернативну вартість використання ресурсу за різними призначеннями. Очевидно, що економічна оцінка вартості ресурсу змінюється в просторі та часі, залежно від загальних вільнодоступних обсягів цього ресурсу і наявності та доступності високоеластичних ресурсів-замінників.

Якщо йдеться про заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними та критерії ефективності такого заміщення, фактично розуміємо сценарії

---

<sup>2</sup> У цій ситуації довкілля теж розглядається як природний ресурс. Тож використання такого критерію передає не лише конкретне використання ресурсів, але й зниження рівня забрудненості навколишнього середовища.

природокористування, які були предметом розгляду науковців (див. напр. [75]).

Економічному критерію оцінки відповідатиме сценарій природокористування та господарювання, за якого основна увага приділяється економії трудо-капітальних затрат. Таку модель можна подати таким чином:

$$Q_t \cdot C_t \rightarrow \min, \quad (1.24),$$

при цьому повинні виконуватися такі умови:

$$\begin{aligned} 0 \leq Q_t \leq L_{Q_t} \\ R_t \cdot Q_t \geq 0 \\ Q_t \rightarrow \max \\ 0 \leq Q_t \cdot R_t \leq L_{R_t} \end{aligned}, \quad (1.25),$$

де  $Q_t$  – вектор обсягів виробництва за рік  $t$ ;

$C_t$  – вектор дисконтованих трудо-капітальних затрат на виробництво продукції;

$L_{Q_t}$  – вектор, який визначає максимальні потреби у виробництві блага або максимальні технологічні можливості його виробництва;

$R_t$  – вектор витрат природних ресурсів на одиницю блага, що виготовляється;

$L_{R_t}$  – вектор доступних обсягів ресурсів.

Таким чином, вектор  $Q_t^*$  буде оптимальним планом задачі (1.24-1.25), якщо виконуватиметься умова:

$$Q_t^* \cdot R_t = L_{R_t}. \quad (1.26)$$

Двоїстою задачею до задачі (1.24) буде така:

$$P_t \cdot Q_t - C_t \cdot Q_t \rightarrow \max, \quad (1.27)$$

де  $P_t$  – вектор, який задає вартість готової продукції.

Екологічний критерій господарської діяльності цільовою функцією визначає збереження довкілля та природних ресурсів. Таким чином, сценарій

природокористування, який відповідає екологічному критерію оцінки господарської діяльності, можна представити таким чином:

$$W_t \cdot R_t \cdot Q_t \rightarrow \min , \quad (1.28)$$

при цьому повинні виконуватися умови:

$$\begin{aligned} 0 \leq Q_t \leq L_{Q_t} \\ R_t \cdot Q_t \geq 0 \end{aligned} , \quad (1.29)$$

де  $W_t$  – вектор цін одиниці природного ресурсу.

Таким чином, за певного суспільно-необхідного рівня виробництва благ  $Q_t^*$ , умова (1.28) задовольнятиметься, якщо справджуватиметься таке:

$$R_t \rightarrow \min , \quad (1.30)$$

що означає максимально ощадливе використання природних ресурсів.

Комплексний еколого-економічний критерій оцінки господарської діяльності передбачає максимальну економію природних ресурсів та трудово-капітальних затрат для виробництва блага одночасно. Сценарій природокористування, який відповідає такому критерію оцінки, за своєю сутністю є поєднанням перших двох критеріїв. Його можна представити такою задачею математичного програмування:

$$(C_t + W_t \cdot R_t) \cdot Q_t \rightarrow \min , \quad (1.31)$$

при цьому повинні виконуватися такі умови:

$$\begin{aligned} 0 \leq Q_t \leq L_{Q_t} \\ R_t \cdot Q_t \geq 0 \end{aligned} . \quad (1.32)$$

Для оптимального плану задачі (1.31-1.32)  $Q_t^*$  виконуватиметься:

$$\bar{R}_t = R_t \cdot Q_t^* , \quad (1.33)$$

де  $R_t$  – оптимальний обсяг використання природних ресурсів у період  $t$ .

При цьому:

$$R_t \leq L_{R_t} . \quad (1.34)$$

Цілком зрозуміло, що модель (1.31-1.32) є компромісною між моделями (1.24-1.25) та (1.28-1.29), а тому значення  $C_t \cdot Q_t^*$  в моделі (1.31-1.32) буде

більшим, ніж аналогічний добуток векторів у моделі (1.24-1.25), а  $W_t \cdot R_t \cdot Q_t^*$  буде меншим, ніж у моделі (1.28-1.29).

Таким чином, використання такого критерію значно спрощує порівняння певних альтернатив і спрощення процесу прийняття рішень. При цьому використання еколого-економічного критерію заміщення ресурсів потребує паралельного контролю зміни його складових – економічного та екологічного ефектів для отримання об'єктивної оцінки та досягнення оптимальних результатів у разі такого заміщення (або хоча б одного компоненту – екологічного ефекту).

Проблема заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними є набагато складнішою порівняно з проблемою звичайного заміщення факторів, яка розглядається в мікроекономіці в рамках конкретної виробничої функції. Розгляд відновлюваного ресурсу (насамперед біологічного) на макрорівні не може бути аналогією розгляду використання ресурсу на мікрорівні [76]. Причиною цього є те, що на планетарному рівні або ж на рівні біоценозів використання відновлюваних ресурсів може мати впливи на різні біологічні процеси, зважаючи на те, що вони є складовими екосистем, а відповідно – впливають на функціонування природної системи. На рівень заміщення невідновлюваних ресурсів біологічно відновлюваними впливає також і кількість споживачів ресурсу та щільність їхнього розміщення, які рівнем споживання визначають потенціал відновлення ресурсу.

Тож використання еколого-економічного критерію заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними потребує дещо ширшого масштабу розгляду, на відміну від використання класичного економічного критерію. До уваги варто брати якщо не одну екосистему, то великі території, на яких міститься багато розмаїтих екосистем (чи представляють кілька великих біогеоценозів).

Здійснення еколого-економічної оцінки для кожного виду діяльності потребує своїх підходів, які б враховували всі особливості такої діяльності. У

наступних розділах розглянемо методологічні підходи до здійснення еколого-економічної оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними.

### **Висновки до першого розділу**

Використання енергоресурсів впливає на різні сфери людського життя: економічну, екологічну, соціальну, а також – на стан національної безпеки держави. Ефективне заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними сприяє позитивним змінам у цих сферах. Ефекти, які виникають в економічній, екологічній та соціальній сферах є взаємопов'язані, а від їхньої взаємодії залежить стан національної безпеки держави.

Рівень енергетичної залежності країни визначається не лише часткою імпортованих енергоресурсів в загальному обсязі кінцевого енергоспоживання, але й часткою кожного постачальника в обсязі кінцевого споживання конкретного енергоресурсу та кількістю постачальників. Збільшення кількості постачальників та диверсифікація імпорту знижує рівень енергетичної залежності країни, а відповідно сприяє забезпеченню національної безпеки.

Використання відновлюваних енергоресурсів має свої слабкі та сильні сторони. Сильними сторонами є потенціал незмінності або ж зростання обсягів ресурсів, більша рівномірність розміщення на планеті у порівнянні з невідновлюваними та відносно нижчий негативний вплив на природне середовище. Слабкими сторонами є відносно висока вартість отримуваної енергії, недостатній рівень розвитку технологій для розробки ресурсів та низька питома енергоємність ресурсу на одиницю площі розміщення ресурсу. Обсяги доступних ресурсів в залежності від конкретних умов можуть виступати слабкою чи сильною стороною використання відновлюваних енергоресурсів.

Відповідно до суто економічного критерію, на оптимальний розподіл відновлюваних та невідновлюваних ресурсів у межах виробничої функції впливають ціни на ці ресурси та очікування щодо їх зміни, прогнози доступних для використання в майбутньому запасів невідновлюваних ресурсів, а також технологічні особливості їхнього використання.

Водночас, враховуючи, що природні ресурси є невід'ємною складовою екологічної системи, а енергетичне використання проявляється у формі антропогенного забруднення довкілля, під час здійснення заміщення до уваги варто брати не лише економічні чинники, а й не менш важливі – екологічні. Таким чином, задача про еколого-економічну оцінку доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними потребує врахування ще великої кількості як економічних, так і екологічних змінних. Задача може бути вирішена з використанням різних методичних підходів здійснення еколого-економічної оцінки господарської діяльності.

Використання підходів, які базуються на економічній оцінці екологічних ефектів (зумовлених заміщенням невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними), передбачає врахування різноманітних чинників, часто за умови нестачі потрібної інформації, та приймання багатьох гіпотез та припущень. Зважаючи на це, такий підхід є утрудненим та може призводити до виникнення низки похибок, які знижують достовірність здійсненої оцінки. Дане твердження підсилюється різноманіттям екологічних ефектів, які виникають в процесі заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними. Дослідження екологічних ефектів, які виникають в процесі заміщення енергоресурсів, показало, що їх можна класифікувати за тривалістю, безпосередністю виникнення та горизонтом оцінки.

За таких умов доцільно застосовувати підходи, які були б позбавлені потреби оцінки екологічних ефектів, які виникають у процесі заміщення енергоресурсів. Вирішенням проблеми економічної оцінки екологічних ефектів є концепція економічної оцінки запобігання забрудненню, яка в цій інтерпретації зводиться до визначення вартості природоохоронних заходів,

які б забезпечили певний допустимий рівень забруднення довкілля під час використання енергоресурсів. В багатьох випадках за допустимий рівень може прийматися той, який виникає при використанні екологічно чистішого енергоресурсу. Важливим аргументом на користь використання підходу оцінки вартості запобігання забрудненню при порівнянні енергоресурсів, є те, що він забезпечує результати, які не суперечать підходу з використанням економічної оцінки екологічних ефектів.



## РОЗДІЛ II

### АНАЛІЗ СТАНУ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО ВІДНОВЛЮВАНИХ РЕСУРСІВ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЦІЛЯХ

#### 2.1. Характеристика біологічно відновлюваних енергоресурсів

Усі ресурси та послуги за господарським призначенням можна поділити на сільськогосподарські та промислові [77]. Своєю чергою, промислові ресурси поділяють на енергетичні та неенергетичні [77]. Важливим критерієм класифікації енергетичних ресурсів є їхня відновлюваність. Поширеним є поділ джерел енергії на 2 групи: відновлювані та невідновлювані. Варто зауважити, що такий поділ є найпростішим та водночас принципово важливим з точки зору подальшого розвитку енергетики та охорони навколишнього середовища. Своєю чергою, енергоресурси поділяють на вичерпні та невичерпні.

Розглянемо детальніше поняття відновлюваних та невідновлюваних ресурсів. Існує багато визначень відновлюваних та невідновлюваних енергетичних ресурсів. При цьому на основі цих визначень різні енергоресурси можна віднести до різних груп за критерієм відновлюваності, тобто визначення, які пропонують різні автори, мають суттєві відмінності.

У багатьох джерелах не наведено конкретних визначень понять відновлювальних та невідновлювальних енергетичних ресурсів, а лише подано їх перелік (див. напр. [41, 77-80]), трапляється також суперечлива інформація щодо віднесення певного енергоресурсу до конкретної групи за критерієм відновлюваності. На наш погляд, самі поняття «відновлювані» та «невідновлювані», не можуть бути використані як повноцінні критерії.

Резолюція 33/148 Генеральної Асамблеї ООН („Конференція ООН з нових та відновлюваних джерел енергії”) від 1978 року теж не дає визначень відновлюваних та невідновлюваних ресурсів, а лише наводить їх перелік. Зокрема, відповідно до цієї резолюції, до відновлюваних джерел енергії належать сонячна, геотермальна, вітрова, енергія морських хвиль припливів

та впливів океану, енергія біомаси деревини, деревинного вугілля, торфу, тяглової худоби, сланців, бітумінозних пісковиків та гідроенергія [41].

Розглянемо деякі визначення відновлюваних та невідновлюваних енергоресурсів. Зокрема в [38] під *відновлюваними енергоресурсами розуміють* джерела на основі енергетичних потоків, які постійно існують або періодично виникають в природі. При цьому наголошується, що відновлювана енергія існує в природному середовищі та не є наслідком цілеспрямованої людської діяльності [38]. *Невідновлювані енергоресурси* – це природні запаси речовин та матеріалів, які може використати людина для отримання енергії [38]. Зазначено також, що енергія невідновлюваних ресурсів перебуває в природі у зв'язаному стані і вивільняється внаслідок цілеспрямованої діяльності людини [38].

Не можемо погодитися з такими твердженнями. Для прикладу, біомаса однозначно належить до відновлюваних джерел енергії, проте отримання енергії з біомаси відбувається під цілеспрямованим впливом людини, а відповідно, виходячи із логіки визначень, наведених в [38], біомасу доцільно віднести до невідновлюваних джерел енергії. Отже, визначення відновлюваних та невідновлюваних енергоресурсів запропоновані Твайделлом Дж. та Уейром А. в [38], є певною мірою суперечливими.

У [81] та [82] автори дають визначення відновлюваних та невідновлюваних енергоресурсів, а також виокремлюють *обмежено відновлювані енергоресурси*. У [81] відновлювані ресурси висвітлюються як такі, які є відтворюваними біосферою (за рахунок кругообігу речовин: водні, біотичні, для яких не досягнуто поріг виродження) або за рахунок господарської діяльності людини (виготовлення ядерного палива, створення штучних ізотопів, синтез органічних речовин та ін.). Невідновлювані – це ресурси неперервного використання людиною без їх поповнення внаслідок господарської діяльності людини і в кругообігу речовин в природі [81]. Під обмежено відновлюваними ресурсами в [81] розуміють ресурси, які можуть відновлюватись частково. Аналогічні визначення наведено в [82].

Важко погодитися із такими тлумаченнями відновлюваних енергоресурсів. Зокрема, автори відносять ядерне паливо до відновлюваних ресурсів. Сумнівна ця теза хоча б тому, що запаси сировини для ядерної енергетики все-таки обмежені (незважаючи на великі обсяги існуючих запасів та надзвичайно високу енергоутворювальну спроможність ядерних енергоресурсів), а їхнє природне відтворення в найближчій перспективі неможливе. Не зовсім вдалим є визначення поняття відновлюваних ресурсів з погляду відтворення їх біосферою. Зокрема, сонячну енергію вважають відновлюваним джерелом енергії, але виникнення цієї енергії не пов'язане із біосферою та діяльністю людини для відтворення цієї енергії. Аналогічно й у випадку з вітровою та геотермальною енергією. Отже, якщо йдеться про відновлюваність природних ресурсів в аспекті швидкості їх відновлення потрібно зважати на тривалість життя людини та існування людства загалом.

У [83] автор для опису ресурсів природного життєвого середовища використовує термін „природний капітал”, який продукує потік природних ресурсів і послуг. При цьому, він поділяє природний капітал на відновлюваний (біологічний) та невідновлюваний (геологічний). Таким чином, автор до відновлюваних ресурсів відносить лише біологічно відновлювані ресурси. Розглядаючи енергетичні ресурси як складову природного капіталу, можемо стверджувати, що така інтерпретація відновлюваних та невідновлюваних ресурсів не зовсім точна, оскільки сонячну та вітрову енергію не можна віднести ані до біологічного, ані до геологічного природного капіталу. Водночас, можемо стверджувати, що такі ресурси є відновлюваними.

Критерій відновлюваності ресурсу для невичерпних відновлюваних ресурсів є відносним. Обсяги споживання такого ресурсу фактично обмежені періодичністю його відновлення. Своєю чергою, рівень використання невичерпного відновлюваного енергоресурсу не визначає можливостей та темпів його відтворення. Дещо інша ситуація із вичерпними відновлюваними енергоресурсами – темпи споживання такого ресурсу здебільшого

визначають швидкість його відновлення (біологічно відновлювані ресурси є яскравим прикладом цього). Зрозуміло, що темпи та обсяги відтворення вичерпних та невичерпних відновлюваних ресурсів визначають обсяги їх споживання.

Наше бачення поділу енергоресурсів за критеріями відновлюваності та вичерпності наведено рис. 2.1.

	<b>ВІДНОВЛЮВАНІ</b>	<b>НЕВІДНОВЛЮВАНІ</b>
<b>НЕВИЧЕРПНІ</b>	сонячна енергія; геотермальна; вітрова енергія; енергія води та ін.	
<b>ВИЧЕРПНІ</b>	біомаса; торф; горючі сланці; тяглова худоба та ін.	природний газ; нафта; кам'яне вугілля; уран.

**Рис. 2.1. Класифікація енергоресурсів за критеріями відновлюваності та вичерпності**

*Джерело: власна розробка*

З рис. 2.1. видно, що категорія вичерпності ресурсів є ширшою, аніж категорія відновлюваності, адже вичерпні ресурси, крім частини відновлюваних, охоплюють в себе всі невідновлювані ресурси.

Після виконаного аналізу дефініцій сформулюємо власні визначення, які стосуються певних характеристик енергоресурсів.

*Невідновлювані енергоресурси* – це ресурси природне збільшення кількості яких неможливе, у зв'язку з неспівмірно великим періодом часу (відносно історії розвитку людства), потрібними на їх утворення, що зумовлено геологічними особливостями. До них належать природний газ, нафта, кам'яне вугілля, уран.

*Відновлювані енергоресурси* – це ресурси, які постійно утворюються природним чи антропогенним шляхом.

*Невичерпні відновлювані енергоресурси* – частина відновлюваних ресурсів, доступні обсяги яких суттєво не залежать від інтенсивності їхнього використання.

*Вичерпні відновлювані енергоресурси* – частина відновлюваних ресурсів, доступні обсяги яких безпосередньо залежать від інтенсивності їх використання.

*Біологічно відновлювані енергоресурси* – енергоресурси органічного походження, відновлення яких відбувається завдяки акумулюванню сонячної енергії та кругообігу речовин в екосистемах.

Важливим чинником раціонального та ефективного використання відновлюваних енергоресурсів є дотримання принципів використання цих ресурсів. У літературних джерелах описано деякі загальні принципи використання відновлюваних ресурсів. Зокрема, в [38] пропонують такі принципи:

- ✓ аналіз використання існуючих відновлюваних ресурсів (акцент використання можливості задоволення енергетичних потреб вже існуючими відновлюваними енергоресурсами, а не розробленням нових);
- ✓ врахування часових характеристик відновлюваних енергоресурсів;
- ✓ якість відновлюваних енергоресурсів;
- ✓ комплексний підхід у плануванні енергетики на основі відновлюваних енергоресурсів;
- ✓ детермінуюча роль конкретної ситуації.

Ми, звісно ж, не заперечуємо важливість дотримання цих принципів, при розробці відновлюваних енергоресурсів, але водночас зауважимо, що є ряд принципів, які є не менш важливими на сучасному етапі розвитку людства та розвитку відновлюваної енергетики.

Зважаючи на особливості розроблення відновлюваних енергетичних ресурсів, постійне зростання потреб людства в енергії, погіршення стану природного середовища під дією антропогенного впливу, можемо окреслити деякі принципи використання цих ресурсів. Загалом їх можна розділити на загальні та спеціальні. Загальні принципи визначають основні правила використання відновлюваних енергоресурсів загалом, з метою вирішення актуальних проблем сучасності: забезпечення зростаючих потреб в енергії за раціонального використання ресурсів. Спеціальні принципи спрямовані на оптимізацію використання конкретної групи відновлюваних енергоресурсів.

До загальних принципів використання відновлюваних енергоресурсів, крім вже згаданих, можемо також віднести такі:

- ✓ екологічність;
- ✓ відновлюваність (невиснажливе використання);
- ✓ релевантність;
- ✓ максимізація еколого-економічного ефекту;

Зауважимо, що всі принципи є взаємопов'язаними, тож максимально позитивний ефект від використання відновлюваних ресурсів можна досягнути лише за комплексної опори на ці принципи.

*Екологічність.* Цей принцип передбачає мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище внаслідок заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними чи при виборі одного чи кількох ресурсів серед всієї множини відновлюваних ресурсів. Цей принцип, зокрема, передбачає створення такого обсягу відходів та такої якості, які б могли перероблятися біосферою або ж антропогенно.

*Відновлюваність (невиснажливе використання).* Цей принцип стосується лише вичерпних відновлюваних енергоресурсів. Ю.Ю. Туниця зауважує, що „відновлювані природні ресурси слід використовувати таким чином, щоб не втратити можливість їх постійного самовідновлення” [84]. Принцип відновлюваності (збалансованого використання) передбачає використання конкретного відновлюваного ресурсу в масштабах, які

забезпечують відновлення цього ресурсу та не обмежують можливості його споживання в майбутніх періодах. Метою цього принципу є забезпечення потрібної кількості ресурсу для забезпечення майбутніх потреб.

*Релевантність* передбачає врахування технологічних та технічних можливостей використання певного відновлюваного енергетичного ресурсу, для конкретних потреб. Цей принцип впливає з неабсолютної заміності різних енергоресурсів.

*Максимізація еколого-економічного ефекту* полягає у такому виборі конкретних ресурсів, технології їхнього використання, сфери їх застосування, за якого матиме місце максимальний економічний ефект порівняно з іншими альтернативами, за умовно взятих незмінних чи вищих екологічних наслідків таких альтернатив. До особливо важливих принципів варто додати наведений у [38] принцип комплексного підходу у використанні відновлюваних енергоресурсів, який передбачає комплексне використання різних енергоресурсів для вирішення певного комплексу тісно пов'язаних між собою (у часовому та просторовому вимірах) енергетичних потреб. Зауважимо лишень, що таке комплексне використання доцільне у разі досягнення позитивного економічного ефекту комплексного використання ресурсів. Наведені принципи спрямовані на мінімізацію негативних та максимізацію позитивних ефектів використання енергоресурсів.

Важливим біологічно відновлюваним енергоресурсом є деревина, основними складовими якої є енергетичні ресурси, отримані з деревини, вирощеної для енергетичних цілей (плантаційна деревина, піддана подальшому обробленню або ж лише подрібнена для спалювання) та деревинні відходи (піддані переробці або безпосередньо спалювані). Деревина може бути піддана промислового переробленню для подальшого енергетичного використання, внаслідок чого отримують паливні брикети, гранули, деревне вугілля і. т.п.

Насадження плантаційної деревини, з подальшим її переробленням в деревинні гранули та брикети, є доцільним на територіях, які з різних причин

вибули з сільськогосподарського обігу. Це не лише вирішуватиме проблему забезпеченості біологічно відновлюваними ресурсами населення та промисловість в певному радіусі (здебільшого в європейських країнах ця відстань не перевищує 50 км [63]), але й вирішуватиме низку соціальних та економічних проблем у цих регіонах. Таким чином насадження плантацій енергетичної деревини, повинно здійснюватися таким чином, щоб крім вирішення задачі виробництва енергетичних ресурсів, досягалися супутні екологічні та соціальні ефекти.

Важливою складовою енергетичних деревинних ресурсів є деревинні відходи, які можуть задовольняти значну частку енергетичних потреб, вирішуючи низку еколого-економічних та соціальних завдань, а також позитивно впливаючи на зміцнення національної безпеки країни. Дещо детальніше розглянемо проблему енергетичного використання деревинних відходів.

Надалі під *деревинними відходами* розумітимемо продукти переробки деревинної сировини та матеріалів, які не можуть бути корисно використані в межах певного технологічного процесу при конкретному рівні розвитку технологій, а також деревинна продукція, яка вийшла із вжитку. Зрозуміло, що зміст терміна деревинні відходи у кожному конкретному випадку залежить від можливостей корисного використання усіх продуктів переробки деревини, а відповідно, і від рівня розвитку технологій. Справедливим є твердження, що обсяги утворюваних відходів є обернено пропорційними рівню розвитку технологій, які застосовуються в лісовому господарстві та деревообробній промисловості. Використання деревини в енергетичних цілях також можна розглядати як підвищення рівня ефективності технологій, адже таке використання спрямоване на максимізацію корисного виходу використовуваних первинних.

Будь-яка технологія повинна бути спрямована на максимізацію ефективності використання ресурсів (наприклад, зростання величини створеної доданої вартості за незмінних обсягів використовуваних ресурсів).



Використання деревинних відходів в енергетичних цілях якраз і є підвищенням ефективності технологій, адже енергетичне використання такої сировини є фактично утилізацією відходів з одночасним отриманням еколого-економічних вигід.

Знаковою особливістю енергетичного використання деревинних відходів є фактична їх утилізація. При цьому спалюванню можуть піддаватися без винятку усі деревинні відходи, тим часом як для інших промислових цілей може бути використана незначна частина деревинних відходів. Водночас цілком слушне зауваження, зроблене в [85], про те, що енергетичне використання деревинних відходів не є самоціллю, а лише ланкою у вирішенні проблеми комплексної утилізації всіх продуктів неперервно відтворюваного лісу. Максимально можливе використання відходів у процесі переробки деревини вирішує питання утилізації деревинних відходів та підвищує ефективність діяльності суб'єктів, які продукують ці відходи. Водночас утилізація деревинних відходів через енергетичне їх використання повинна проводитися з дотриманням вимог екологічності. Технології спалювання деревини повинні бути спрямованими на максимізацію еколого-економічного ефекту. Важливим аспектом цього є мінімізація обсягів забруднення, які мають місце під час спалювання. У випадку енергетичного використання відходів лісосічного виробництва необхідно зважати на роботу лісових екосистем, не порушуючи біорізноманіття та обігу речовин у них у процесі вилучення деревинних відходів.

На основі сказаного вище можемо визначити спеціальні принципи енергетичного використання деревини. До таких принципів, на нашу думку, доцільно віднести наступні:

- ✓ націленість на отримання супутніх екологічних та соціальних ефектів у процесі вирощування та переробки плантаційної деревини;
- ✓ спрямування на утилізацію відходів виробництва лісової та деревообробної галузей;

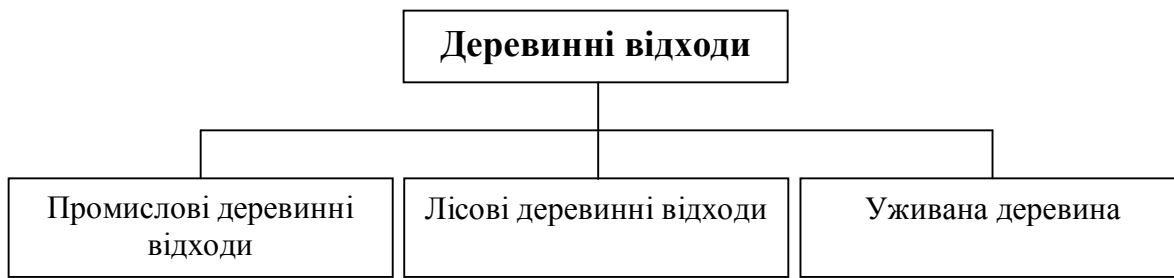
- ✓ мінімізація обсягів викидів, утворюваних внаслідок спалювання деревинних ресурсів;
- ✓ забезпечення збереження біорізноманіття та підтримка лісових екосистем при вилученні деревини з лісосік для енергетичного її використання;
- ✓ врахування ритмічності процесу приросту деревини та коливання енергетичних потреб при забезпеченні енергетичних потреб.

Важливою умовою надійного та ефективного використання деревини в якості енергоресурсу є врахування фактору ритмічності утворення деревинних відходів та заготівлі деревини і коливань енергетичних потреб впродовж року. Врахування даного принципу дозволить сповна забезпечувати енергетичні потреби та роль деревинних ресурсів цьому. Залежно від розміру та коливань енергетичних потреб, а також доступних обсягів енергоресурсів, деревина, як і будь який біологічно відновлюваний ресурс, буде основним чи лише допоміжним енергоресурсом. Основні аспекти дотримання спеціальних принципів енергетичного використання деревинних ресурсів будуть розглянуті нижче.

Розгляд проблеми ефективного енергетичного використання деревинних відходів потребує вивчення джерел їх утворення та альтернативних напрямків використання. Важливим аспектом цього є класифікація деревинних відходів. До питання класифікації деревинних відходів та ефективного їх використання зверталися такі науковці як, Т.С. Лобовіков [86], М.Е. Матвеев [87], А.П. Петров [86,88], І.М. Синякевич [89], Ю.Ю. Туниця [84,89], О.І. Фурдичко [90].

Класифікувати деревинні відходи можна, виходячи із їх фізичних та якісних властивостей. Така класифікація притаманна стандартам. За таким підходом, відходи лісопиляння можна розділити на кускові (горбелі, рейки, торцьові обрізки), м'які (стружка), кора від круглих лісоматеріалів тощо [91].

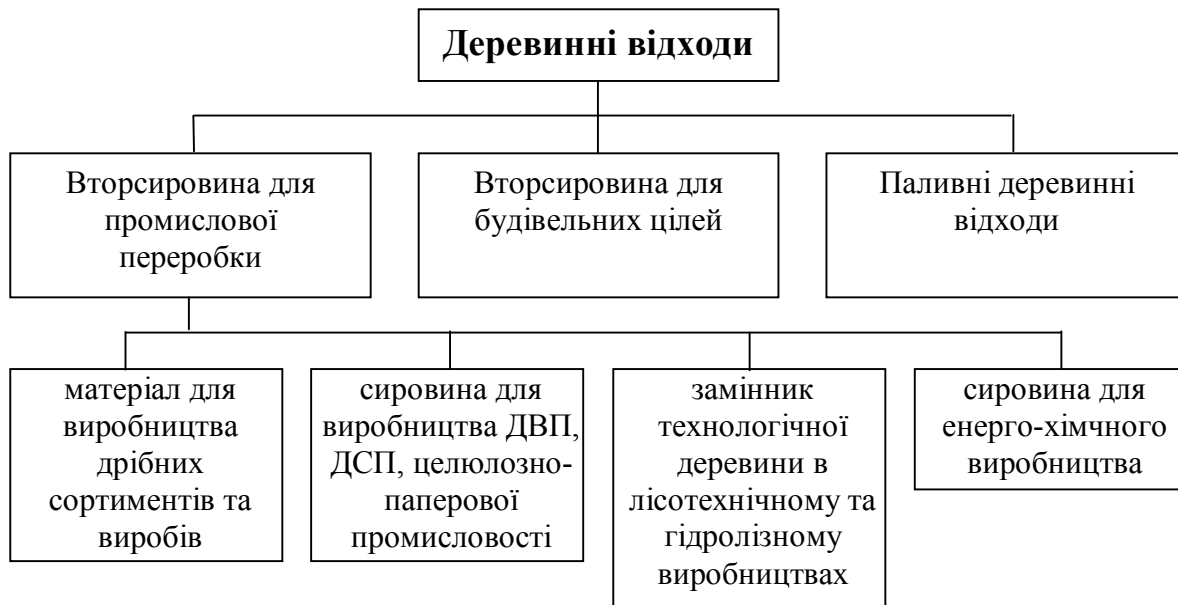
У [87] автор фактично класифікує деревинні відходи, поділяючи їх на три основні групи. Такий підхід зображено на рис. 2.2.



**Рис.2.2. Класифікація деревинних відходів за М.Е. Матвєєвим**

*Джерело: [87]*

Основним критерієм такої класифікації є походження відходів. Вона базується на місцях утворення відходів. Водночас у літературі існує класифікація деревинних відходів за іншими критеріями. Зокрема, в [92] запропоновано класифікацію деревинних відходів за напрямком їх використання (рис. 2.3).



**Рис. 2.3. Класифікація деревинних відходів за напрямком використання (за об'єктами використання)**

*Джерело: [92]*

Сильними сторонами використання деревини як енергоресурсу є сам факт утилізації відходів лісової та деревообробної галузі, а також можливість швидкого відновлення ресурсу (у разі використання плантаційної деревини та іншої деревини).

У [38] однією із негативних сторін використання деревини як енергоресурсу (у разі використання плантаційної деревини) зазначено можливість конкуренції отримання енергії з аграрною галуззю. Не можемо

погодитись із таким твердженням повністю, оскільки вважаємо, що воно є справедливим лише у середньотерміновому періоді. Цю ситуацію можна змоделювати таким чином.

У разі зростання обсягів виробництва деревини (як енергоресурсу) завдяки переорієнтації з аграрної галузі, відбуватиметься підвищення цін на продукцію аграрної галузі, а відповідно, і зростатимуть ціни на цю продукцію. У цій ситуації економіка (в основному приватний сектор) переорієнтуватиметься знову ж на аграрне виробництво. Таким чином, ситуація перебуватиме у динамічній рівновазі (звісно ж, у цій ситуації потрібна присутність державного регулювання цих галузей). До того ж, аграрній галузі притаманна вища швидкість обіговості коштів, аніж у плантаційному вирощуванні деревини. Це знижує можливість швидкого переходу з плантаційного вирощування деревини до вирощування сільськогосподарських культур, а відповідно, робить аграрне виробництво дещо привабливішим. Крім цього, розвивати плантаційне вирощування деревини доцільно на територіях, які вибули зі сільськогосподарського обігу.

Значною мірою проблема вивчення негативного ефекту від використання альтернативних енергоресурсів ускладнюється тим, що ці ресурси ще не є надто поширені. Саме тому, під час оцінювання негативного екологічного впливу використання відновлюваних енергоресурсів варто будувати аналогії з використанням невідновлюваних ресурсів.

Оцінка потенціалу використання будь-якого енергоресурсу передбачає врахування економічних, екологічних та технологічних складових його використання, а також оцінити потенціал цього енергоресурсу для задоволення конкретних енергетичних потреб. Оцінку таких параметрів енергетичного використання біологічно відновлюваних ресурсів проведемо на прикладі деревини.

Розщеплення біомаси з метою отримання енергії можна здійснювати різними способами. На рис. 2.4 зображено класифікацію способів отримання

енергії з біологічно відновлюваних ресурсів [93]. Такі ж способи можуть бути використані для енергогенерації з використанням деревини.



**Рис. 2.4. Види енергетичної переробки біологічно відновлюваних ресурсів**

*Джерело: [93]*

Особливістю складних видів переробки біомаси є утворення кількох продуктів, які є джерелом енергії у подальшому їхньому використанні.

Газифікація – це процес термічної переробки матеріалів у нерухомому шарі, в псевдозрідженому шарі, з продуванням паром, повітрям чи їх комбінацією [93].

Піроліз – це процес високотемпературного розкладу матеріалів без доступу кисню. Продуктами піролітичної переробки деревини є горючий газ, рідина та тверді продукти (деревне вугілля та сорбенти) [93].

Зауважимо, що технології енергетичної переробки біомаси можуть передбачати зокрема поєднання різних видів енергетичної переробки. Розглянемо деякі технології отримання енергії з деревини<sup>3</sup>:

1. Піроліз з газифікацією в одному апараті (з отриманням електроенергії);
2. Піроліз з газифікацією в одному апараті (без отримання електроенергії);
3. Піроліз з газифікацією з охолодженням отриманого вугілля;
4. Піроліз із винесення отриманого вугілля в ґрунт;

<sup>3</sup> У наведених технологіях піролітичного отримання енергії з деревини розглядається окислювальний піроліз у щільному шарі.

## 5. Спалювання деревини.

У табл. 2.1 наведено коефіцієнти корисної дії таких способів отримання енергії [94].

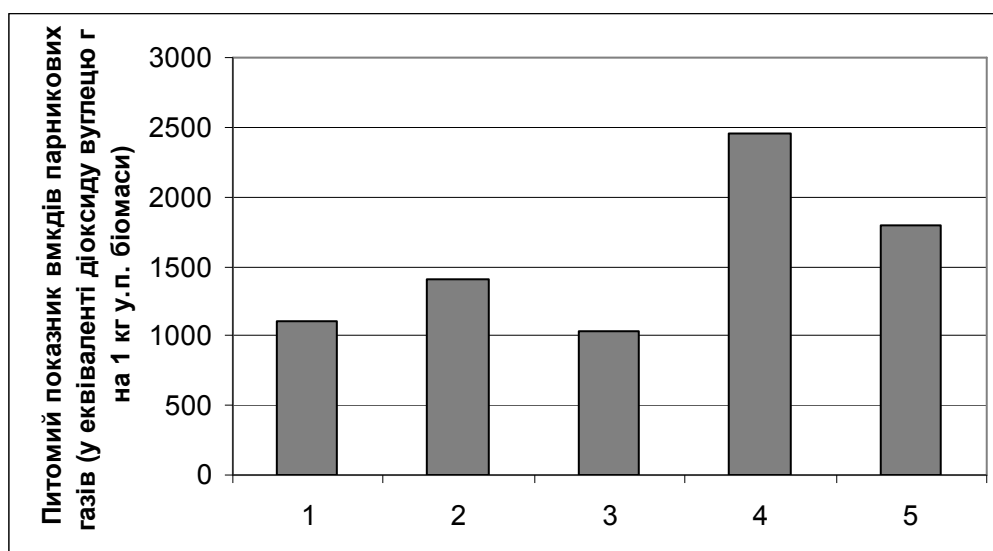
Таблиця 2.1

### Коефіцієнти корисної дії отримання енергії з біомаси

№	Технологія переробки деревини	ККД виробництва енергоносіїв, %		
		Електроенергія	Теплова енергія	Разом
1	Піроліз з газифікацією в одному апараті (з отриманням електроенергії)	13	37	50
2	Піроліз з газифікацією в одному апараті(без отримання електроенергії)	–	71	71
3	Піроліз з газифікацією з охолодженням отриманого вугілля	11	37	48
4	Піроліз із винесення отриманого вугілля в ґрунт	–	37	37
5	Спалювання деревини	–	90	90

Джерело: [94]

Як видно з табл. 2.1, спосіб отримання енергії з біомаси шляхом її спалювання має найвищий показник коефіцієнта корисної дії. Водночас цілком зрозуміло, що ККД не може бути єдиним критерієм для вибору технології отримання енергії. При цьому слід звертати на екологічність цього способу енергогенерації. Оцінювати екологічність отримання енергії можна шляхом порівняння показників викидів забруднювальних речовин у процесі енергогенерації. Одним із таких показників може бути, наприклад, обсяг викидів парникових газів у еквіваленті діоксиду вуглецю на одиницю отримуваної енергії. На основі таких оцінок, можна також визначити рівень екологічності вищезгаданих способів отримання енергії з використанням біологічно відновлюваних ресурсів. На рис. 2.5 представлено рівні екологічності отримання енергії з біомаси за різних технологій енергогенерації, за критерієм викидів парникових газів [94].



**Рис. 2.5. Порівняння екологічної ефективності технологій отримання енергії з біологічно відновлюваних ресурсів**

Джерело: [94]

Виходячи із рівнів ККД за різних технологій отримання енергії з біомаси та рівня екологічності цих технологій, спалювання є одним із найефективніших способів отримання енергії з біологічно відновлюваних ресурсів.

Доцільно також порівнювати обсяги забруднювальних речовин, що утворюються внаслідок спалювання біомаси та інших видів палива. У табл. 2.2 наведено обсяги викидів, утворених внаслідок спалювання деревини та деяких паливних енергоресурсів (дані з [44]).

Таблиця 2.2

**Рівень викиду різних речовин в атмосферу від спалювання певних видів пального, мг/МДж**

Енергоресурс \ Викиди	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Пил
Мазут	140	40	10	5
Газ	0	40	5	0
Вугілля	340	70	10	60
Деревина	10	45	2	4

Джерело: [44]

Як видно з табл. 2.2, деревина призводить до порівняно нижчих обсягів емісії забруднювальних речовин в атмосферу порівняно із основними

викопними енергоресурсами (за винятком газу, який за деякими забруднювачами володіє нижчим потенціалом забруднення).

У табл. 2.2, свідомо не наведено інформації про обсяги викидів оксидів вуглецю (монооксид та діоксид вуглецю). У літературі подано досить суперечливі дані щодо обсягів викидів цих оксидів і різні джерела надають різну інформацію щодо обсягів викиди, стверджуючи, що та чи інша група енергоресурсів характеризується нижчим рівнем викидів оксидів вуглецю. Наприклад, у [44] зазначено, що найнижчі обсяги викидів оксидів вуглецю характерні від спалювання деревини, при цьому вуглець опадає в золу, яка утворюється внаслідок спалювання. Зауважимо, що обсяги викидів оксидів вуглецю (як інших речовин-забрудників, які викидаються в атмосферу) у процесі отримання енергії з біомаси (в тому числі деревини) залежать від:

- ✓ способу отримання енергії (безпосереднє спалювання чи піроліз);
- ✓ режимів температур, тиску та вологості деревини, що застосовуються в процесі отримання енергії;
- ✓ механізмів очищення газів, що викидаються внаслідок спалювання деревини;
- ✓ типу біомаси, що спалюється.

Режими температури, тиску та вологості біомаси, що застосовуються в процесі отримання енергії, впливають на обсяги золи, утвореної під час спалювання цієї біомаси. Це, своєю чергою, має безпосередній вплив на обсяги оксидів вуглецю, що викидатимуться в атмосферу.

Інтегральним показником забруднення від використання різних видів паливних енергоресурсів може бути показник викидів парникових газів в еквіваленті діоксиду вуглецю. Порівняти обсяги викидів парникових газів можна на основі усереднених даних, наведених у табл. 2.3 (складено за даними [94]).

Оцінку доступних обсягів деревинних енергоресурсів з метою енергетичного використання можна виконувати на мікро- та на макрорівнях. Аналіз можливостей використання деревини як енергоресурсу на мікрорівні



зводиться до оцінки таких можливостей у масштабі певного підприємства. На сьогодні найпоширенішим прикладом промислового енергетичного використання деревини можуть бути підприємства деревообробної галузі. Аналіз на макрорівні передбачає потенційні обсяги деревинних енергоресурсів, оцінку реальних можливостей їх використання та потенційний економічний ефект від використання таких енергоресурсів.

Таблиця 2.3

### Показники емісії парникових газів для певних видів палива

Енергоресурс	Обсяги викидів парникових газів, г CO <sub>2</sub> – екв./ кг умовного палива
Мазут	2 528
Газ	1 811
Вугілля	3 857
Деревина	1 790

Джерело: [94]

Зауважимо, що деревообробна галузь не єдина, в якій використання деревинних енергоресурсів може бути економічно вигідним. Наприклад, особливо вигідним видається застосування таких енергетичних технологій у целюлозно-паперовій галузі, яка характеризується високою енергоємністю та наявністю деревинних енергетичних ресурсів. Доцільним може бути використання деревинних енергоресурсів у лісовій галузі, а також у деяких інших галузях економіки.

Можливість застосування деревини як енергоресурсу потребує виконання декількох умов. Зокрема, важливою умовою є територіальна близькість джерела ресурсу та його споживача, що забезпечує зниження витрат на транспортування енергоресурсу.

Оцінка потенціалу енергетичного використання вторинних деревинних ресурсів на макрорівні передбачає визначення обсягів утворюваних відходів у регіоні. Відповідно до класифікації деревинних відходів за їх походженням, варто оцінювати обсяги утворюваних лісових відходів, відходів від промислової переробки деревини та уживаної деревини.

Проблему оцінки обсягів утворюваних лісових деревинних відходів досліджували багато науковців. Значний внесок у розроблення методик визначення обсягів утворюваних лісосічних відходів зробив А.П. Петров. Автор пропонує підходи для визначення потенційних та реальних обсягів відходів від лісозаготівлі [88].

За пропозиціями цього науковця, потенційні обсяги лісосічних відходів можна оцінити на основі нормативів утворення відходів з урахуванням породного складу деревину. Автор пропонує визначати обсяги утворюваних лісосічних відходів за такою формулою [88]:

$$N^H = \Gamma N_H^H, \quad (2.1)$$

де  $\Gamma$  – обсяги вивезення деревини, м<sup>3</sup>;

$N_H^H$  – норматив потенційних ресурсів відходів лісозаготівлі, % від об'єму вивезення;

Норматив потенційних ресурсів відходів лісозаготівлі  $N_H^H$  визначається за формулою:

$$N_H^H = \sum_1^k b_i X_i, \quad (2.2)$$

де  $k$  – кількість деревних порід у складі лісосічного фонду;

$b_i$  – частка  $i$ -ї деревної породи;

$X_i$  – норматив утворення відходів лісозаготівля для  $i$ -ї породи.

За пропозиціями А.П. Петрова, норматив реальних ресурсів відходів лісозаготівлі можна визначити за формулою [88, С.27]:

$$N_H^P = \sum_1^k b_i X_i \left(1 - \frac{y_t}{100}\right), \quad (2.3)$$

де  $y_t$  – норма втрат відходів чи їх вимушених витрат на власні (не технологічні потреби в місцях утворення).

Водночас, за пропозицією А.П. Петрова, реальні обсяги утворюваних відходів можна визначити виходячи із статистичної інформації, яку надають підприємства, на яких безпосередньо утворюються відходи [88]. Такий самий підхід пропонують автори [95]. М.Е. Матвеев слушно зауважує, що

оптимальним способом оцінки потенційних обсягів деревинних відходів є випадок, у якому всі підприємства, що утворюють деревинні відходи, надають повну інформацію про утворення відходів. Але, враховуючи те, що інформація, яку подають підприємства, не є точною, М.Е. Матвеев вважає, що доцільно користуватись інформацією про загальні обсяги рубань [87].

М.Е. Матвеев пропонує визначати потенційні обсяги утворення лісопильних відходів за такою формулою:

$$Q^{\text{П}} = \sum_{k=1}^L M_k \cdot \sum_{i=1}^n K_{ki}, \quad (2.4)$$

де  $M_k$  – об'єм заготівлі деревини від  $k$ -го виду рубання;

$K_{ki}$  – усереднений коефіцієнт утворення відходів  $i$ -го виду від рубання  $k$ -го виду;

$L$  – кількість видів рубань .

І.М. Синякевич класифікує природні ресурси за критерієм їхньої еколого-економічної доступності на потенційні, екологічно доступні, мобільні та економічно доступні [96]. Під потенційними ресурсами автор розуміє сукупність ресурсів, які перебувають у довкіллі та можуть бути використані для потреб народного господарства та населення. Екологічно доступні ресурси – це та частина потенційних природних ресурсів, яку можна використати для потреб народного господарства та населення без заподіяння шкоди довкіллю. Під мобільними природними ресурсами І.М. Синякевич розуміє ту частину екологічно доступних ресурсів, яка залишається у споживача після вирахування вимушених втрат природних ресурсів у процесі видобування та транспортування.

Таким чином, визначення обсягів деревинних лісосічних відходів за формулами (2.1)-(2.2) (методика А.П. Петрова) та (2.4) (методика М.Е. Матвеева) є фактично визначенням обсягів потенційних природних ресурсів (у трактуванні І.М. Синякевича). Визначення обсягів деревинних лісосічних відходів з урахуванням їхніх втрат та витрат з використанням формули (2.3) фактично є визначенням обсягів мобільних природних ресурсів [97].

За таких підходів фактично порівнюються потенційні та екологічно доступні обсяги деревинних відходів. На нашу думку, такі поняття не можуть бути порівняними, незважаючи на те, що ресурсом в цьому випадку є „відходи”. А отже, обсяги екологічно доступних лісових деревинних відходів є меншими, аніж їхні потенційні обсяги. Для дослідження проблеми використання деревинних відходів (зокрема і в енергетичних цілях) варто брати до уваги саме екологічно доступні відходи, а не потенційні [97].

Потенційні обсяги відходів від лісозаготівлі можна оцінити на основі усереднених показників утворення відходів. У табл. 2.4 наведено обсяги відходів, які утворюються внаслідок рубання лісу.

Опираючись на дані, наведені в табл. 2.4, можна визначити потенційні обсяги утворення відходів від лісозаготівлі. При цьому варто зауважити, що з метою забезпечення балансу органічних та неорганічних речовин у лісових біогеоценозах, частину таких відходів доцільно залишати в лісі. У процесі розкладення цих відходів частина хімічних елементів та різних сполук повертаються в ґрунт, що сприяє відновленню лісових насаджень.

Для визначення частки відходів, що утворюються в процесі лісозаготівлі, яку доцільно залишати в лісі, варто керуватися не лише екологічними, а й економічними міркуваннями. На лісосіці достатньо залишати 50 % утворюваних гілок, сучків, вершин, деревної зелені, тонких та нездеревнілих гілок. Як видно з табл. 2.4, близько половини з цих відходів утворюється на лісосіці, а решта – на нижньому складі. Таким чином, залишаючи на лісосіці ті відходи, які на ній безпосередньо утворюються, вирішується одночасно і проблема їхнього транспортування з лісосіки. Такий підхід є позитивним з еколого-економічної точки зору. Адже вирішується проблема підживлення лісу відходами лісозаготівлі у потрібних обсягах та відпадає проблема транспортування відходів для подальшого їхнього використання [97].

**Обсяги відходів лісозаготівлі від об'єму вивезеної деревини**

Назва відходів лісозаготівлі	Обсяг відходів, % від вивезеної деревини	Обсяг утворення відходів, м <sup>3</sup> на 1000 м <sup>3</sup> річного вантажообігу складу		
		всього	в тому числі	
			на лісосіці	на нижньому складі
<b>А. Тверді та кускові відходи:</b>				
гілки, сучки та вершини	14,0	140	65	75
коріння	11,0	110	110	-
пні	3,0	30	30	-
комлеві відходи	1,75	17	-	17
козирки	0,75	7	-	7
<b>Б. М'які деревинні відходи(стружка)</b>	1	10	-	10
<b>В. Кора і луб:</b>				
кора та луб гілок, сучків та вершин	3	30	14	16
кора середньої та комлевої частини стовбура	12	120	-	120
<b>Г. Деревинна зелень - хвоя та листя, <i>m</i> на 1 тис. щільн. м<sup>3</sup> вивезеної деревини</b>	-	36	18	18
<b>Д. Деревинна лапка, тонкі гілки та нездеревнілі пагони, <i>m</i> на 1 тис. щільн. м<sup>3</sup> вивезеної деревини</b>	-	20	10	10

Джерело: [95, С.26-27]

Таким чином, оцінивши яку частку відходів від лісозаготівлі доцільно залишати в лісі, можна визначити екологічно доступні обсяги відходів від лісозаготівлі [97]. Керуючись таким підходом, визначимо обсяги потенційних та екологічно доступних деревних відходів. У табл. 2.5 наведено частки відходів від лісозаготівлі, які доцільно відбирати з лісосіки.

Судити про обсяги утворюваних деревних відходів можна на основі даних про ведення лісового господарства та обсягів первинної деревообробки в Україні, наведених табл. 2.6 та табл. 2.7.

**Кількість потенційних та екологічно доступних відходів лісозаготівлі від об'єму вивезеної деревини**

Назва відходів лісозаготівлі	Кількість потенційних відходів від вивезеної деревини	Кількість екологічно доступних відходів від вивезеної деревини
А. Тверді та кускові відходи, %:		
гілки, сучки та вершини	14,0	7,5
коріння	11,0	11,0
пні	3,0	3,0
комлеві відходи	1,75	1,75
козирки	0,75	0,75
Б. М'які деревинні відходи(стружка), %:	1,0	1,0
В. Кора і луб, %:		
кора та луб гілок, сучків та вершин	3,0	1,6
кора середньої та комлевої частин стовбура	12,0	12,0
Г. Деревинна зелень - хвоя та листя, <i>t</i> на 1 тис. щільн. $m^3$ вивезеної деревини	36	18
Д. Деревинна лапка, тонкі гілки та нездеревнілі пагони, <i>t</i> на 1 тис. щільн. $m^3$ вивезеної деревини	20	10

Джерело: власна розробка

Розглянемо виробництво деяких видів деревообробної продукції та потенціал утворення відходів при цьому. У табл. 2.8 наведено інформацію про обсяги виробництва певних видів виробів із деревини.

Міркуючи над питанням оцінки обсягів утворення деревинних відходів промислового виробництва, А.П. Петров зауважує, що їх можна визначити на основі статистичної інформації або ж з використанням нормативів утворення відходів під час промислової переробки деревини. З використанням такого підходу можна досить точно оцінити обсяги утворення деревинних відходів у масштабі регіону чи країни.

**Заготівля ліквідної деревини за регіонами протягом  
2003-2009рр., тис. м<sup>3</sup>**

<b>Регіон</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Україна	14265,9	15431,6	15244,3	15848,6	16884,3	15723,7	14221,4
АР Крим	63,4	58,7	60,1	57,7	63	71,9	65,5
області							
Вінницька	528,1	609,4	624,7	649,4	722,5	690,2	639,6
Волинська	803,6	892,5	877,1	976,2	1023,2	907,3	849,3
Дніпропетровська	54,4	60,3	48,6	43,4	47,8	61,2	36,5
Донецька	43	41,4	51,6	55,4	62,6	62,8	66,2
Житомирська	1936,7	2114,4	1977,7	2166,3	2206,4	2157,3	2099,6
Закарпатська	968,9	1064,3	1032,3	1010	1117,2	953,4	905,2
Запорізька	19,1	15,6	18	21,2	21,4	23,2	24,9
Івано-Франківська	682,1	747,7	784,6	826,3	950,5	864,7	839,3
Київська	1346,9	1360,7	1287,8	1252,6	1270,3	1210,2	999,5
Кіровоградська	201,6	229,8	213,8	206,4	213,3	202,7	181
Луганська	202,8	182,3	152,4	170,7	182,2	181,7	167,4
Львівська	860,8	1034,6	1036,2	1126,9	1244,7	1165,9	960,4
Миколаївська	43,6	37,9	36,3	44,8	45,3	33,6	34,1
Одеська	96,3	126	136,7	134,4	124,6	100,5	88,3
Полтавська	257,3	310,3	328,1	337,7	333	324,7	315,8
Рівненська	1045,9	1121,9	1191,3	1262,7	1341,9	1320,6	1256,8
Сумська	900,2	930	902,9	987,4	977,6	954,9	854,8
Тернопільська	268	287,7	260,5	278,5	288,6	262,5	223,2
Харківська	513,9	558,7	578,3	519,6	519,8	451,1	422,7
Херсонська	136,4	140,9	146,5	128,3	370,2	155,3	130,5
Хмельницька	666,2	718,2	718,6	709,3	665,3	590,1	557,2
Черкаська	532,9	565,8	567,2	575,7	616,3	588,2	544,8
Чернівецька	739,6	834,4	804,3	826	920,9	866,1	821,8
Чернігівська	1228,2	1260	1284,9	1369,4	1451,8	1400,1	1051,5
міста							
Київ	123,8	126,3	122,2	110,4	101,7	121,4	82,6
Севастополь	2,2	1,8	1,6	1,9	2,2	2,1	2,9

Джерело: [98, С. 107]

**Деякі показники ведення лісового господарства в Україні протягом  
2003-2009 рр.**

<b>Показник</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Заготівля ліквідної деревини, тис. м <sup>3</sup>	14 266	15 432	15 244	15 849	16 884	15 724	14 221
від рубок головного користування	6 139	6 488	6 456	6 828	7 075	6 997	6 704
від рубок, пов'язаних з веденням лісового господарства, інших рубок та очистки від захаращеності	8 127	8 944	8 788	9 021	9 809	8 727	7 517
Площа рубок лісу, тис. га	465,2	468,7	464,7	468,2	476,2	425,3	357,9
рубок головного користування	26,1	27,4	27,1	28,1	29,4	28,4	26,8
пов'язаних з веденням лісового господарства, інших рубок та очистки від захаращеності	439,1	441,3	437,6	440,1	446,8	396,9	331,1
Лісовідновлення, тис. га	48,3	53,9	58,6	66,7	73,6	80,2	80,9
посадка і посів лісу	38,4	42,6	45,8	54	60	64,9	64,5
природне поновлення	9,9	11,3	12,8	12,7	13,6	15,3	16,4
Залишок деревини на лісосіках, тис. м <sup>3</sup>	724,4	702,6	767,7	710,6	961,8	1024,6	717,9

*Джерело: [98, С. 105]*

**Обсяги обробки деревини та виробництва виробів з деревини протягом  
2003-2008 рр.**

<b>Назва деревинної продукції</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
Шпон лущений, тис. м <sup>3</sup>	37,9	47,8	46,5	46,5	57,6	43,8
Шпон струганий, тис. м <sup>2</sup>	14,2	21,7	25,9	27,3	37,5	31,9
Вікна, двері, їхні рами та пороги, млн м <sup>2</sup>	1,1	1,5	2,4	3,1	3,7	3,8

*Джерело: власна розробка на основі [99, С.125].*

У табл. 2.9 наведено нормативні обсяги утворення відходів у процесі виробництва деяких видів деревообробної продукції.

На основі даних про обсяги випуску деяких видів деревообробної продукції та усереднених обсягів утворення відходів при їх виробництві можемо розрахувати обсяги утворення деревинних відходів. Результати



розрахунків наведено в табл. 2.10. Енергетичний потенціал деревообробних відходів, утворених у процесі виготовлення продукції, вказаної в табл. 2.8. відображено на рис. 2.6.

Таблиця 2.9

**Затрати пиломатеріалів та обсяги утворення відходів під час виробництва деяких видів деревообробної продукції**

Назва деревообробної продукції	Затрати круглого лісу на одиницю продукції, м <sup>3</sup>	Обсяги утворюваних відходів на одиницю виготовленої продукції, %
Шпон лущений, м <sup>3</sup>	1,472 - 1,675	32,30
Шпон струганий, м <sup>2</sup>	1,59	25,10
Вікна, двері, їхні рами та пороги, м <sup>2</sup>	0,25 - 0,43	73% - 83

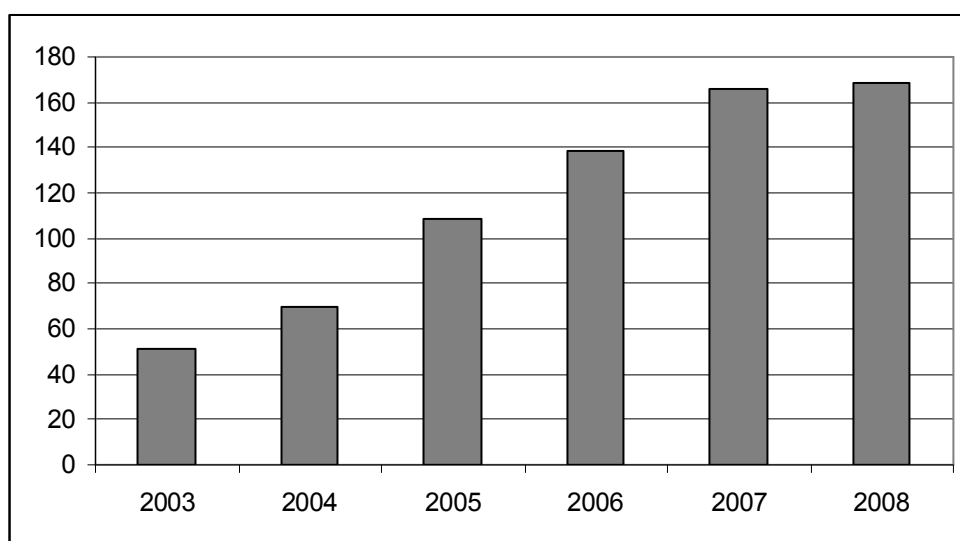
*Джерело: власна розробка на основі норм розроблених на ДОЗ АТЗТ „Світанок” (згідно з ДСТУ БВ.2.6-24-2001).*

Таблиця 2.10

**Обсяги утворення деревинних відходів від виробництва деяких видів деревообробної продукції, тис. м<sup>3</sup>**

Назва деревинної продукції	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Шпон лущений	19,26	24,29	23,63	23,63	29,27	22,26
Шпон струганий	5,67	8,66	10,34	10,90	14,97	12,73
Вікна, двері, їхні рами та пороги	291,72	397,80	636,48	822,12	981,24	1 007,76

*Джерело: власна розробка*

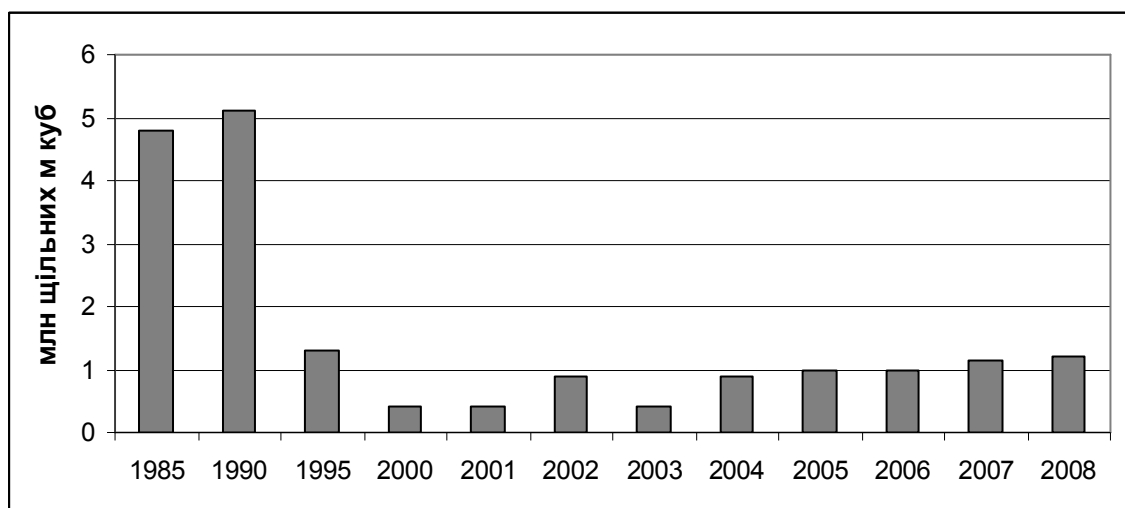


**Рис. 2.6. Енергетичний потенціал відходів деревообробки, від виробництва деяких видів продукції, тис. т у.п.**

*Джерело: власна розробка*

Очевидно, що результати розрахунків, наведених у табл. 2.10 та на рис. 2.6, є доволі наближеними. Для здійснення точних розрахунків з утворення обсягів деревинних відходів від промислової переробки деревини потрібно користуватися розширеною статистичною інформацією.

Важливою складовою деревинних відходів є уживана деревина. Зауважимо, що обсяги використання вторинної деревини в Україні протягом останніх років зростають, що свідчить про потребу прогнозування потенційних обсягів уживаної деревини, яку можна використати в народному господарстві. Динаміку використання відходів деревини в Україні зображено на рис. 2.7.



**Рис. 2.7. Динаміка обсягів використання відходів деревини**

*Джерело: власна розробка на основі [99-101].*

Оцінкою потенційних обсягів вторинної (уживаної деревини) займався М.Е. Матвеев [87]. Автор пропонує визначати обсяги уживаної деревини за формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (Q_{i,R-t} - Q_{i,R-t}^X + Q_{i,R-t}^M) K_{i,R-t}^t \cdot K_{i,R-t}^{X,M} \cdot K_{i,R-t}^E,$$

де  $Q$  – об’єм уживаної деревини;

$Q_{i,R-t}$  – об’єми випуску  $i$ -го виду сировини у році  $R-t$ ;

$Q_{i,R-t}^X$  – об’єми експорту  $i$ -го виду сировини у році  $R-t$ ;

$Q_{i,R-t}^M$  – об’єми імпорту  $i$ -го виду сировини у році  $R-t$ ;

$K_{i,R-t}^t$  – питома вага сировини, яка використана у році  $R-t$  для виготовлення кінцевої продукції, яка має термін використання  $t$  років;

$K_{i,R-t}^{XM}$  – коефіцієнт, який враховує обсяги експорту та імпорту кінцевої продукції з терміном використання  $t$  у  $R-t$  році;

$K_{i,R-t}^E$  – коефіцієнт корисного виходу сировини під час виготовлення продукції з терміном використання  $t$  років;

$N$  – кількість видів деревинної сировини;

$T$  – максимальний термін користування продукцією, виготовленою з використанням деревинних матеріалів;

$R$  – розрахунковий рік.

Коефіцієнт, який враховує обсяг експорту та імпорту кінцевої продукції з терміном виростання  $t$  років,  $R-t$  для року автор пропонує розраховувати за формулою [87]:

$$K_{i,R-t}^{XM} = \frac{Q_{R-t} - Q_{R-t}^X + Q_{R-t}^M}{Q_{R-t}},$$

$Q_{R-t}$  – об'єм випуску кінцевої продукції з деревини  $R-t$  у році;

$Q_{R-t}^X$  – об'єм експорту кінцевої продукції з деревини  $R-t$  у році;

$Q_{R-t}^M$  – об'єм імпорту кінцевої продукції з деревини  $R-t$  у році.

Коефіцієнт, який враховує корисний вихід сировини під час виготовлення продукції з терміном використання  $t$  років, розраховується за формулою [87]:

$$K_{i,R-t}^E = \frac{Q_{i,R-t} - Q_{i,R-t}^{in}}{Q_{i,R-t}},$$

де  $Q_{i,R-t}^{in}$  – об'єм відходів, які утворилися в році  $R-t$  під час обробки  $i$ -го виду сировини в процесі виготовлення кінцевої продукції.

Коефіцієнт, який враховує наявність запасів невикористаної сировини на початок та на кінець  $R-t$  року, автор пропонує розраховувати за формулою [87]:

$$K_{i,R-t}^{nonp} = \frac{Q_{i,R-t} - Q_{i,R-t}^{kp} + Q_{i,R-t}^{np}}{Q_{i,R-t}},$$

де  $Q_{i,R-t}^{kp}$  – наявність запасів невикористаної сировини  $i$ -го виду на кінець року  $R-t$ .

$Q_{i,R-t}^{np}$  – наявність запасів невикористаної сировини  $i$ -го виду на початок року  $R-t$ .

На нашу думку, такий підхід оцінки обсягів уживаної деревини матиме певну похибку у використанні, адже доволі важко оцінити термін служби деревинної продукції. До того ж, використання уживаної деревини в енергетичних цілях має одну слабку сторону. Так, поставки будь-якого енергоресурсу повинні бути ритмічними та забезпечувати певний економічно обґрунтований мінімальний рівень виробництва. Водночас виникають сумніви про те, що уживана деревина відповідатиме таким вимогам. За таких умов уживану деревину як енергоресурс можна розглядати як доповнення до використання інших деревинних відходів та невідновлюваних енергоресурсів. Враховуючи складність самостійного використання уживаної деревини як енергоресурсу, особливу увагу треба приділити вартості складування та транспортування таких відходів до місць їхнього енергетичного використання. При цьому, користь згаданої методики може полягати в прогнозуванні загального обсягу доступних деревинних відходів для використання їх в енергетичних цілях.

Наявність деревинних та інших біологічно відновлюваних енергоресурсів не завжди визначає можливість їх застосування. Важливими передумовами цього є рівень технологічної бази, економічні чинники та диверсифікованість ресурсів на території країни. Предметом дослідження у наступному підрозділі будуть використання біологічного відновлюваних енергоресурсів (деревини зокрема) в Україні.

## 2.2. Використання біологічно відновлюваних енергоресурсів в Україні

Аналізуючи потенціал використання біологічно відновлюваних ресурсів (БВР) як енергоресурсу в масштабі країни чи регіону потрібно оцінити доступність самого ресурсу, рівень розвитку технологій для використання енергоресурсу, а також оцінити економічну ефективність від його використання порівняно з іншими енергоресурсами.

Розглянемо оцінку енергетичного потенціалу БВР в Україні. Зауважимо, що існуючі оцінки дещо різняться. У табл. 2.11 наведено оцінку енергетичного потенціалу основних біологічно відновлюваних ресурсів.

Таблиця 2.11

### Енергетичний потенціал деяких видів біологічного палива в Україні

Вид біомаси	Енергетичний потенціал, млн. т у.п. /рік	Частка від загального обсягу, %
Солома злакових культур	5,6	23,1
Стебла й качани кукурудзи на зерно	2,4	9,9
Стебла й лузга соняшника	2,3	9,5
Біогаз із гною та органічних відходів	1,6	6,6
Біогаз станцій аерації й інших очисних споруд	0,2	0,8
Біогаз із полігонів твердих побутових відходів	0,3	1,2
<i>Деревне паливо, деревні відходи</i>	2	8,3
Тверді побутові відходи як паливо	1,9	7,9
Рідкі палива із біомаси (біодизель, біоетанол та ін.)	2,2	9,1
Енергетичні плантації (верба, тополя та ін.)	5,1	21,1
Торф	0,6	2,5
<b>Всього</b>	<b>24,2</b>	<b>100</b>

Джерело: [102-105].

За даними деяких науковців Інституту технічної теплофізики НАН України (дані табл. 2.11), енергетичний потенціал біомаси в Україні становить 24,2 млн т умовного палива (709 ПДж), що еквівалентно 20,3 млрд м<sup>3</sup> природного газу. Це становить 12,4 % сукупного енергоспоживання України в 2008 році. На сьогодні частка відновлюваних енергоресурсів у

сукупному енергоспоживанні в Україні сягає 7,2 % [106], а БВР – менше 0,5 % сукупного первинного енергоспоживання. Така статистика свідчить, що сучасний рівень енергетичного використання БВР є неспівмірно малим порівняно з їхнім потенціалом.

За розрахунками Інституту проблем екології та енергозбереження, енергетичний потенціал біомаси в Україні становить 16,4-67,7 млн т умовного палива (480 – 1 983,9 ПДж). Детальніше цю інформацію, в розрізі різних ресурсів, наведено в табл. 2.12. Енергетичний потенціал відновлюваних ресурсів у розрізі регіонів України та можливість заміщення ними невідновлюваних паливних енергоресурсів, за даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України подано в табл. 2.13 [107].

Таблиця 2.12

**Діапазони валового потенціалу енергії за видами біомаси, т у.п.**

<b>Біомаса</b>	<b>Мінімум</b>	<b>Максимум</b>
Рослинництво	11,69	56,64
Тваринництво	2,41	6,49
Деревина	1,69	2,72
Тверді побутові відходи*	0,54	1,61
Стічні води**	0,13	0,25
<b>Всього</b>	<b>16,5</b>	<b>67,7</b>

\*34 міста із чисельністю населення більше 150 тис. чол.

\*\* 102 міста із чисельністю населення більше 50 тис. чол.

Джерело: [108]

З табл. 2.11 та 2.12 видно, що деревина може стати важливим енергоресурсом та становить майже третину енергетичного потенціалу усіх БВР. Особливе місце посідає плантаційна деревина. Розглянемо детальніше енергетичний потенціал використання деревини в Україні.

За розрахунками фахівців Інституту проблем екології та енергозбереження, енергетичний потенціал деревини (без врахування потенціалу плантаційної деревини) становить 1,69 – 2,71 млн т умовного палива (49,6-76,6 ПДж) [108]. Цю інформацію (усереднені значення) в розрізі регіонів наведено в табл. 2.14.

Таблиця 2.13

**Технічно досяжний енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії в перерахунку на умовне паливо (млн. т у.п.) та обсяги заміщення паливних енергоресурсів**

№	Область	Сонячна енергетика	Геотермальна енергетика	Мала гідро-енергетика	Енергія біомаси	Теплова енергія стічних вод	Теплова енергія ґрунту та ґрунтових вод	Всього по областях	Споживання орг. палива		% заміщення орг. палива за рахунок ВДЕ
									Комунальний сектор	Всього	
1.	АР Крим	0,39	0,68	0,05	0,59	0,16	0,35	2,22	0,133	2,193	101,2
2.	Вінницька	0,25	0	0,09	1,08	0,08	0,42	1,91	0,097	7,777	24,8
3.	Волинська	0,18	0	0,03	0,29	0,05	0,29	0,84	0,054	3,064	27,4
4.	Дніпропетровська	0,32	0	0,03	1,9	0,59	1,36	4,2	0,203	27,023	15,54
5.	Донецька	0,27	0	0,05	1,16	0,5	1,36	3,34	0,285	33,795	9,88
6.	Житомирська	0,26	0	0,09	0,38	0,06	0,3	1,09	0,079	2,399	45,4
7.	Закарпатська	0,13	7,4	1,05	0,21	0,05	0,45	9,29	0,065	1,175	79,6
8.	Запорізька	0,28	0	0,03	1,13	0,19	0,34	1,97	0,108	14,568	13,5
9.	Івано-Франківська	0,13	0,51	0,09	0,17	0,11	0,49	1,5	0,076	6,916	21,7
10.	Київська	0,26	0	0,06	1,02	0,63	1,14	3,11	0,258	16,458	18,9
11.	Кіровоградська	0,23	0	0,04	1,26	0,06	0,33	1,91	0,065	2,855	66,9
12.	Луганська	0,27	0	0,1	1,11	0,16	0,93	2,57	0,15	10,63	24,2
13.	Львівська	0,22	0,45	0,42	0,41	0,32	1,05	2,87	0,144	8,604	33,4
14.	Миколаївська	0,26	0	0,04	0,97	0,08	0,3	1,65	0,07	5,22	31,6
15.	Одеська	0,37	0	0,01	0,42	0,21	0,35	1,37	0,136	7,046	19,4
16.	Полтавська	0,26	0,39	0,09	1,43	0,11	0,81	3,08	0,092	10,492	29,4
17.	Рівненська	0,17	0	0,08	0,36	0,06	0,27	0,95	0,062	2,282	41,6
18.	Сумська	0,22	0,96	0,08	0,79	0,06	0,4	2,5	0,072	5,122	48,8
19.	Тернопільська	0,15	0	0,09	0,44	0,05	0,34	1,06	0,06	2,56	41,4
20.	Харківська	0,29	0,37	0,06	1,69	0,35	1,07	3,82	0,168	15,298	25
21.	Херсонська	0,31	0	0,01	1,09	0,06	0,23	1,69	0,065	3,455	48,9
22.	Хмельницька	0,2	0	0,07	0,79	0,07	0,39	1,52	0,079	2,579	58,9
23.	Черкаська	0,21	0	0,09	0,36	0,1	0,38	1,13	0,079	4,819	23,5
24.	Чернівецька	0,09	0	0,21	0,29	0,03	0,19	0,81	0,048	1,348	60,1
25.	Чернігівська	0,28	1,24	0,04	0,66	0,06	0,35	2,62	0,072	3,672	71,4
	<b>Всього</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>4,2</b>	<b>13,89</b>	<b>59,09</b>	<b>59,02</b>	<b>202,07</b>	<b>29,2</b>

Джерело: [107]

## Енергетичний потенціал деревини для регіонів України

Регіон	Технічний потенціал			Питомий технічний потенціал регіону, МВт*год/км <sup>2</sup>
	тис. МВт*год	тис. т у.п.	ПДж	
Житомирська	2384,0	292,8	8,58	79,7
Київська	1499,5	184,2	5,40	51,8
Чернігівська	1405,0	172,6	5,06	44,0
Закарпатська	1200,9	147,5	4,32	93,8
Рівненська	1118,3	137,4	4,03	55,6
Львівська	1061,6	130,4	3,82	48,7
Сумська	1042,1	128,0	3,75	43,8
Волинська	944,7	116,0	3,40	46,8
Чернівецька	916,2	112,5	3,30	113,1
Харківська	871,7	107,1	3,14	27,8
Черкаська	820,0	100,7	2,95	39,2
Хмельницька	735,3	90,3	2,65	35,7
Вінницька	716,1	88,0	2,58	27,0
Івано-Франківська	698,1	85,7	2,51	50,2
Кіровоградська	428,7	52,7	1,54	17,4
Тернопільська	390,9	48,0	1,41	28,3
Полтавська	322,1	39,6	1,16	11,2
Луганська	295,0	36,3	1,06	11,1
Херсонська	188,5	23,2	0,68	6,6
Республіка Крим	181,4	22,3	0,65	6,7
Донецька	163,4	20,1	0,59	6,2
Одеська	161,3	19,8	0,58	4,8
Дніпропетровська	91,6	11,2	0,33	2,9
Миколаївська	77,5	9,5	0,28	3,1
Запорізька	65,5	8,0	0,24	2,4
<b>Україна</b>	<b>17 779,4</b>	<b>2 183,90</b>	<b>64,01</b>	<b>29,5</b>

У розрахунках взято до уваги обсяги заготовленої паливної деревини, невивезену деревину, кору, відходи пиломатеріалів та відходи від виробництва фанери. За розрахунками науковців Інституту проблем екології та енергозбереження

*Джерело: [108]*

Деякі спеціалісти Інституту технічної теплофізики НАН України енергетичний потенціал деревини оцінюють в 1,3 млн т у.п., а технічний потенціал – 4,9 млн т у.п. [109] (дані відмінні від табл. 2.11).



Оцінка потенціалу заміщення невідновлюваних енергоресурсів деревинними визначається не лише наявністю таких ресурсів та екологічними передумовами їх використання, але й економічною доцільністю. В умовах постійного зростання цін на невідновлювані енергоресурси зростатиме й економічна ефективність енергетичного використання біологічно відновлюваних енергоресурсів, зокрема й деревинних. У табл. 2.15 наведено ціни на деякі види паливних деревинних ресурсів і соломи та їхній енергетичний потенціал.

Таблиця 2.15

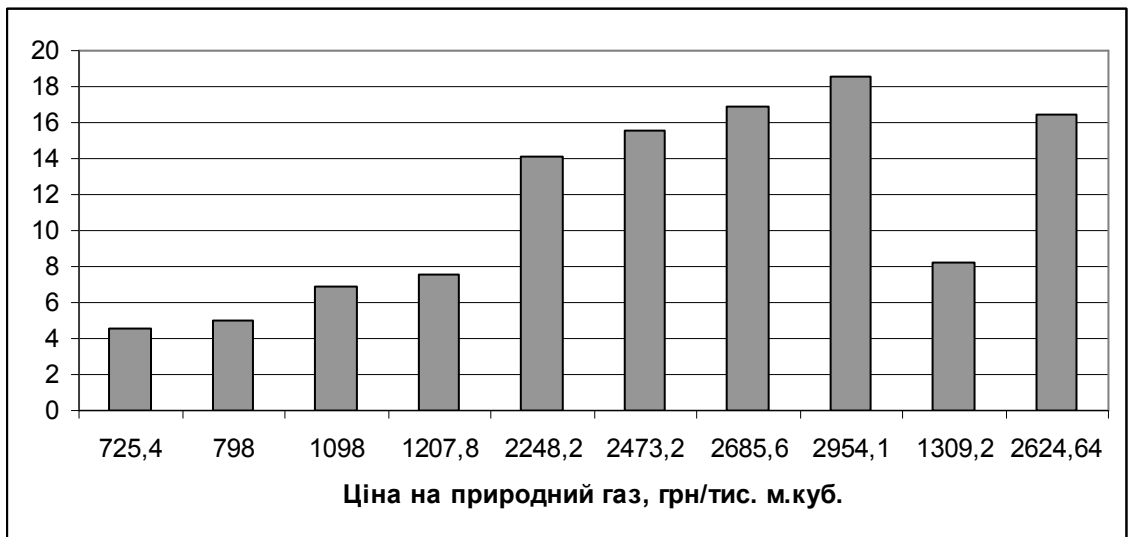
**Вартість енергії деяких видів біологічно відновлюваного палива**

Вид палива	Ціна, грн./т	Нижня теплота згорання, МДж/кг	Вартість енергії палива, грн/ГДж
Відходи деревообробки	50	11	4,5
Дрова з доставкою до котельні	250	11	22,7
Деревинні гранули	800	18	44,4
Деревинні брикети	700	15	46,7
Солома (тюкована з доставкою)	300	13	23,1

*Джерело: [110]*

Зіставивши вартість отримання енергії з використанням деревини із вартістю енергії невідновлюваних енергоресурсів (наприклад, природного газу), певною мірою можна оцінити економічну доцільність використання деревини як енергоресурсу. Такі зіставлення для деревинних палив зображено на рис. 2.8 – 2.10.

На рис. 2.8 – 2.10 до розгляду взято ціни на природний газ ресурсів Національної акціонерної компанії „Нафтогаз України”, які діють з 1 серпня 2010 року, розраховані на підставі діючих постанов НКРЕ і наказу Національної акціонерної компанії „Нафтогаз України” від 04.08.10 № 351: 725,4 грн, 798 грн, 1 098грн, 1 207,8грн, 2 248,2 грн, 2 473,2 грн, 2 685,6 грн, 2 954,1 грн, (для населення залежно від обсягів споживання та наявності лічильників); 1 309,2 грн, (для підприємств комунальної енергетики); 2 624,64 грн, (для промислових споживачів сектору).



**Рис. 2.8. Відношення ціни енергії природного газу (для різних категорій споживачів газу) до ціни енергії відходів деревообробки**

*Джерело: власна розробка*



**Рис. 2.9. Відношення ціни енергії природного газу (для різних категорій споживачів газу) до ціни енергії, отриманої з дров**

*Джерело: власна розробка*

Як видно з рисунків 2.8 – 2.10, в більшості випадків, енергія отримана з деревинних ресурсів, є дешевшою (а часто суттєво дешевшою), аніж енергія з природного газу. У деяких із проілюстрованих випадків (відходи деревообробки та деревинні гранули), до уваги не взято вартості транспортування деревинних ресурсів до місця використання. Зауважимо, що здебільшого, у випадку використання відходів деревообробних виробництв, місце споживання відходів може збігатися з місцем їхнього утворення (безпосередньо на деревообробному виробництві).



**Рис. 2.10. Відношення ціни енергії природного газу (для різних категорій споживачів газу) до ціни енергії, отримуваної з деревних гранул**

*Джерело: власна розробка*

Крім цього, економічне обґрунтування заміщення невідновлюваних енергоресурсів деревинними ресурсами (а відповідно і оцінка потенціалу енергетичного використання цих ресурсів у масштабі регіону чи країни загалом), потребує врахування вартості обладнання, потрібного для енергетичного використання деревини. У табл. 2.16 наведено техніко-економічні характеристики використання деяких котлів вітчизняного виробництва для спалювання вторинної деревини. З наведених у табл. 2.16 даних видно, що термін окупності таких котлів є порівняно невисоким та знижуватиметься зі зростанням рівня цін на природний газ.

У табл. 2.17 наведено дані про обсяги та характеристики котлів, які працюють з використанням спалювання біомаси та можуть бути встановлені в Україні. Дані табл. 2.17 свідчать про те, що за ціни природного газу 1 309,2 грн/тис. м<sup>3</sup> (чинна ціна для комунальних теплоенергетичних підприємств), економія на природному газі від встановлення котлів, які працюють на біомасі, складає 5,891 млрд грн. Порівнюючи з величиною необхідних інвестицій 5,34 млрд. грн. та враховуючи ціни деревинних ресурсів та соломи (дані табл. 2.15) можна зробити висновок про високу окупність такого обладнання.

**Економічні характеристики експлуатації деяких деревиноспалювальних котлів в Україні**

Показник	Од. вим.	Параметри та характеристики			
		ТД Крігер	ТД Крігер	Komfort s	Polytechni k
<i>Потужність котла</i>	кВт	<b>2500</b>	<b>5000</b>		
<i>Витрати палива</i>	т/рік	4 235	8 471		
<i>еквівалентні витрати газу</i>	тис.м3/рік	1 300	2 601		
<i>Ціна тріски</i>	грн/т	250			
<i>Ціна газу для ЖКГ</i>	грн/тис.м3	1 309			
<i>Ціна газу для промислових споживачів</i>	грн/тис.м3	2 624			
<i>Капітальні витрати</i>	тис. грн	3 440	5 734	8 410	15 610
<i>Витрати на паливо (тріску)</i>	тис. грн/рік	1 059	2 118		
<i>газ для ЖКГ</i>	тис. грн/рік	1 702	3 405		
<i>газ для промислових споживачів</i>	тис. грн/рік	3 412	6 825		
<i>Економія коштів на купівлі палива</i>					
<i>при заміщенні газу для ЖКГ</i>	тис. грн/рік	644	1 287		
<i>при заміщенні газу для промислових споживачів</i>	тис. грн/рік	2 354	4 707		
<i>Термін окупності</i>					
<i>при заміщенні газу для ЖКГ</i>	років	<b>5</b>	<b>4,5</b>	<b>6,5</b>	<b>12,1</b>
<i>при заміщенні газу для промислових споживачів</i>	років	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,8</b>	<b>3,3</b>

Джерело: [110]

Варто зауважити, що купівля та встановлення нового обладнання для отримання енергії з деревини не є єдиним способом використання енергії деревини. У світі дедалі більшої популярності набуває спалювання невідновлюваних енергоресурсів з БВР (дервиною, соломою і т.п.). Для прикладу, в Німеччині 27 ТЕС працюють на сумісному спалюванні вугілля та біомаси, 18 – у Фінляндії, 15 – у Швеції, по 5 – в Австрії, Данії та Нідерландах і 41 – в США [111]. Детальнішу інформацію про спалювання деревини та вугілля на деяких ТЕС в розвинених країнах наведено в

табл. 2.18. За наведеними даними можна зробити висновки про значний потенціал використання деревинних відходів для сумісного спалювання з вугіллям на електростанціях.

Таблиця 2.17

**Техніко-економічні характеристики експлуатації  
деревино- та соломоспалювальних котлів в Україні**

Тип обладнання	Ємність ринку України, шт.	Встановлена потужність, МВт теплової енергії	Зниження викидів CO <sup>2</sup> , млн. т/рік	Заміщення природного газу, млрд. м <sup>3</sup> /рік	Інвестиції, млн грн
Опалювальні котельні на деревині, 0,5-10 МВт	900	450	0,5	0,26	225
Промислові котли на деревині, 0,1-5 МВт	400	280	0,43	0,22	140
Побутові котли на деревині, 10-50 кВт	35 000	1 050	1,17	0,6	735
Фермерські котли на соломі, 0,1-1 МВт	10 000	2 000	2,32	1,18	1 600
Опалювальні котельні на соломі, 1-10 МВт	1 000	2 000	2,32	1,18	1 200
Фермерські котли на стеблах кукурудзи і соняшника, 0,1-1 МВтт	9 000	1 800	2,09	1,06	1 440
<b>Всього</b>	<b>56 300</b>	<b>7 580</b>	<b>8,83</b>	<b>4,50</b>	<b>5 340</b>

Джерело: [112]

Таблиця 2.18

**Характеристика деяких закордонних теплоелектростанцій, які працюють з використанням вугілля та деревини**

Електростанція	Потужність, МВт	Склад палива	Технологія отримання енергії
Greeningde St, США	104	10-20% маси	роздільна подача біомаси та вугілля в топку
Plan Kraft, США	55	20-50% маси	
Gelderland-13, США	600	3% енергії	
Tасoma, США	12	68-88% енергії*	спалювання біомаси та вугілля у киплячому шарі
Colmac, США	49	10-20% маси	
Alholmens, Фінляндія	240	45% енергії	
Куміjarvi, Фінляндія	185	15% енергії	газифікація біомаси з подальшим спалюванням генераторного газу
McNeil, США	50	35-100% енергії	
Amer-9, Нідерланди	83	5% енергії	

\* з паралельним використанням твердих побутових відходів.

Джерело: [111]

Отже утилізацію деревинних та сільськогосподарських відходів можна здійснювати на ТЕС, які працюють на вугіллі (з дотриманням певних технічних вимог). Цей спосіб отримання енергії з біологічно відновлюваних енергоресурсів на електростанціях у світі вважають одним із найменш капіталомістких, а технічні характеристики вугільних енергостанцій забезпечують високий рівень ККД при отриманні енергії з деревини [111]. Спільне спалювання вугілля та деревини дає змогу ефективніше використовувати енергію деревини (приблизно в 1,5-2 рази), також може вирішити проблему неритмічності поставок енергоресурсів [113].

Практичний досвід спільного спалювання невідновлюваних викопних енергоресурсів та БВР (в т.ч. деревини) засвідчив, що такий спосіб енергогенерації має низку переваг порівняно з спалюванням лише викопних енергоресурсів. Під час практичних дослідів зі сумісного спалювання бурого вугілля та деревинної тирси автори [114] отримали результати, які засвідчують переваги такого способу отримання енергії. Для спалювання використовували 2 види сумішей бурого вугілля та тирси – із вмістом тирси 20 % та 30 % відповідно. Результати експерименту засвідчили зниження обсягів забруднювальних речовин. Зокрема, для сумішей із вмістом тирси 20 % та 30 % обсяги викидів оксидів азоту були нижчими на 15-20 % відповідно, аніж від спалювання безпосередньо бурого вугілля, а зниження обсягів викидів оксидів сірки становило 30-40 % [114]. Водночас при цьому зростали обсяги отримуваної енергії на 13 % та 18 % відповідно [114].

Наявність достатніх обсягів вугілля та біологічно відновлюваних ресурсів (наприклад, деревини, соломи та ін.) може сприяти використанню деревини як палива на українських ТЕС [115]. Потенціал використання біомаси на українських ТЕС наведено в табл. 2.19 (за даними спеціалістів Інституту технічної теплофізики та Інституту електродинаміки НАН України [113], у рамках прогнозів розвитку вітчизняної енергетики, відповідно до Енергетичної стратегії України на 2030 рік).

**Потенціал використання біомаси на українських ТЕС**

<b>Показник</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>
Потужність ТЕС, що буде забезпечуватись за рахунок біомаси	289	484	590	697
Витрати біомаси, тис т у.п. на рік	506	847	1 033	1 220
Виробництво електроенергії за рахунок біомаси, млн кВт*год/рік	1 445	2 419	2 952	3 485

*Джерело: [113]*

Спеціалісти вважають, що спільне використання БВР (зокрема деревини та соломи) та вугілля на ТЕС України є доцільним на електростанціях з енергоблоками потужністю більше 300 МВт [111]. Вітчизняні ТЕС для спільного спалювання вугілля та біомаси потребують певного оновлення та переоснащення. В Україні розроблено напрямки реконструкції ТЕС, після чого вони можуть бути використані для спільного спалювання вугілля та деревини [116-118]. Водночас використання біомаси як палива на ТЕС без їхньої реконструкції можливе в обсягах 4-10 % робочої потужності [113].

На нашу думку, зважаючи на обсяги утворення деревинних відходів по регіонах та вимоги, які ставляться до ТЕС, розвивати сумісне енергетичне використання деревини та вугілля доцільно на Зміївській, Трипольській, Ладжинській, Придніпровській та Криворізькій ТЕС.

Варто також зауважити, що регіони, в яких розміщені ці електростанції, володіють високим енергетичним потенціалом соломи, яка теж може разом з відходами деревини сумісно з вугіллям використовуватися для енергогенерації. Енергетичний еквівалент потенційних надлишків ресурсів соломи в Україні значно перевищує енергетичні потреби сільських місцевостей, де утворюється солома [113].

Законодавче стимулювання розвитку відновлюваної енергетики (та біоенергетики зокрема) в Україні перебуває на неналежному рівні. В Україні практично немає державних ініціатив, які б сприяли розвитку використання енергії біомаси, а стратегічні плани щодо використання відновлюваної енергії не оцінюють її потенціал повною мірою.

Певною мірою, використання відновлюваних енергоресурсів в Україні регламентовано Законом „Про альтернативні джерела енергії” [19] та Законом „Про альтернативні види палива” [120]. Обидва закони є недосконалими та багато в чому дублюють один одного із лише зміною термінів – альтернативні види рідкого та газового палива і альтернативні джерела енергії. Згадані закони носять декларативний характер – лише трактують поняття альтернативних джерел енергії та палива, не передбачаючи дієвих заходів, які б стимулювали їх виробництво та використання.

Визначення понять альтернативні джерела енергії та альтернативні види рідкого та газового палива є вкрай половинчастими. Зауважимо, що альтернативні види палива є складовими альтернативних джерел енергії, а зазначені закони не розглядають такої ієрархії. Відповідно до Закону України „Про альтернативні джерела енергії”, альтернативні джерела енергії – поновлювані джерела, до яких відносять енергію сонячного випромінювання, вітру, морів, річок, біомаси, теплоти Землі та вторинні енергетичні ресурси, які існують постійно або виникають періодично у довкіллі [119]. Під альтернативними видами палива в Законі розуміється тверде, рідке та газове паливо, яке є альтернативою (заміною) відповідним традиційним видам палива і яке виробляється (видобувається) з нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини [120]. Однак, закон не дає визначення поняттю традиційні види палива, що, своєю чергою, робить незрозумілим наведене в законі визначення поняття альтернативних джерел палива. Проте, цей самий закон тлумачить поняття нетрадиційних джерел та видів енергетичного палива. Під нетрадиційними джерелами та видами енергетичної сировини розуміють сировину рослинного походження, відходи, тверді горючі речовини, інші природні і штучні джерела та види енергетичної сировини, у зокрема й нафтові, газові, газоконденсатні і нафтогазоконденсатні вичерпані, непромислового значення та техногенні родовища, важкі сорти нафти, природні бітуми, газонасичені води, газогідрати, виробництво (видобуток) і



переробка яких потребує застосування новітніх технологій і які не використовуються для виробництва (видобутку) традиційних видів палива.

Водночас, Закон передбачає мінімізацію негативного впливу внаслідок використання альтернативних видів та джерел [119]. При цьому Закон „Про альтернативні джерела енергії” передбачає відновлюваність джерел енергії у визначенні поняття альтернативного джерела енергії. А це, своєю чергою суперечить із поняттям альтернативних видів палива, які згідно із законом не є обов’язково відновлюваними, але є частиною відновлюваних джерел енергії.

Варто сказати, що згадані закони в сучасній редакції є більш прогресивними, аніж вони були на момент їх прийняття. Зокрема законом № 1391-VI від 21.05.2009 „Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива” [121] було внесено ряд важливих доповнень до Закону „Про альтернативні види палива”. Так Закон дає визначення понять біопаливо, біомаса, біоетанол, біогаз, рідке та тверде біопаливо, виробник біопалива та інших. Проте, деякі з визначень є неточними і не повністю описують поняття біологічних видів палива. Понад це, визначення поняття „біомаса” в Законі „Про альтернативні види палива” не співпадає з визначенням цього ж поняття, поданого в Законі „Про електроенергетику”, де термін „біомаса” трактується значно вужче. Таким чином, деякі виробники енергії ризикують не отримувати зелений тариф на електроенергію, якщо вона виготовляється з палив, які Закон не визначає біологічними, наприклад послід тварин [122]. Крім цього Закон „Про альтернативні види палива” встановлює пільги на імпорتنні мита для певних категорій енергогенеруючого обладнання, що працює з використанням біологічних видів палива, проте, на думку деяких фахівців [122], даний перелік є неповним. Законом № 1391-VI від 21.05.2009 [121] позбавляє необхідності виробників біопалива сплачувати податок на прибуток, отриманий від продажу цього палива.

Донедавна єдиним енергетичним ресурсом з біомаси, щодо розширення використання якого існували чіткі законодавчі ініціативи, було дизельне біопаливо. Зокрема, розвиток виробництва біодизелю в Україні регулювався Постановою Кабінету міністрів України „Про затвердження Програми розвитку виробництва дизельного біопалива” [123], яка передбачала заходи із розвитку виробництва та використання біопалива до 2010 року. Ця постанова передбачала фінансування розвитку виробництва біопалив, встановлювала обсяги виробництва біопалива до 2010 року [123].

Законом України „Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення "зеленого" тарифу” [124], було внесено зміни до Закону України „Про електроенергетику” [125], якими встановлено тариф за яким купується електроенергія, вироблена з біологічних палив. Проте, структура тарифу є недосконалою, адже його ставка є недиференційованою в залежності від обсягів виробленої енергії (як це має місце в розвинутих європейських країнах та для інших видів відновлюваної енергії в Україні), зелений тариф не застосовується для виробників, які виробляють енергію одночасно з біологічно відновлюваних та невідновлюваних енергоресурсів, а діапазон біологічно відновлюваних енергоресурсів, які потрапляють під законодавче поняття біопалив, не є вичерпним.

У 2006 році Верховна Рада України затвердила Енергетичну стратегію України на період до 2030 року [106]. Стратегія – доволі суперечлива [126, 127], мало уваги приділено розвитку та використанню відновлюваних джерел енергії в структурі енергоспоживання України, а передбачається розвиток використання викопних енергоресурсів.

Відповідно до прийнятої Стратегії, левову частку енергоспоживання України до 2030 року заплановано покривати за рахунок розвитку ядерної енергетики. Зокрема, для цього, у програмі передбачено спорудження 13 нових атомних енергоблоків (загальною потужністю 18,5 ГВт) та реконструкцію 9 старих (загальною потужністю 10,5 ГВт).

Стратегія також передбачає збільшення обсягів використання вугілля до 101 млн т умовного палива в 2030 році (порівняно з 43,5 млн т в 2005 році). Значну частку вугілля заплановано спрямувати на виробництво електроенергії.

Деякі автори зазначають, що обсяги використання відновлюваних енергоресурсів у перспективі на 2030 рік є явно завищеними. Зокрема, в 2030 році Стратегією передбачено отримання 22,7 млн т умовного палива за рахунок енергії доквілля. Варто зауважити, що такий обсяг енергії практично в 16 разів перевищує аналогічний показник для 15 країн Євросоюзу на 2010 рік, що, безумовно, свідчить про завищення планів як мінімум на порядок [127].

Зауважимо, що плани щодо зниження енергоємності в Україні в перспективі на 2030 рік, відповідно до Стратегії, теж не можна вважати прогресивними. Зокрема, рівень енергоємності на 2030 рік планується 0,43 кг у.п./долар США (за паритетом купівельної спроможності). Аналогічний показник в Україні у 2005 році становив 0,89. При цьому енергоємність економіки Польщі в 2005 році становила 0,34, а тому показник в 0,43 кг у.п./долар США на 2030 рік для України можна вважати щонайменше не прогресивним [127].

Згідно з енергетичною стратегією України на 2030 рік, 33,4 % енергетичних потреб планується покривати за рахунок вугілля, 21,4 % – за рахунок атомних електростанцій та 18,8 % (43,8 % у 2005 році) – за рахунок газу. Такі плани не можна вважати позитивними ані з точки зору охорони доквілля, ані з міркувань національної безпеки. При цьому, за рахунок біоенергетики планується покривати лише 3 % (9,2 млн т у.п.) загальних потреб в енергії, це при тому, що вже на сьогодні енергетичний потенціал біомаси в Україні складає понад 22 млн т умовного палива [102]. Для порівняння, європейські стратегії розвитку енергетики на 2020 рік передбачають залучення біомаси для виробництва енергії обсягом 14,4 % від

загальної потреби, а відновлювані джерела енергії покриватимуть 21,3 % загального енергоспоживання.

Варто зауважити, що розвиток ядерної енергетики, передбачений Стратегією, не є спрямованим на зміцнення національної безпеки, у зв'язку із незабезпеченістю в потрібних обсягах вітчизняної ядерної енергетики паливом. Водночас розвиток відновлюваної енергетики спрямований на зміцнення національної безпеки.

Сьогодні активний розвиток використання деревинної енергії в Україні стримується відсутністю державної програми розвитку біоенергетики. У країні не створено фінансових стимулів активного використання деревинної енергії. Єдиний рушій використання вторинних деревинних ресурсів – можливість економії коштів за рахунок заміщення паливних енергоресурсів, деревинними, що має місце на тих підприємствах, на яких безпосередньо утворюються відходи. Водночас потреба здійснення інвестицій в деревиноспалювальне обладнання знижує обсяги використання деревинних відходів для отримання енергії в Україні. Державне субсидування могло б суттєво змінити цю ситуацію.

Заміщення невідновлюваних енергоресурсів в Україні біологічно відновлюваними (зокрема деревинними ресурсами) сприятиме зниженню рівня імпорту невідновлюваних енергоресурсів. Особливо актуальним застосування деревинних відходів як енергоресурсу є у гірських районах, де зосереджується значна частка відходів лісосічних та деревообробних виробництв та ускладнена газифікація цих районів. Використання біомаси в якості енергоресурсу у гірських місцевостях може повністю покрити енергетичні потреби без залучення невідновлюваних ресурсів. Використання деревинних відходів одночасно з іншими біологічно відновлюваними ресурсами можливе для спільного спалювання з вугіллям та іншими викопними енергоресурсами для забезпечення міст тепловою енергією.

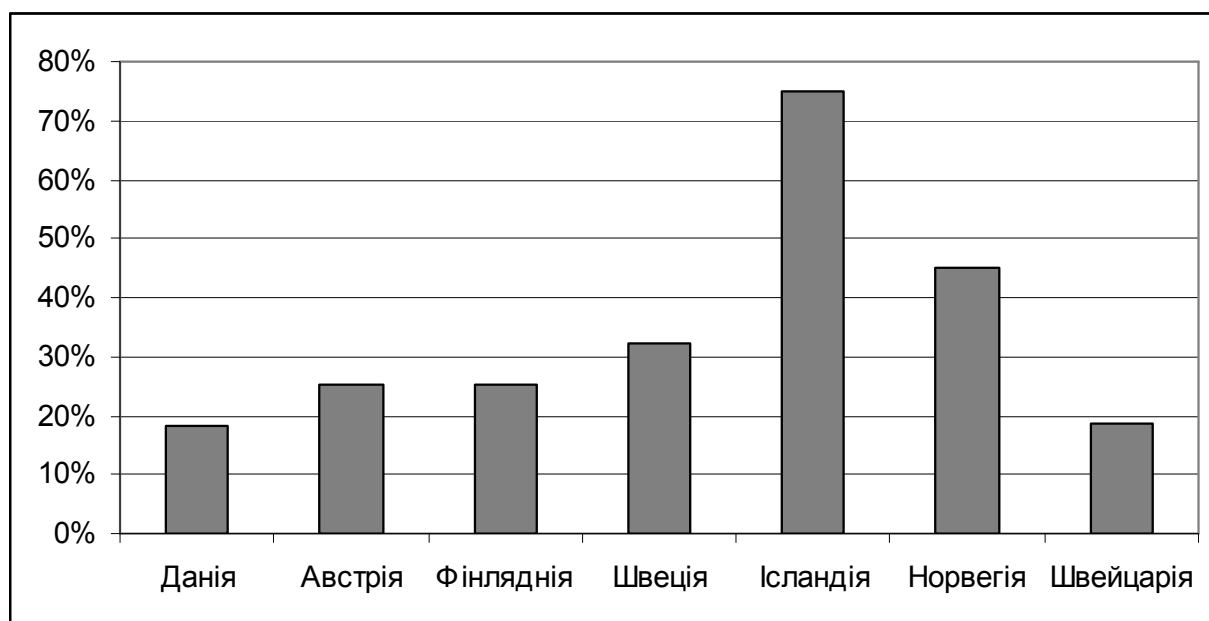
Розгляд використання біологічно відновлюваних енергоресурсів в Україні варто порівнювати з досвідом розвинених країн, які активно

розвивають відновлювану енергетику. До цього питання звернемося у наступному підрозділі, розглянувши методи стимулювання використання біологічно відновлюваних енергоресурсів у розвинених країнах.

### 2.3. Зарубіжний досвід використання біологічно відновлюваних енергоресурсів

Зростання рівня цін на невідновлювані енергоресурси та нерівномірність їхнього розміщення на планеті, відносно низька екологічність їх використання стали основними рушіями розвитку нетрадиційної енергетики. Лідерами у використанні відновлюваної енергії, зокрема біомаси (в тому числі деревини як енергоресурсу) стали розвинені країни Європи та Америки.

Судити про обсяги використання відновлюваної енергії в розвинених країнах можна, наприклад, з рис. 2.11.



**Рис.2.11. Частка відновлюваної енергії у сукупному внутрішньому споживанні у деяких європейських країнах, % (станом на 2008 р.)**

*Джерело: власна розробка на основі [128]*

На загал в 2008 році 10,3% сукупного кінцевого енергоспоживання Євросоюзу забезпечувалося за рахунок відновлюваних енергоресурсів [129]. Водночас такий невисокий показник спричинений низьким рівнем розвитку

відновлюваної енергетики в країнах нових країна-членах Європейського Союзу. При цьому старі члени ЄС характеризуються високим рівнем розвитку відновлюваної енергетики, в яких 20-70 % сукупного енергоспоживання покривається за рахунок відновлюваних джерел енергії. При цьому варто зауважити, що особливо високі показники в Ісландії та Норвегії зумовлені використанням гідро- та геотермальної енергії, що зумовлено особливостями їхнього географічного розташування.

Розвинені країни з метою збільшення рівня екологічності енергоспоживання та зниження рівня залежності від постачальників невідновлюваних ресурсів (для прикладу, в 2000 році рівень енергетичної залежності Євросоюзу становив 46,7 % [130], в 2005 – 52,3 % [130], а в 2008 – 54,8 % [128]) значну ставку зробили на розвиток використання енергії біомаси.

До 2020 р. в Євросоюзі планується збільшити частку відновлюваних енергоресурсів у загальному енергоспоживанні до 20 %, довести частку біопалив у сфері транспорту до 10 % та знизити обсяги викидів парникових газів на 20 % від рівня 1990 року [103]. Наприкінці 2005 року Європейська комісія задекларувала збільшення частки біоенергетики в загальному обсязі до 8 % у 2010 році. Такі наміри задекларовані в Плані дій щодо біомаси (Biomass Action Plan). Таким чином, якщо в 2004 році частка біомаси в загальному обсязі виробництва енергії в країнах Європейського союзу становила 4 % [131], то заплановано збільшити виробництво енергії з біомаси вдвічі протягом п'яти років. Поточні обсяги використання енергії відновлюваних ресурсів, а також прогнози їхнього використання наведено в табл. 2.20, дані якої свідчать про те, що в країнах ЄС заплановано нарощення використання відновлюваної енергетики, за паралельного зниження енергоспоживання.

Оцінити динаміку зростання частки спожитої енергії з біомаси в деяких європейських країна можна з рис. 2.12. Варто зауважити, що усі наведені на рис. 2.12 країни, є колишніми учасниками соціалістичного табору, для яких

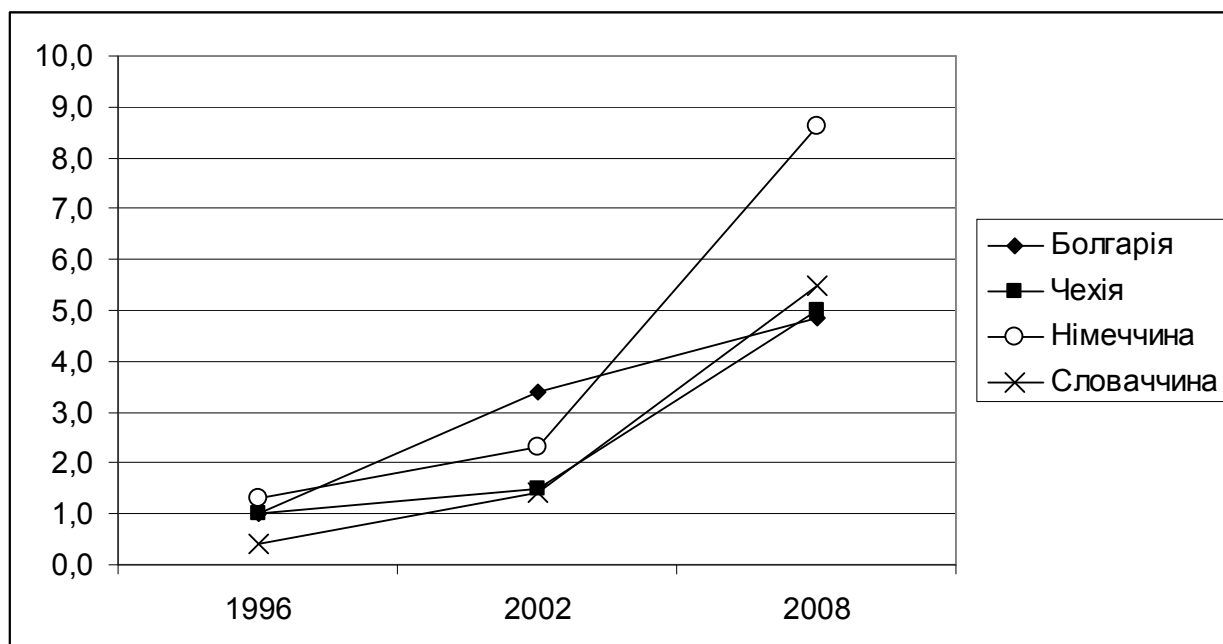
використання енергії біомаси не було характерним. Для країн старої Європи частка енергії біомаси є значно вищою, але при цьому теж характерне зростання частки енергії біомаси у загальному обсязі енергоспоживання.

Таблиця 2.20

**Частка відновлюваних енергоресурсів у загальному споживанні  
первинних енергоресурсів у країнах ЄС, млн т н.е.**

Вид енергії	2006 р.		Прогноз на 2010 р.		Мета на 2020 р.	
	млн. т н.е.	% від всього	млн. т н.е.	% від всього	млн. т н.е.	% від всього
Загальне споживання первинних енергоносіїв	1825	100	1 761	100	1 633	100
Вітрова енергія	7,08	0,39	15,40	0,87	43,9	1,69
Гідроенергія	26,57	1,46	30,60	1,74	33	2,02
Фотоелектрика	0,21	0,01	0,80	0,05	5,3	0,32
Біомаса	89,52	4,91	125,00	7,10	235	14,4
Геотермальна	5,58	0,31	8,20	0,46	16,4	1,0
Сонячна теплова	0,77	0,04	2,00	0,11	12	0,73
Сонячна електрична	0	0	0,20	0,01	0,8	0,05
Океан (припливи, відливи)	0	0	0,25	0,01	1,3	0,08
Всього ВЕР	129,74	7,11	182	10	348	21

Джерело: власна розробка на основі [132,133]



**Рис. 2.12. Динаміка частки енергії біомаси у сукупному внутрішньому енергоспоживанні у деяких європейських країнах**

Джерело: власна розробка на основі [128]

У багатьох країнах Європи, зважаючи на доступність деревинних ресурсів, значна частка енергії біомаси буде забезпечуватися саме використанням деревини як енергоресурсу. Наприклад, до 2010 року в Австрії було заплановано 40% теплової енергії, 4% електроенергії та 4 % усіх потреб у рідких паливах покривати за рахунок використання біомаси. Головним напрямком енергетичного використання відновлюваних ресурсів в Австрії є спалювання біомаси з метою тепlopостачання [134]. При цьому в 2008 році практично 85 % від загального обсягу енергетичного споживання біомаси в Австрії [128] складало використання деревинних ресурсів – дров, кори, тріски, відходів деревообробки, деревинних гранули та брикетів (порівняно з 73 % у 1998 році [134]), а енергія з деревини покривала 11,7 % усього внутрішнього енергоспоживання країни [128].

Цілком зрозуміло, що рівень використання біологічно відновлюваних енергоресурсів залежить від природної їх доступності та обсягів промислової переробки. Порівняти рівень лісистості території та обсяги енергії, отриманої деревинних ресурсів в деяких країнах Європейського союзу, можна за даними наведеними у табл. 2.21.

З табл. 2.21 видно, що рівень лісистості країни доволі тісно пов'язаний із обсягами утворюваних відходів та обсягами виробництва енергії з деревини. Зокрема, коефіцієнт кореляції між обсягами утворення деревинних відходів та обсягами генерованої енергії з деревини (розраховані за даними, наведеними в табл. 2.21) становить  $0,54$ , а кореляція між рівнем лісистості та обсягами утворюваних деревинних відходів –  $0,36$ . Також можна стверджувати, що є зв'язок між обсягами лісистості та часткою енергії деревини у загальному енергоспоживанні – коефіцієнт кореляції становить  $0,35$ . Варто зауважити, що обсяги залучення деревини в енергетику в країнах Європи постійно зростають.

Енергія біомаси найширше використовується в тепlopостачанні, оскільки таке використання біомаси за існуючих технологій та обсягів доступних ресурсів є найменш затратним [131]. При цьому левову частку



серед енергоресурсів біомаси у виробництві теплової енергії займає деревина. За даними наведеними у табл. 2.22 та табл. 2.23, можна порівняти масштаби використання деревини для виробництва тепла та електроенергії та проілюструвати наведену вище тезу.

Таблиця 2.21

**Лісистість, утворення деревинних відходів та обсяги енергії з деревини в країнах Європи**

Країна	Лісистість, %	Утворення деревинних відходів, тис. т	Енергія з деревини		
			Виробництво, тис. т н.е.	Частка в загальному обсязі ВЕР, %	Частка в загальному обсязі енергоспоживання, %
Бельгія	23	1 322,4	768	43%	1,3%
Данія	15	892,1	1 389	44%	7,0%
Німеччина	32	10 270,5	104	0%	0,0%
Греція	51	745,2	873	55%	2,7%
Іспанія	57	1 932,3	4 339	40%	3,1%
Франція	31	8 681,8	8 919	45%	3,3%
Італія	37	2 468,6	2 092	16%	1,2%
Нідерланди	11	2 141,9	897	29%	1,1%
Австрія	48	6 231,8	3 966	48%	11,7%
Польща	30	5 321,0	4 739	87%	4,8%
Португалія	42	2 010,1	2 788	63%	11,2%
Фінляндія	77	12 477,5	7 412	81%	20,4%
Швеція	75	4 507,6	8 306	52%	16,6%
Норвегія	39	1 150,8	106	1%	0,4%

*Дані про лісистість станом на 2005 р.; про обсяги утворення відходів та енергію – 2008р.*

*Джерело: власна розробка на основі [128,135,136]*

З табл.2.22 видно, що деревина становить 45 % від усіх відновлюваних енергоресурсів, які використовуються для виробництва тепла в країнах Євросоюзу. Варто зауважити, що в 2006 р. біомаса забезпечувала 73 % виробництва усього тепла (порівняно із 46 % у 2002 р.), а деревина – 45% (порівняно із 38 % у 2002 р.).

**Структура виробництва теплової енергії з ВЕР у країнах ЄС, %**

Відновлюваний ресурс	2002	2006
Геотермальна енергія	16	14
Деревина та деревинні відходи	38	45
Побутові відходи	34	27
Біогаз	12	12
Інші ресурси біомаси	0,1	2,4
Всього	100	100

Джерело: власна розробка на основі [132].

**Структура виробництва електроенергії з ВЕР у країнах ЄС, %**

Відновлюваний ресурс		2002	2006
Гідроенергія		79,58	78,83
Вітрова енергія		8,17	18,83
Геотермальна енергія		1,09	1,28
Сонячна енергія		0,06	0,57
Біомаса		11,09	20,55
в т.ч.	Деревина та деревинні відходи	5,57	10,57
	Біогаз	2,13	3,53

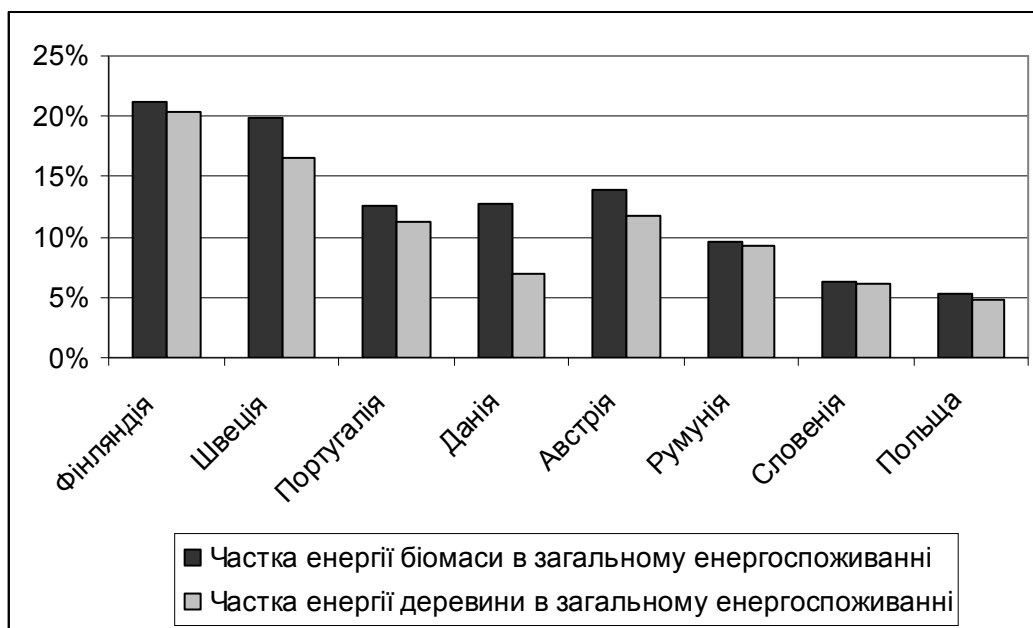
Джерело: власна розробка на основі [137].

Дані табл. 2.22 та 2.23 демонструють, що деревина залучена у значно ширших масштабах у виробництво теплоти, аніж електроенергії. Загалом частка біомаси у сукупному обсязі електроенергії в ЄС становила лише 2,7 % у 2006 р. (порівняно із 1,6 % у 2002 р.), а частка деревини – 1,4 % (у порівняно із 0,8 % у 2002 р.).

Серед розвинених країн провідні позиції у виробництві енергії з біомаси (зокрема і деревини) займають Фінляндія, Швеція, Данія, Австрія, Португалія. На рис. 2.13. відображено обсяги використання енергії з біомаси та деревини в країнах-лідерах Європи у виробництві біоенергії (станом на 2008 р.).

Позиції лідера в енергетичному використанні деревини займає Фінляндія. Частка енергії біомаси у загальному внутрішньому

енергоспоживанні (*Gross inland energy consumption*) станом на 2008 р. становить 21 % [128]. Питомий показник отримання енергії деревини є найвищим у світі – 1,4 т н.е./особу на рік [128]. Частка деревини у загальному обсязі виробленої енергії біомаси становить понад 96 % (станом на 2008 р.) та складає більше 20 % загального первинного енергоспоживання країни [128]. Це, своєю чергою, зумовлено високим показником лісистості країни – 77 %, а також програмами стимулювання розвитку біоенергетики, а особливо енергетичного використання деревини.



**Рис. 2.13. Європейські лідери з енергозабезпечення біомасою та деревиною**

*Джерело: власна розробка на основі [128].*

Провідні позиції у використанні деревини для енергопостачання належать Швеції. Зокрема в тут понад 100 котелень центрального опалення, які працюють на деревині, забезпечують 25 ПДж теплової енергії [131], а обсяги енергії з деревини становлять 0,904 т н.е. на душу населення [128]. Загалом у Швеції біомаса покриває 20 % енергетичних потреб, а деревина – 17 % (частка деревини становить понад 83 % від усієї енергії з біомаси) [128].

Лідеруючі позиції Швеції в енергетичному використанні біомаси та деревини зокрема, є результатом всебічної програми енергозбереження, розгорнутої в 70-х роках з метою зниження нафтової залежності [138]. До 2010 року в країні планується наростити обсяги енергії, отримуваної з

біомаси до 20 ТВт\*год. (порівняно з 3,3 ТВт\*год. у 1998 р.). До 2020 року завдяки нарощуванню обсягів біоенергетики заплановано позбутися нафтової залежності країни [139].

Значно менші обсяги використання деревини в енергетичних цілях в Данії. Водночас вона займає лідируючі позиції в світі з енергетичного використання соломи. При цьому енергетичне використання деревини посідає важливе місце в енергозабезпеченні країни – 7 % всього енергоспоживання покривається за рахунок використання деревини. Станом на 2007 рік, понад 41% теплоенергетики (послугами якої користувалося 2,5 млн. квартир та приватних будинків) забезпечувалося за рахунок використанням енергії біомаси [140]. Сьогодні в Данії майже 200 комунальних котелень та понад 600 тис. приватних (встановлених на підприємствах, фермах, приватних будинках) працюють з використанням біомаси [141].

Розвиток біоенергетики в Данії припадає після енергетичної кризи 1973-1974р., коли рівень енергетичної залежності країни становив понад 90 % (за рахунок імпорту нафти) [131]. Починаючи з 1975 р., в країні було розроблено та впроваджено чотири енергетичні програми, кожна із яких мала свої цілі, а загалом вони спрямовані на вирішення комплексу економічних, екологічних та соціальних питань, а також зміцнення національної безпеки в сфері енергетики. Відповідно до цих програм, частка відновлюваної енергії у загальному обсязі енергоспоживання повинна досягти 22 % у 2030р [142], що більш ніж на 37 % перевищує аналогічний показник 2008 року [128].

У Німеччині 8,6 % загального внутрішнього енергоспоживання покривається за рахунок відновлюваних енергоресурсів, з них 80 % складає енергія біомаси [128]. Частка деревини складає 35 % від загального обсягу відновлюваної енергетики та 44 % від загальної маси біологічно відновлюваних енергоресурсів (покриває 6,8 % усіх енергетичних потреб країни) [128]. Варто зауважити, що протягом 2001-2008 рр. обсяги енергії, отримуваної з деревини в Німеччині були нарощені практично вдвічі.

В енергетичних цілях у Німеччині деревина переважно використовується для виробництва тепла. Щороку в Німеччині продається понад 15 тис. побутових котлів для спалювання деревини, 180 тис. камінів та 2 тис. топків, а загалом в країні населення використовує понад 9 млн одиниць такого обладнання та працює 1 100 опалювальних систем [131]. Саме в Німеччині мають місце найвищі темпи залучення відновлюваних ресурсів в енергетику.

Розширення використання біологічно відновлюваних енергоресурсів зумовлено низкою переваг цих ресурсів порівняно з невідновлюваними. Передумови заміщення викопних енергоресурсів біологічно відновлюваними мають об'єктивний характер. Але є й ряд чинників, які мають суб'єктивну природу. Так, на макрорівні є низка передумов (не лише економічних), які сприяють заміщенню невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними. На мікрорівні суб'єкти господарювання байдужі до значної частини з цих передумов, адже суб'єкт господарювання здебільшого гнучко реагує на економічні стимули, які до того ж спрямовані переважно на найближчу перспективу та законодавчі обмеження. Таким чином, держава трансформує неекономічні передумови макрорівня в економічні на мікрорівні, створюючи низку фіскальних та монетарних стимулів до використання саме відновлюваних енергоресурсів. Наприклад, у країнах ЄС діють державні програми стимулювання використання відновлюваних енергоресурсів. Ці стимули полягають у державних дотаціях для використання відновлюваних енергоресурсів та податках на використання невідновлюваних ресурсів. Система економічних важелів побудована таким чином, що дешевше використовувати відновлювані енергоресурси, аніж невідновлювані. Таким чином, суб'єкти господарювання, намагаючись оптимізувати свої видатки та надходження, звертаються до використання саме відновлюваних енергоресурсів.

Державне стимулювання енергетичного використання відновлюваних ресурсів (зокрема й деревинних) в енергетичних цілях у розвинених країнах

переважно здійснюється у двох формах: податкове стимулювання та інвестування в обладнання. Важливе місце також відведено здійсненню інформаційно-роз'яснювальної роботи та навчань з питань використання відновлюваних енергоресурсів. На рис. 2.14 наведено класифікацію інструментів стимулювання використання енергії з деревини та біомаси загалом.



**Рис. 2.14** Класифікація інструментів екополітики в сфері енергетичного використання деревини

*Джерело: власна розробка*

З рис. 2.14 видно, що стимулювати енергетичне використання деревини можна як прямими стимулами, так і непрямими. Непрямі інструменти стимулювання здебільшого спрямовані на популяризацію використання біологічно відновлюваної енергії серед потенційних користувачів – в основному населення та суб'єктів господарювання. До непрямих інструментів стимулювання можна віднести і науково-технічний розвиток у галузі біоенергетики, наслідком якого буде підвищення ефективності використання біологічно відновлюваних енергоресурсів, а також

здешевлення обладнання для їхнього використання. Стимули прямої дії за своєю суттю є економічними інструментами, створюючи виробникам та користувачам деревинної енергії „пільгові” умови порівняно із користувачами невідновлюваної енергії.

Один із найвищих рівнів використання біомаси в енергетичній сфері (насамперед деревини), що має місце у Фінляндії, зумовлений комплексом стимулювальних заходів з боку держави. В державній енергетичній стратегії Фінляндії зауважується важливість розвитку біоенергетики та відновлюваної енергетики загалом, з метою забезпечення енергетичної безпеки країни, конкурентоспроможності виробленої енергії та виконання міжнародних зобов'язань країни із зниження викидів діоксиду вуглецю [131].

Розвиток відновлюваної енергетики у Фінляндії стимулюються широким спектром інструментів. Тут, зокрема, використовуються як фінансові важелі впливу (податки та субсидування), так і не фінансові (реклама, виставки, навчання). У Фінляндії було введено екологічний податок на викиди діоксиду вуглецю від використання викопних палив, ставка якого періодично підвищується [143]. Конкурентоспроможність енергії з деревини забезпечується не лише податками на невідновлювані енергоресурси, але й субсидуванням виробництва цієї енергії. Крім того, субсидується заготівля паливної деревини населенням. Значні кошти інвестуються у наукові розроблення з виготовлення деревинних паливних брикетів, гранул та тріски, що сприяє зниженню собівартості виробництва деревинних паливних ресурсів [143].

Досвід Фінляндії у сфері енергетичного використання деревини (як і інших відновлюваних енергоресурсів) засвідчує, що найефективнішим інструментом підвищення рівня конкурентоспроможності біоенергетики є науково-дослідницька робота в сфері технологій вирощування, збору та переробки біологічно відновлюваних ресурсів, а також відповідного обладнання з енергетичної переробки цих ресурсів [144].

Активне державне стимулювання використання відновлюваних енергоресурсів у Швеції розпочалося у 70-х роках ХХ століття. Враховуючи значний рівень лісистості країни, наслідком таких стимулювальних заходів став розвиток використання деревини в якості енергоресурсу.

До екологічних податків, які стимулюють розвиток відновлюваної енергетики в Швеції, відносять оподаткування викидів оксидів вуглецю (від використання газолу, мазуту, природного газу та вугілля) та оксидів сірки (від використання мазуту та вугілля). Також оподатковується безпосереднє використання викопних енергоресурсів: вугілля, природного газу, мазуту та газолу, а також електроенергії, отриманої з викопних енергоресурсів. При цьому уряд субсидує до 25 % витрат на будівництво теплоелектростанцій, які працюють на біомасі. У країні стимулюється когенерація тепла та електроенергії, отриманих з використанням біомаси, а енергорозподільчі компанії зобов'язані купувати „зелену” електроенергію у малих її виробників. Значна увага приділяється науковим розробкам в сфері енергетичного використання деревини. Таким чином, на сьогодні державне стимулювання розвитку біоенергетики переважно здійснюється за рахунок екологічного та економічного податків на використання біопалива, субсидування інвестиційних проектів, фінансування дослідницьких та демонстраційних проектів [138].

У Швеції відбувається переорієнтація виділення коштів з науково-технічних розроблень у сфері використання деревини в енергетичних цілях, до пілотних проектів, пов'язаних із переобладнанням ТЕС з мазуту на використання деревинного палива (переважно деревинних гранул) [144].

У Данії реалізуються програми з розвитку біоенергетики, які стимулюють розвиток технологій у цій галузі, а також передбачають пільги та субсидії виробникам біоенергії. Зокрема, 20 % субсидія передбачається на встановлення котлів для спалювання біомаси [144]. У країні діє податок на викиди діоксиду вуглецю для виробників енергії з викопних енергоресурсів, а виробництво електроенергії з соломи та деревинної тріски дотується [142].



Варто зауважити, що система екологічних податків на використання викопних енергоресурсів поступово замінюється інструментом „зелених” сертифікатів. „Зелений сертифікат” є своєрідним цінним папером, який отримують виробники енергії з відновлюваних джерел (залежно від обсягів такого виробництва). Таким чином, виробники можуть отримувати додаткові доходи від операцій із „зеленими сертифікатами”. Наслідком запровадження екологічних податків у Данії є зниження ціни „зеленої” енергії, яка вже є дешевшою, ніж невідновлювана енергія, а розподільчі компанії зобов’язані купувати цю енергію.

В Австрії уряд стимулює розвиток використання відновлюваних енергоресурсів як шляхом субсидування капітальних затрат на використання біопалива, так і системою податків та податкових пільг. З 1995 року в країні діє податок на використання нафтопродуктів та газового конденсату, а з 1996 року оподатковується використання природного газу [134]. З 2000 року законодавчо стимулюється розвиток відновлюваної енергетики (в тому числі з використанням біомаси). В Австрії уряд фінансує 30 % вартості котелень для спалювання біомаси (85 % якої в Австрії становить деревина). Як наслідок, протягом 15 років було введено в експлуатацію понад 500 котелень централізованого теплопостачання [131]. У країні постійно проводяться виставки, які покликані популяризувати використання відновлюваних енергоресурсів, розробляються рекламні матеріали, безкоштовні навчання та консультації для приватних користувачів біоенергії. Австрія здійснює значний обсяг наукових досліджень, які стосуються енергетичного використання біомаси та залучає зарубіжний досвід.

Стимулювання використання деревини в енергетичних цілях у Німеччині значною мірою відбувається за рахунок субсидування інвестиційних проектів. Державні програми передбачають податкові пільги виробникам зеленої енергії, хоча відповідно до державних програм розмір пільг зменшуватиметься щороку. Водночас виробники „зеленої” енергії отримують гарантовані держаною пільги на енергетичному ринку під час

просування власної продукції. У Німеччині діє єдиний орган, який займається збором та розповсюдженням технічної інформації щодо отримання енергії відновлюваних джерел – Агенція з відновлюваних джерел енергії [145].

У США біоенергетика розвивається протягом останніх 30 років. У країні створено центральний орган, який координує енергетичне використання біомаси – Офіс біоенергетики Департаменту енергетики США. Зростанню обсягів виробництва енергії з біомаси (зокрема деревини) сприяли податкові пільги. Пріоритетним напрямком вважається спільне спалювання біомаси та вугілля з метою отримання тепла. Значна увага у розвитку біоенергетики в країні приділяється розвитку та поширенню знань про біологічно відновлювані ресурси [146].

Федеральний устрій країни передбачає законодавчу політику підтримки розвитку відновлюваних енергоресурсів у кожному штаті окремо. Зокрема кілька штатів країни прийняли „Портфель стандартів з відновлюваних джерел енергії”, який передбачає обов’язковий мінімальний рівень виробництва електроенергії відновлюваних енергоресурсів (в тому числі й біологічно відновлюваних) [146]. Характерною особливістю розвитку відновлюваної енергетики в США є те, що електроенергія з відновлюваних джерел є дещо дорожчою, аніж та, що отримана з невідновлюваних, а виручена різниця спрямовується на розвиток відновлюваної енергетики.

### **Висновки до другого розділу**

Зменшення доступних обсягів невідновлюваних енергоресурсів та зростання цін на них призводить до розвитку технологій, пов’язаних із використанням відновлюваних, що зумовлює їхнє здешевлення та підвищення рівня доступності. Особливе місце серед відновлюваних енергоресурсів належить біологічно відновлюваним. Порівняльний аналіз біологічно відновлюваних та викопних енергоресурсів засвідчив, що

використання перших призводять до нижчих рівнів антропогенного забруднення та знижує загрозу глобального потепління.

Підвищення еколого-економічної ефективності використання відновлюваних енергоресурсів можливе за умови дотримання принципів поводження з ними. Існуюча система принципів є неповною. Крім вже відомих принципів слід дотримуватися особливо актуальних вимог екологічності, невиснажливого використання; релевантності, максимізації еколого-економічного ефекту.

Важливе місце серед біологічно відновлюваних енергоресурсів займають деревинні. Найвагомими складовими енергетичних деревинних ресурсів є деревинні відходи та плантаційна деревина (піддана подальшій переробці в паливні гранули, брикети і т.п.). З-поміж деревинних енергетичних ресурсів вирізняються деревинні відходи: відходи лісосічного та деревообробного виробництва, а також уживана деревина, енергетичне використання якої по суті супроводжується утилізацією та підвищенням рівня ефективності технологій, які утворюють ці відходи.

Деревинні ресурси, зокрема деревинні відходи, можуть бути важливим паливно-енергетичним ресурсом, використання якого сприятиме вирішенню низки еколого-економічних та соціальних проблем, зміцненню національної безпеки країн, за рахунок зниження залежності від постачальників викопних енергоресурсів. Водночас енергетичне використання ресурсів деревини вимагає дотримання ряду спеціальних принципів, а саме: націленості на отримання супутніх екологічних та соціальних ефектів у процесі вирощування та переробки плантаційної деревини; спрямування на утилізацію відходів виробництва лісової та деревообробної галузей; мінімізації обсягів викидів, утворюваних внаслідок спалювання деревинних ресурсів; забезпечення збереження біорізноманіття та підтримки лісових екосистем при вилученні деревини з лісосік для енергетичних потреб; врахування ритмічності процесу приросту деревини та коливання енергетичних потреб. При оцінці потенціалу біологічно відновлюваних

енергоресурсів, в тому числі й деревини, до уваги слід приймати екологічно доступні їх обсяги.

Розвинені країни дедалі більше уваги приділяють використанню енергії біологічно відновлюваних ресурсів, у деяких з них частка цих ресурсів досягає 20% від загального енергоспоживання. Серед усіх біологічно відновлюваних ресурсів найширше використовуються деревина та солома. При цьому встановлено, що існує тісний зв'язок між рівнем лісистості країни, обсягами утворюваних деревинних відходів та рівнем залучення деревини в енергетику.

Запорукою широкого використання біологічно відновлюваних енергоресурсів є державне стимулювання цього. До інструментів стимулювання використання біологічно відновлюваних енергоресурсів відносять екологічні та економічні податки, інвестиції в енергогенераційне обладнання та субсидування відновлюваної енергетики, реклама та розвиток науково технічного прогресу в сфері біологічно відновлюваних енергоресурсів.

Сучасний енергетичний потенціал утворюваних біологічних відходів в Україні здатен забезпечити до 15% енергоспоживання. За різними оцінками енергетична цінність біологічно відновлюваних ресурсів, які щорічно утворюються в Україні – 16,4-67,7 млн. т умовного палива. Такий потенціал в першу чергу зумовлений високим рівнем розвитку лісового та сільського господарства, а також значними обсягами промислової переробки деревини. Великі площі земель, які вийшли з сільськогосподарського вжитку можуть бути використані для плантаційного лісовирощування.

Розвиток біологічно відновлюваної енергетики зможе забезпечити значний обсяг отримуваної енергії. Біологічно відновлювані ресурси можуть бути ефективно використані в Україні навіть без значних капіталовкладень. Водночас державні програми щодо енергетичного розвитку недостатньо уваги приділяють розвитку відновлюваної енергетики, основні акценти роблячи на розвиток невідновлюваної енергетики.

### РОЗДІЛ III

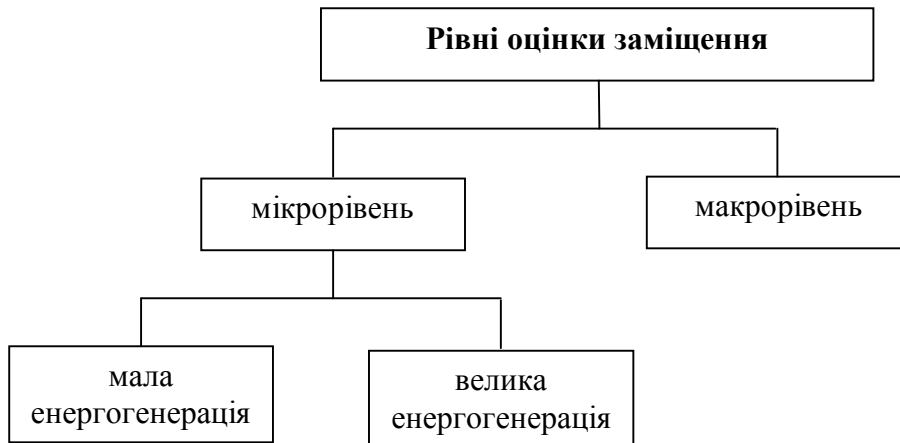
## МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО ВІДНОВЛЮВАНИХ РЕСУРСІВ

Методика здійснення еколого-економічної оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними потребує чіткого врахування усіх ефектів, які виникають. Своєю чергою, це вимагає врахування масштабу здійснення заміщення енергоресурсів.

Здійснювати еколого-економічну оцінку доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними можна на макрорівні (у масштабах держави) та на мікрорівні (у масштабах певного суб'єкта, який використовує невідновлювані ресурси для енергогенерації). Своєю чергою, оцінку доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними на мікрорівні варто здійснювати для двох ситуацій: ситуація, коли є суб'єкт, який використовує енергію лише для власних потреб та ситуація, коли є суб'єкт, який виробляє енергію для забезпечення інших суб'єктів. Причиною такого розмежування є обсяги енергії, яка генерується та вартість капіталовкладень, потрібних для заміщення ресурсів, врахування особливостей, які виникають під час транспортування отриманої енергії, а також масштаб соціальних ефектів, які виникають в процесі заміщення. До того ж, у випадку суб'єкта, який виробляє енергію для власних потреб, доцільним може бути повне заміщення, що зумовлено переважно доступністю ресурсів (деревини для деревообробних підприємств, сільськогосподарськими відходами для аграрних виробництв). Назвемо такі рівні рівнями малої та великої енергогенерації. Рівні здійснення оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними зображено на рис. 3.1.

Прикладом малої енергогенерації з використанням біологічно відновлюваного ресурсу є лісові та деревообробні підприємства, які можуть

використовувати деревинні відходи як енергоресурс, аграрні господарства, які можуть використовувати соломку, качани та інші відходи біомаси.



**Рис. 3.1. Рівні здійснення оцінки доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними**

*Джерело: власна розробка*

Здійснення еколого-економічної оцінки доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними передбачає порівняння витрат на забезпечення потрібних обсягів енергії за умови зведення порівнюваних варіантів до зіставних показників антропогенного забруднення довкілля.

### **3.1. Оцінка доцільності заміщення енергоресурсів в умовах малої енергогенерації**

Розглянемо підприємство, яке для забезпечення власних енергетичних потреб використовує невідновлюваний енергоресурс та обладнання для його спалювання. Як біологічно відновлюваний ресурс розглянемо деревинні відходи власного виробництва. Припустимо, що ринкова вартість вживаного обладнання для енергогенерації з використанням невідновлюваного ресурсу становить  $I_n$ . Потрібний річний обсяг енергії для функціонування підприємства, який забезпечується використанням невідновлюваного ресурсу, становить  $E_d$ . Припустимо, що відбувається заміна невідновлюваного енергоресурсу біологічно відновлюваним (наприклад, деревинними відходами власного виробництва) з одночасним

запровадженням обладнання для спалювання цього ресурсу. Нехай вартість такого обладнання дорівнює  $I_r$ .

В умовах малої енергогенерації заміщення невідновлюваного ресурсу відновлюваним та зведення рівня забруднення до зіставного рівня зумовлює низку економічних ефектів, які потрібно врахувати для оцінювання заміщення:

- ✓ ефекти, зумовлені різницею вартості заміщуваних ресурсів;
- ✓ ефекти, зумовлені впровадженням нового обладнання та вилученням старого;
- ✓ витрати на зведення забруднення до зіставного рівня (експлуатаційні та капітальні витрати).

Оцінимо ефекти, зумовлені ціною заміщуваних ресурсів. Нехай  $p_n$  та  $p_r$  – ціна одиниці відновлюваного та невідновлюваного ресурсу,  $\eta_n$  та  $\eta_r$  – коефіцієнти корисної дії установок з енергогенерації, які працюють на невідновлюваному та відновлюваному енергоресурсах відповідно. Таким чином, обсяги відновлюваного ресурсу, потрібні для покриття енергетичних потреб підприємства, можна визначити за формулою:

$$Q_r = \frac{E_d}{\eta_r \cdot \lambda_r}, \quad (3.1)$$

де  $Q_r$  – потрібний річний обсяг відновлюваного ресурсу, кг;

$\lambda_r$  – питома теплота згорання біологічно відновлюваного ресурсу;

Потрібний обсяг невідновлюваного ресурсу визначається за формулою:

$$Q_n = \frac{E_d}{\eta_n \cdot \lambda_n}, \quad (3.2)$$

де  $Q_n$  – потрібний річний обсяг невідновлюваного ресурсу;

$\lambda_n$  – питома теплота згорання невідновлюваного палива.

Виходячи з (3.1) та (3.2), річна вартість невідновлюваного та відновлюваного ресурсів, потрібних для покриття енергетичних потреб підприємства, визначається за формулами:

$$C_n = Q_n \cdot p_n = \frac{E_d}{\eta_n \cdot \lambda_n} \cdot p_n, \quad (3.3)$$

$$C_r = Q_r \cdot p_r = \frac{E_d}{\eta_r \cdot \lambda_r} \cdot p_r, \quad (3.4)$$

де  $C_n$  та  $C_r$  – річна вартість потрібного обсягу невідновлюваного та відновлюваного ресурсів відповідно.

Зрозуміло, що ціна деревинних відходів може бути додатною, нульовою або ж від'ємною. Враховуючи, що в цьому випадку як відновлюваний ресурс розглядаються деревинні відходи, які утворюються на підприємстві, їхню вартість можна прийняти нульовою або ж від'ємною (у разі, якщо до заміщення ресурсів для утилізації відходів здійснювалися певні витрати).

Таким чином, ефекти, зумовлені різницею вартості заміщуваних ресурсів (за рахунок різних цін та обсягів споживання невідновлюваного та біологічно відновлюваного ресурсів), визначаються за формулою:

$$E^{p'} = C_n - C_r = \frac{E_d}{\eta_n \cdot \lambda_n} \cdot p_n - \frac{E_d}{\eta_r \cdot \lambda_r} \cdot p_r = E_d \cdot \left( \frac{p_n}{\eta_n \cdot \lambda_n} - \frac{p_r}{\eta_r \cdot \lambda_r} \right), \quad (3.5)$$

де  $E^{p'}$  – річний економічний ефект, зумовлений різницею вартості заміщуваних енергоресурсів.

Ефект, зумовлений різницею вартості заміщуваних ресурсів, визначений за період, для якого здійснюється оцінка визначатиметься за формулою:

$$E^p = \sum_{h=1}^T \frac{E_h^{p'}}{(1+d)^h}, \quad (3.6)$$

де  $E^p$  – ефект, зумовлений різницею вартості заміщуваних ресурсів, протягом розрахункового періоду заміщення невідновлюваних енергоресурсів, біологічно відновлюваними;

$E_h^{p'}$  – річний ефект від заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними в році  $h$ , зумовлений різницею вартості енергоресурсів;

$T$  – тривалість горизонту оцінки проекту із заміщення енергоресурсів;

$d$  – норма дисконтування.



Перейдемо до оцінки економічних ефектів, які виникають внаслідок заміни енергогенеруючого обладнання. Враховуючи, що вартість деревиноспалюючого обладнання становить  $I_r$ , економічні ефекти, пов'язані з впровадження використання деревини як енергоресурсу, можна визначити:

$$E^l = I_n - I_r, \quad (3.7)$$

де  $E^l$  – економічний ефект від заміщення, який виникає внаслідок заміни енергогенеруючого обладнання.

Наступною складовою оцінки еколого-економічної доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів деревинними відходами на малому підприємстві є ефекти, які виникають у зв'язку із зниженням рівня антропогенного забруднення від використання енергоресурсів. З табл. 2.2 та табл. 2.3 видно, що невідновлювані ресурси володіють вищим потенціалом викидів в атмосферу під час спалювання, аніж деревина. Таким чином, для здійснення адекватної оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів деревинними відходами, потрібно врахувати вартість зниження викидів від використання невідновлюваних ресурсів до рівня забруднення, яке виникає внаслідок спалювання деревини. Зниження рівня викидів від використання невідновлюваного ресурсу потребує капітальних затрат на придбання та встановлення обладнання, а також здійснення експлуатаційних затрат для очищення.

Припустимо, що рівень антропогенного забруднення при енергетичному використанні невідновлюваного ресурсу становить  $P_n = (P_n^1, P_n^2, \dots, P_n^k)$ , де  $P_n$  – інтегральний рівень забруднення, а  $P_n^i$  – обсяг викидів  $i$ -ї забруднювальної речовини, при використанні невідновлюваного енергоресурсу, г/МДж. Нехай рівень забруднення внаслідок використання деревини як енергоресурсу становить  $P_r = (P_r^1, P_r^2, \dots, P_r^k)$ , а  $P_r^i$  – обсяг викидів  $i$ -ї забруднювальної речовини, за використання біологічно відновлюваного енергоресурсу, г/МДж.

Інтегральний рівень забруднення розраховуватимемо за формулою (1.3), не враховуючи при цьому швидкість осідання домішок. Причиною цього є те, що розраховуємо умовний рівень забруднення з подальшим очищенням продуктів горіння до оптимального рівня. На основі формули (1.3) інтегральний рівень забруднення від використання біологічно відновлюваного ресурсу  $P_r$  можна визначити таким чином:

$$P_r = \sum_{i=1}^n \left( P_r^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right). \quad (3.8)$$

Аналогічно до (3.8), інтегральний рівень забруднення від спалювання невідновлюваного енергоресурсу  $P_n$  визначатиметься за формулою

$$P_n = \sum_{i=1}^n \left( P_n^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right). \quad (3.9)$$

Очищення результатів горіння невідновлюваного ресурсу потребує встановлення очисного обладнання. Припустимо, що вартість такого обладнання становить  $I_c$ , а поточні експлуатаційні витрати із зниження рівня викидів  $i$ -ї забруднювальної речовини –  $C_c^i$ .

Оскільки для порівняння рівнів забруднення ми використовуємо умовний інтегральний показник рівня забруднення, здійснюючи очищення продуктів горіння, не обов'язково змінювати рівні викидів від використання невідновлюваного ресурсу до аналогічного показника біологічно відновлюваного. У цьому випадку вибір рівнів зниження викидів кожної із забруднювальних речовин є задачею математичного програмування, адже вартість очищення кожного забруднювача може різнитися. Таким чином, досягнення бажаного рівня забруднення (певний рівень інтегрального показника забруднення) можна досягнути кількома комбінаціями зниження очищення викидів кожної забруднювальної речовини. У нашому випадку, приймемо, що вловлення забруднювачів проводиться таким чином, що кількість їх від використання невідновлюваного ресурсу буде аналогічною до використання біологічно відновлюваного. Тоді, якщо виконується умова

$$P_n^i - P_r^i > 0, i = (1, 2, \dots, n), \quad (3.10)$$

експлуатаційні витрати на очищення продуктів горіння невідновлюваного ресурсу становитимуть:

$$C_c = \sum_{i=1}^n C_c^i \cdot Q_n \cdot \eta_n \cdot \lambda_n \cdot (P_n^i - P_r^i) = \sum_{i=1}^n C_c^i \cdot E_d \cdot (P_n^i - P_r^i), \quad (3.11)$$

де  $P_r$  – інтегральний рівень забруднення від використання відновлюваного ресурсу;

$C_c$  – річні експлуатаційні витрати на очищення продуктів горіння невідновлюваного енергоресурсу до інтегрального рівня забруднення  $P_r$ .

Якщо ж (3.10) не виконується, то експлуатаційні витрати на очищення продуктів горіння невідновлюваного ресурсу можна розрахувати за формулою

$$C_c = \sum_{i=1}^n C_c^i \cdot E_d \cdot \max(0, P_n^i - P_r^i) \cdot \gamma, \quad (3.12)$$

де  $\gamma$  розраховується за формулою:

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n \left( P_r^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right) - \sum_{i=1, i \neq j}^n \left( P_n^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right)}{\sum_{i=j=1}^n \left( P_r^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right)}. \quad (3.13)$$

У (3.13)  $j$  можна визначити таким чином:

$$i = j, \text{ якщо } P_n^i - P_r^i > 0, \text{ де } i = (1, 2, \dots, n), \quad (3.14)$$

$$i \neq j, \text{ якщо } P_n^i - P_r^i \leq 0, \text{ де } i = (1, 2, \dots, n). \quad (3.15)$$

Отже, враховуючи вартість очисного обладнання та експлуатаційні витрати з очищення продуктів горіння з розрахунку тривалості роботи енергогенеруючого обладнання, можемо розрахувати економічний ефект заміщення ресурсів у частині здійснення очисних заходів. Таким чином, ефект, який виникає внаслідок відсутності потреби очищення продуктів горіння від використання біологічно відновлюваних ресурсів, розрахований за період, для якого здійснюється оцінка, можемо визначати за формулою:

$$E^c = I_c + \sum_{h=1}^T \frac{C'_{ch}}{(1+d)^h}, \quad (3.16)$$

де  $E^c$  – ефект, який виникає внаслідок відсутності потреби очищення продуктів горіння від використання біологічно відновлюваних ресурсів;

$C'_{ch}$  – експлуатаційні витрати на очищення продуктів горіння невідновлюваного енергоресурсу до інтегрального рівня забруднення  $P_r$  в  $h$ -му році.

Проведення розрахунків з використанням формули (3.16) в межах загальної еколого-економічної оцінки доцільності заміщення енергоресурсів, передбачає припущення, що термін служби очисного обладнання та обладнання зі спалювання деревинних відходів збігаються. Як аргумент на користь цього можемо зазначити, що термін окупності обладнання зазвичай є меншим аніж термін його експлуатації (з точки зору терміну морального зносу). Тому для здійснення розрахунків можна прийняти певний нормативний термін, наприклад п'ять років.

З огляду на викладені міркування, річний еколого-економічний ефект від заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними в умовах малої енергогенерації ( $E^1$ ) можна розрахувати за такою формулою:

$$E^1 = E^p + E^l + E^c, \quad (3.17)$$

$E^p$ ,  $E^l$  та  $E^c$  в (3.17) розраховуються за формулами (3.6), (3.7) та (3.16) відповідно.

### **3.2. Оцінка доцільності заміщення енергоресурсів в умовах великої енергогенерації**

Для опису методики здійснення еколого-економічної оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними в умовах великої енергогенерації розглянемо теплоелектростанцію, яка працює на невідновлюваному ресурсі, постачаючи енергію в радіусі  $r$  км. Припустимо, що частина теплової енергії передається з ТЕС, яка знаходиться в пункті  $A$  в пункт  $B$  (відстань  $r$ ). Розглянемо випадок, за якого ТЕС припиняє поставку енергії в пункт  $B$ , а в пункті  $B$  розміщується енергостанція, яка працює на

біологічно відновлюваному ресурсі, задовольняючи повністю енергетичні потреби у районі пункту  $B$ .

У такому випадку ефект заміщення невідновлюваних енергоресурсів складатиметься з таких складових:

- ✓ ефекти, зумовлені різницею вартості заміщуваних ресурсів;
- ✓ економія на витратах та втратах енергії під час її транспортування з пункту  $A$  в пункт  $B$ ;
- ✓ ефекти, зумовлені впровадженням нового обладнання для спалювання біологічно відновлюваного ресурсу;
- ✓ витрати на зведення рівня забруднення до зіставного рівня при використанні невідновлюваного та біологічно відновлюваного ресурсу (експлуатаційні та капітальні витрати);
- ✓ соціальні ефекти, пов'язані із зміною структури зайнятості населення в енергетичній сфері регіону.

Позначимо обсяг потрібної енергії в пункті  $B$  через  $E_d$ . Тоді вартість відновлюваного ресурсу, потрібного для покриття енергетичних потреб, можна розрахувати за формулою:

$$C_r = Q_r \cdot p_r = \frac{E_d}{\eta_r \cdot \lambda_r} \cdot p_r, \quad (3.18)$$

При цьому на ТЕС потрібно знизити обсяг енергогенерації на величину  $E'_d$ . Враховуючи втрати при транспортуванні енергії, зниження обсягу енергогенерації на ТЕС можна визначити за формулою

$$E'_d = \frac{E_d}{(1 - z_t)^r}, \quad (3.19)$$

де  $z_t$  – питомі втрати енергії під час транспортування, %/км.

Таким чином, величина річної економії, зумовлена зниженням споживання невідновлюваного ресурсу становитиме:

$$Q_n = \frac{E'_d}{\eta_n \cdot \lambda_n} = \frac{E_d}{\eta_n \cdot \lambda_n \cdot (1 - z_t)^r}, \quad (3.20)$$

Отже, річний ефект, зумовлений різницею вартості заміщуваних ресурсів та зниженням витрат та втрат енергії під час її транспортування, виходячи з формул (3.18)-(3.20), можна розрахувати за формулою

$$E^{pz'} = \frac{E_d}{\eta_n \cdot \lambda_n \cdot (1 - z_t)^r} \cdot p_n + r \cdot z_c - \frac{E_d}{\eta_r \cdot \lambda_r} \cdot p_r$$

де  $E^{pz'}$  – величина річного економічного ефекту від заміщення ресурсів, зумовленого різницею вартості ресурсів та економією на транспортуванні енергії.

$z_c$  – поточні витрати на транспортування енергії, виробленої на ТЕС, грн/км.

Таким чином, величина ефекту від заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними, зумовленого різницею вартості ресурсів та економією на транспортуванні енергії, протягом розрахункового горизонту оцінки, може бути визначена за формулою

$$E^{pz} = \sum_{h=1}^T \frac{E_h^{pz'}}{(1+d)^h}, \quad (3.21)$$

де  $E^{pz}$  – величина економічного ефекту від заміщення ресурсів, зумовленого різницею вартості заміщуваних ресурсів та економією на транспортуванні енергії, розрахованого за період горизонту оцінки;

$E_h^{pz'}$  – величина річного економічного ефекту від заміщення ресурсів, зумовленого різницею вартості ресурсів та економією на транспортуванні енергії, в  $h$ -му році.

Розрахунок за формулою (3.21) враховує витрати на транспортування енергії з ТЕС, а також її втрати в процесі транспортування.

Розрахунок ефектів від заміщення ресурсів, зумовлених необхідністю встановлення та запуском обладнання для спалювання біологічно відновлюваного ресурсу можна розрахувати таким чином:

$$E^I = -I_r, \quad (3.22)$$

де  $E^l$  – величина річного ефекту, зумовленого впровадженням нового обладнання для спалювання біологічно відновлюваного ресурсу;

$I_r$  – вартість енергогенеруючого обладнання, яке працює з використанням біологічно відновлюваного енергоресурсу.

Здійснення витрат на зведення забруднення до зіставного рівня зумовлене потребою порівняння економічних ефектів за однакових екологічних ефектів. Процедура оцінки ефекту, який виникає внаслідок зниження рівня забруднення в процесі великої енергогенерації, аналогічна для випадку малої енергогенерації.

Рівень антропогенного забруднення в межах певного екологічного регіону, зумовленого процесом енергогенерації, виходячи з формули (3.9), за умови використання лише невідновлюваних ресурсів на ТЕС можна визначити за формулою:

$$P_n = E_H \cdot \sum_{i=1}^n \left( P_n^i \cdot \frac{ГДК_E}{ГДК_i} \right), \quad (3.23)$$

де  $E_H$  – потужність ТЕС, потрібна для забезпечення енергією регіону, в тому числі і пункту  $B$ .

Враховуючи, що величина енергогенерації на ТЕС в пункті  $A$  в розмірі  $\frac{E_d}{(1-z_t)^r}$  заміщена енергогенерацією в пункті  $B$  у розмірі  $E_d$ , треба визначити вартість очищення продуктів горіння невідновлюваного палива еквівалентного  $\frac{E_d}{(1-z_t)^r}$  до рівня забруднення з використанням біологічно відновлюваного палива, еквівалентного  $E_d$ . Рівень антропогенного забруднення від використання біологічно відновлюваного ресурсу для забезпечення енергії обсязі  $E_d$  можна визначити:

$$P_r = E_d \cdot \sum_{i=1}^n \left( P_r^i \cdot \frac{ГДК_E}{ГДК_i} \right).$$

Рівень забруднення від ТЕС при використанні невідновлюваного ресурсу для забезпечення пункту  $B$  енергією становить:

$$P_n = \frac{E_d}{(1 - z_t)^r} \cdot \sum_{i=1}^n \left( P_n^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right).$$

Таким чином, якщо виконується умова

$$P_n^i - (1 - z_t)^r \cdot P_r^i > 0, \quad i = (1, 2, \dots, n), \quad (3.24)$$

річні поточні витрати для зниження забруднення на ТЕС з  $P_n$  до  $P_r$ , приймаючи припущення про оптимальність плану заходів з очищення продуктів горіння, висунуті для процесу малої енергогенерації, можна визначити за формулою

$$C_c = \sum_{i=1}^n C_c^i \cdot \frac{E_d}{(1 - z_t)^r} \cdot (P_n^i - (1 - z_t)^r \cdot P_r^i). \quad (3.25)$$

Якщо ж (3.24) не виконується, річні поточні витрати на зниження рівня забруднення можна розрахувати за формулою:

$$C_c = \sum_{i=1}^n C_c^i \cdot \frac{E_d}{(1 - z_t)^r} \cdot \max(0, P_n^i - (1 - z_t)^r \cdot P_r^i) \cdot \gamma, \quad (3.26)$$

де  $\gamma$  розраховується за формулою

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n \left( (1 - z_t)^r \cdot P_r^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right) - \sum_{i=1, i \neq j}^n \left( P_n^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right)}{\sum_{i=j=1}^n \left( (1 - z_t)^r \cdot P_r^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right)}. \quad (3.27)$$

У (3.27)  $j$  визначається відповідно до умов (3.14) та (3.15).

Враховавши вартість очисного обладнання, яке потрібно було б встановити на ТЕС, величина ефекту від заміщення ресурсів, зумовленого необхідністю очищення продуктів горіння на ТЕС, за період горизонту оцінки становить:

$$E^c = I_c + \sum_{h=1}^T \frac{C_{ch}'}{(1 + d)^h}. \quad (3.28)$$

Важливою складовою ефекту заміщення енергоресурсів на рівні великої енергогенерації, на відміну від рівня малої генерації, є соціальна складова



заміщення, яка виникає внаслідок можливого скорочення зайнятості на ТЕС та зростання зайнятості в пункті *B* для забезпечення роботи котельні, яка працює на біологічно відновлюваних ресурсах, а також зростання зайнятості в сфері виробництва біологічно відновлюваних ресурсів. Зважаючи на технологічні особливості роботи ТЕС, можливим є певне зниження обсягів енергогенерації без скорочення працівників, але після певної межі доцільним є скорочення кількості працівників.

Задача оцінки соціальної складової ефективності заміщення енергоресурсів є доволі складною, оскільки передбачає врахування великої кількості взаємозв'язків, що знижує точність дослідження. Водночас, видається можливим здійснити таку оцінку у масштабі великої енергогенерації. Економічною оцінкою соціальних змін внаслідок заміщення ресурсів на рівні великої енергогенерації може бути мультиплікована зміна доходів працівників, яка виникає внаслідок звільнення та набору нових працівників в енергетичній галузі. Як ми вже згадували, важливою складовою соціального ефекту від заміщення енергоресурсів є зміна рівня здоров'я населення, яка викликана змінами рівня забруднень від їхнього використання. Водночас у цьому випадку немає потреби враховувати зміну рівня здоров'я населення, адже розрахунок загального ефекту заміщення енергоресурсів на рівні великої енергогенерації передбачає зведення рівня забруднення від використання енергоресурсу в межах одного екологічного регіону до зіставного рівня. Таким чином, соціальну складову заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними на рівні великої енергогенерації можна розраховувати за формулою

$$E^{S'} = (S^i - S^o) \cdot M,$$

де  $E^{S'}$  – величина соціального ефекту від заміщення ресурсів на рівні великої енергогенерації;

$S^i$ , – величина трудових доходів працівників, залучених внаслідок розвитку енергогенерації з біологічно відновлюваних енергоресурсів в пункті *B*;

$S^o$  – величина трудових доходів працівників, скорочених внаслідок зниження енергогенерації з використанням невідновлюваного ресурсу;

$M$  – мультиплікатор Кейнса в умовах національної чи регіональної економіки.

Використання мультиплікатора Кейнса при розрахунку соціальної складової ефекту від заміщення енергоресурсів, зумовлено тим, що зростання доходів та добробуту одного індивіда призводить до зростання рівня його споживання, що прямим чином збільшує добробут інших індивідів.

Таким чином, величина соціальних ефектів, викликаних заміщенням невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними, за період протягом якого здійснюється оцінка доцільності такого заміщення, та приведена на початок періоду оцінки, може бути визначена за формулою

$$E^S = \sum_{h=1}^T \frac{E_h^{S'}}{(1+d)^h}, \quad (3.29)$$

де  $E_h^{S'}$  – величина соціальних ефектів, зумовлених заміщенням невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними в  $h$ -му році.

У загальному випадку річний еколого-економічний ефект від заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними в умовах великої енергогенерації ( $E^2$ ) можна розрахувати за формулою:

$$E^2 = E^{PZ} + E^I + E^C + E^S, \quad (3.30)$$

$E^{PZ}$  в формулі (3.30) розраховується за формулою (3.21),  $E^I$  – за формулою (3.22),  $E^C$  – за формулою (3.28), а  $E^S$  – за формулою (3.29).

### **3.3. Здійснення оцінки з використанням відповідно до концепції компенсаторного заміщення**

Граничним випадком застосування підходу економічної оцінки зниження антропогенного забруднення довкілля для оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними, на нашу думку, може бути оцінка процесу заміщення на одній енергостанції

(наприклад, ТЕС або ТЕЦ). Такий підхід насамперед забезпечує „чистоту експерименту”, зважаючи, що більшість техніко-економічних показників, які можуть вплинути на результат розрахунку, залишаються незмінними. Особливо важливим для здійснення оцінки є незмінність обсягів антропогенного забруднення, викликаного процесом енергогенерації. У такому випадку до розгляду прийматиметься не вартість здійснення очисних заходів, через які власне можна оцінювати ефективність заміщення, як це здійснюється на рівні малої та великої енергогенерації, а додаткові економічні ефекти, що виникають при безпосередньому заміщенні ресурсів із збереження обсягів забруднення на попередньому рівні. Алгоритм здійснення такої оцінки наведемо нижче.

Розглянемо теплоелектростанцію, яка працює на невідновлюваному енергоресурсі (наприклад, вугіллі), але технологічно можливе поєднання вугілля та біологічно відновлюваних енергоресурсів (деревинні відходи, солома, качани кукурудзи тощо). Нехай обсяг споживання вугілля рівний  $Q_n^1$ , тоді обсяг енергогенерації становить

$$E_n^1 = Q_n^1 \cdot \eta_n \cdot \lambda_n,$$

де  $E_n^1$  – обсяг енергогенерації з використанням невідновлюваного енергоресурсу в розмірі  $Q_n^1$ .

Рівень забруднення довкілля при цьому становитиме:

$$P_n^1 = E_n^1 \cdot \sum_{i=1}^n \left( P_n^i \cdot \frac{ГДК_E}{ГДК_i} \right),$$

де  $P_n^1$  – інтегральний умовний показник забруднення при енергогенерації з використанням невідновлюваного ресурсу в обсязі  $Q_n^1$ .

Розглянемо випадок, в якому задля потреби зниження обсягів забруднення, було знижено обсяг використовуваного вугілля на величину  $a$ . Таким чином, потужність енергогенерації знизиться та дорівнюватиме:

$$E_n^2 = (Q_n^1 - a) \cdot \eta_r \cdot \lambda_r,$$

а обсяги антропогенного забруднення становитимуть:

$$P_n^2 = E_n^2 \cdot \sum_{i=1}^n \left( P_n^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right) = \eta_r \cdot \lambda_r \cdot (Q_n^1 - a) \cdot \sum_{i=1}^n \left( P_n^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right).$$

Внаслідок таких дій було знижено обсяг забруднення, але водночас знизився рівень виробленої енергії. З практики відомо, що часткова заміна паливних невідновлюваних енергоресурсів (в енергетичному еквіваленті) на теплоелектростанції (наприклад, вугілля) біологічно відновлюваними, призводить до зниження викидів в атмосферу, а також незначного зростання обсягів отримуваної енергії. За умови, якщо відомі обсяги забруднень, які виникають внаслідок спалюванні 1 т у.п. вугілля та біологічно відновлюваного енергоресурсу, можливо розрахувати додатковий обсяг біологічно відновлюваного ресурсу, який знадобиться, щоб довести рівень забруднення до попередньо існуючого (при використанні лише вугілля в обсязі  $Q_n^1$ ). З наведеного, зрозуміло, що можна визначити такий обсяг біологічно відновлюваного енергоресурсу  $b$ , для якого виконуватиметься таке:

$$\begin{aligned} P_n^1 &= P_n^2 + P_r^2, \\ P_r^2 &= E_r^2 \cdot \sum_{i=1}^n \left( P_r^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right), \\ E_r^2 &= b \cdot \eta_r \cdot \lambda_r, \end{aligned}$$

де  $P_r^2$  – величина антропогенного забруднення від використання біологічно відновлюваного енергоресурсу в кількості  $b$ ;

$E_r^2$  – обсяги енергії, утвореної з використанням біологічно відновлюваного енергоресурсу в кількості  $b$ .

Таким чином, ефект від заміщення ресурсів, зумовлений зміною величини енергогенерації, можна визначити за формулою

$$E^{E'} = (p_{nr}^e - S_{nr}^e) \cdot (E_n^2 + E_r^2) - (p_n^e - S_n^e) \cdot E_n^1,$$

де  $S_n^e$ ,  $p_n^e$  – собівартість виробництва та ціна одиниці енергії, отриманої лише з використанням невідновлюваного ресурсу відповідно;

$S_{nr}^e, p_{nr}^e$  – собівартість виробництва та ціна одиниці енергії, отриманої з використанням поєднання невідновлюваного та біологічно відновлюваного ресурсу відповідно;

$E^{E'}$  – ефект, зумовлений зміною величини енергогенерації.

Ефект, зумовлений зміною величини енергогенерації, розрахований за період горизонту оцінку та приведений на момент прийняття рішення про заміщення ресурсів, можемо розрахувати наступним чином:

$$E^E = \sum_{h=1}^T \frac{E_h^{E'}}{(1+d)^h}, \quad (3.31)$$

де  $E_h^{E'}$  – величина ефекту, зумовленого зміною обсягів енергогенерації протягом  $h$ -го періоду;

$E^E$  – величина ефектів, зумовлених зміною обсягів енергогенерації протягом горизонту оцінки та приведених до моменту здійснення оцінки.

Ефект часткового заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними в межах однієї ТЕС повинен враховувати потребу здійснення капітальних витрат для певного переобладнання теплоелектростанції для спалювання біологічно відновлюваних енергоресурсів. Такий ефект можна розрахувати наступним чином:

$$E^I = I_r, \quad (3.32)$$

де  $E^I$  – ефект від заміщення ресурсів, зумовлений встановленням додаткового обладнання;

$I_r$  – вартість встановленого обладнання.

Зважаючи на те, що нижчі рівні антропогенного забруднення компенсуються нарощенням обсягів виробництва, в даному випадку оцінка здійснюється відповідно до концепції компенсаторного заміщення.

Отже, еколого-економічна оцінка доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними в межах однієї ТЕС може бути розрахована за формулою:

$$E^3 = E^E - E^I, \quad (3.33)$$

де  $E^3$  – еколого-економічний ефект від компенсаторного заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними;

$E^E$  та  $E^I$  розраховується за формулами (3.31) та (3.32) відповідно.

Запропонований вище підхід до оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними фактично позбавлений потреби здійснення оцінки запобігання антропогенному забрудненню (як і взагалі будь-якої економічної оцінки екологічних ефектів). Два порівнюваних варіанти зводяться до зіставного рівня шляхом нарощення обсягів виробництва варіанту з нижчими обсягами забруднення (відповідно з одночасним зростанням антропогенного забруднення) до рівня варіанту з вищими обсягами забруднення. Таким чином, це є підхід порівняння варіантів взаємозамінних технологій за еколого-економічним критерієм на основі концепції зведення рівня антропогенного впливу до однакового рівня шляхом нарощення обсягів виробництва за варіантом з нижчим рівнем забруднення.

### **3.4. Оцінка ефекту заміщення енергоресурсів в сфері енергетичної залежності країни**

Оцінка доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними на макрорівні, на відміну від мікрорівня та рівня регіону, враховує зміни в сфері національної безпеки, а саме рівень енергетичної залежності від іноземних постачальників енергоресурсів. Здійснювати оцінку заміщення ресурсів в сфері енергетичної безпеки можна за запропонованим нами підходом, з використанням формул (1.5)-(1.7). Техніку здійснення такої оцінки можна подати наступним чином.

Припустимо, що країна використовує  $m$  різних видів первинних енергоресурсів, а обсяги використання можна описати вектором  $X^I$ :

$$X^I = (X_1^I, X_2^I, \dots, X_m^I).$$

При цьому частина потреб у первинних енергоресурсах покривається за рахунок імпорту, який здійснюється  $n$  експортерами. Обсяги імпорту первинних енергоресурсів можна представити вектором  $M$

$$M = (M_1, M_2, \dots, M_m).$$

Обсяги імпорту  $j$ -го енергоресурсу  $i$ -им постачальником можуть бути описані матрицею  $A$ :

$$A = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{21} & \cdot & x_{j1} \\ x_{12} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{i1} & \cdot & \cdot & x_{ji} \end{pmatrix},$$

$$j = (1, \dots, m); i = (1, \dots, n)$$

де  $x_{ji}$  – обсяг імпорту  $j$ -го енергоресурсу  $i$ -им постачальником.

При цьому виконуються умови:

$$x_{ij} \geq 0; \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq X_j; \sum_{i=1}^n x_{ij} = M_j.$$

Припустимо, що внаслідок залучення в енергетику певного обсягу біологічно відновлюваних ресурсів (не використовуваних до цього) відбулося зниження обсягів імпорту енергоресурсів. Структуру імпорту енергоресурсів, після часткового заміщення імпорту біологічно відновлюваними ресурсами можна описати матрицею  $B$ . Таким чином, обсяги відновлюваного ресурсу, які покривають імпорт  $j$ -го енергоресурсу, що забезпечується  $i$ -им постачальником, можна описати матрицею  $D$ :

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{21} & \cdot & d_{j1} \\ d_{12} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ d_{i1} & \cdot & \cdot & d_{ji} \end{pmatrix} = A - B$$

Після часткового заміщення імпортованих енергоресурсів власними біологічно відновлюваними, змінилася структура внутрішнього первинного енергоспоживання, яка може бути описана вектором  $X^2$ :

$$X^2 = (X_1^2, X_2^2, \dots, X_m^2, X_{m+1}^2),$$

де  $X_{m+1}^2$  – загальний обсяг споживання ресурсу, який заміщує імпорт.

Зрозуміло, що

$$X_{m+1}^2 = R \cdot K.$$

$K$  визначається за формулою:

$$K = D \cdot S,$$

де  $R$  та  $S$  – одинична матриця-рядок та одинична матриця стовбець відповідно.

При цьому важливо зауважити, що на розрахунок показника рівня енергетичної залежності не впливає, на скільки груп розбито енергоресурси, за якими немає імпорту.

Тоді рівень енергетичної залежності (від постачальників енергоресурсів) до і після заміщення імпорту біологічно відновлюваними ресурсами по  $j$ -му первинному енергоресурсу можна визначити:

$$Z_j^1 = \sum_{i=1}^n \left( 100 \cdot \frac{a_{ji}}{X_j} \right)^2,$$

$$Z_j^2 = \sum_{i=1}^n \left( 100 \cdot \frac{a_{ji} - d_{ji}}{X_j} \right)^2,$$

де  $Z_j^1$  та  $Z_j^2$  – рівень енергетичної залежності від постачальників енергоресурсів по  $j$ -му енергоресурсу до і після заміщення відповідно;

$a_{ji}$ ,  $d_{ji}$  – елементи матриць  $A$  та  $D$  відповідно.

Рівень енергетичної залежності від імпорту для всіх груп енергоресурсів можна визначити:

$$Z_T^1 = \prod_{j=1}^m (Z_j^1)^{w_j^1},$$

$$Z_T^2 = \prod_{j=1}^{m+1} (Z_j^2)^{w_j^2},$$

де  $Z_T^1$  та  $Z_T^2$  – загальний рівень залежності від імпорту енергоресурсів до та після заміщення відповідно.



Вагомість  $j$ -го енергоресурсу в загальному обсязі енергоспоживання до  $i$  після заміщення ( $w_j^1$  та  $w_j^2$  відповідно) можна розрахувати за формулами:

$$w_j^1 = \frac{X_j^1}{\sum_{k=1}^m X_k^1},$$

$$w_j^2 = \frac{X_j^2}{\sum_{k=1}^{m+1} X_k^2}.$$

Тоді зміна рівня енергетичної залежності країни від постачальників енергоресурсів внаслідок заміщення частини імпортованих ресурсів власними (у цьому випадку біологічно відновлюваними) може бути визначена за формулою:

$$\Delta Z = Z_T^2 - Z_T^1. \quad (3.34)$$

Для компактного відображення результатів виконаного дослідження запропоновані методики оцінки доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними наведено в табл. 3.1.

Таким чином, на рівні держави критеріями заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними є еколого-економічні та соціальні ефекти, а також ефект у сфері зміцнення національної безпеки. При цьому оцінка за еколого-економічним та соціальним критеріями здійснюється в грошовому вимірі, а оцінка ефектів в сфері зміцнення національної безпеки – у технічних безрозмірних показниках.

Таблиця 3.1.

**Методики оцінки доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними**

№	Порядок розрахунку
1	2
<b>1.</b>	<b>Мала енергогенерація: <math>E^1 = E^p + E^l + E^c</math></b>
1.1	ефект, зумовлений різницею вартості заміщуваних ресурсів ( $E^p$ ): $E^p = \sum_{h=1}^T E_h^{p'} / (1 + d)^h, \quad E_h^{p'} = E_{dh} \cdot (p_{nh} / (\eta_n \cdot \lambda_n) - p_{rh} / (\eta_r \cdot \lambda))$
1.2	ефекти, зумовлені заміною обладнання ( $E^l$ ): $E^l = I_n - I_r$

1	2
1.3.	<p>витрати на зведення забруднення до зіставного рівня (<math>E^c</math>):</p> $E^c = I_c + \sum_{h=1}^T C'_{ch} / (1+d)^h$ <p>якщо <math>P_n^i - P_r^i &gt; 0, i = (1, 2, \dots, n)</math>, <math>C'_{ch} = \sum_{i=1}^n C_{ch}^i \cdot E_{dh} \cdot (P_n^i - P_r^i)</math>,</p> <p>в протилежному випадку <math>C'_{ch} = \sum_{i=1}^n C_{ch}^i \cdot E_{dh} \cdot \max(0, P_n^i - P_r^i) \cdot \gamma</math></p> $\gamma = \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{P_r^i}{ГДК_i} \right) - \sum_{i=1, i \neq j}^n \left( \frac{P_n^i}{ГДК_i} \right) \right] / \sum_{i=j=1}^n \left( \frac{P_r^i}{ГДК_i} \right)$
<b>2.</b>	<b>Велика енергогенерація:</b> $E^2 = E^{PZ} + E^I + E^C + E^S$
2.1.	<p>ефект, зумовлений різницею вартості заміщуваних ресурсів та зниженням витрат та втрат енергії під час її транспортування (<math>E^{PZ}</math>): <math>E^{PZ} = \sum_{h=1}^T E_h^{PZ} / (1+d)^h</math>,</p> $E_h^{PZ} = (E_{dh} \cdot p_{nh}) / (\eta_n \cdot \lambda_n \cdot (1 - z_t)^r) + r \cdot z_c - (E_{dh} \cdot p_r) / (\eta_{rh} \cdot \lambda_r)$
2.2.	ефект, зумовлений впровадженням нового обладнання ( $E^I$ ): $E^I = -I_r$
2.3.	<p>витрати на зведення забруднення до зіставного рівня (<math>E^C</math>):</p> $E^c = I_c + \sum_{h=1}^T C'_{ch} / (1+d)^h$ <p>якщо виконується умова <math>P_n^i - (1 - z_t)^r \cdot P_r^i &gt; 0, i = (1, 2, \dots, n)</math>,</p> $C'_{ch} = \sum_{i=1}^n C_{ch}^i \cdot E_{dh} \cdot (1 - z_t)^{-r} \cdot (P_n^i - (1 - z_t)^r \cdot P_r^i)$ , в іншому випадку: $C'_{ch} = \sum_{i=1}^n C_{ch}^i \cdot E_{dh} \cdot (1 - z_t)^{-r} \cdot \max(0, P_n^i - (1 - z_t)^r \cdot P_r^i) \cdot \gamma$ $\gamma = \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{(1 - z_t)^r \cdot P_r^i}{ГДК_i} \right) - \sum_{i=1, i \neq j}^n \left( \frac{P_n^i}{ГДК_i} \right) \right] / \sum_{i=j=1}^n \left( \frac{(1 - z_t)^r \cdot P_r^i}{ГДК_i} \right)$
2.4.	соціальні ефекти, пов'язані зі зміною структури зайнятості населення в енергетичній сфері регіону ( $E^S$ ): $E^S = \sum_{h=1}^T E_h^{S'} / (1+d)^h$ , $E_h^{S'} = (S_h^i - S_h^o) \cdot M$
<b>3.</b>	<b>Компенсаторне заміщення:</b> $E^3 = E^E - E^I$
3.1	<p>ефект, зумовлений зміною величини енергогенерації (<math>E^E</math>): <math>E^E = \sum_{h=1}^T E_h^{E'} / (1+d)^h</math>,</p> $E_h^{E'} = (p_{nrh}^e - S_{nrh}^e) \cdot (E_n^2 + E_r^2) - (p_{nh}^e - S_{nh}^e) \cdot E_n^1$
3.2	ефект, зумовлений встановленням додаткового обладнання ( $E^I$ ): $E^I = I_r$

**Примітка:** індекс  $h$  свідчить про те, що береться значення показника за період  $h$ .

Джерело: власна розробка

Для зіставлення всіх показників ефективності оцінку в сфері зміцнення національної безпеки потрібно перевести з технічних безрозмірних одиниць у грошовий вимірник. Грошовим еквівалентом зміни рівня енергетичної залежності, розрахованої за формулою (3.34), можна оцінити вартість заходів з енергозбереження, які забезпечать аналогічний рівень зміцнення енергетичної безпеки. Тобто потрібно визначити вартість заходів з енергозбереження, після яких структура внутрішнього енергоспоживання зміниться з  $X^1$  до  $X^2$ .

### **3.5. Методика оцінки економічної ефективності енергетичного використання деревинних відходів на деревообробному підприємстві**

Здійснення оцінки доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними вимагає врахування всіх ефектів від такого заміщення. Водночас суб'єкти господарювання, приймаючи будь-які рішення, зокрема й про заміщення використовуваних енергоресурсів, беруть до уваги економічні чинники. Своєю чергою, державне регулювання покликане трансформувати неекономічні передумови заміщення ресурсів (екологічні, соціальні та передумови в сфері національної безпеки) в економічні.

Розглянемо всі вимоги використання деревини як енергоресурсу на мікрорівні на прикладі деревообробного підприємства, та визначимо всі умови, які повинні виконуватись для ефективного застосування цього енергоресурсу. Крім того, для більшої деталізації та наочності будемо використовувати оцінку можливості використання отриманої з деревини енергії для заміщення використання газу, що використовується в сушарках деревини.

Визначимо умови, які повинні виконуватись для ефективного застосування деревини як енергоресурсу. Вище ми вже згадували про територіальну близькість джерела ресурсу та енергогенеруючої установки,

що використовуватиме цей ресурс. Ця умова якнайкраще виконується для деревообробного підприємства, адже деревинні відходи утворюються саме на території деревообробного підприємства, де вони й будуть використовуватись. Крім того, для використання деревинних відходів як енергоресурсу для деревообробного підприємства повинні виконуватись такі умови [147]:

- умова наявності позитивного економічного ефекту від заміни способу отримання енергії

$$\bar{E} > 1 \quad (3.35)$$

- умова самозабезпеченості підприємства деревинними відходами:

$$K_{\phi} \geq K_n, \quad (3.36)$$

де  $\bar{E}$  – ефективність використання обладнання для отримання енергії з деревини;

$K_{\phi}$  – обсяг відходів, що фактично утворюється на підприємстві;

$K_n$  – обсяг відходів, які потрібні для отримання достатнього обсягу енергії.

У цьому випадку використання деревинних відходів для сушіння деревини буде ефективним, якщо витрати на цей спосіб будуть меншими, ніж витрати на спосіб сушіння, з яким порівнюємо. Доцільність заміни можна розраховувати трьома способами (залежно від конкретних умов, за яких приймається рішення про заміщення): враховуючи вартість нового обладнання, яке потрібно встановити; враховуючи лише вартість сировини, тобто деревинні відходи, що спалюються; враховуючи вартість сировини і обладнання. Розглянемо ці варіанти.

1. *Розрахунок можливості використання деревинних енергоресурсів із врахуванням лише вартості нового обладнання.* У цьому випадку ефективність можна визначати таким чином:

$$\bar{E} = \frac{C_1^1}{C_2^1} > 1, \quad (3.37)$$

де  $C_1^1$  – витрати, потрібні для здійснення процесу сушіння в газовій сушарці (будемо розглядати лише вартість енергоресурсу), протягом періоду, за який планується окупити обладнання з врахуванням чинника часу;

$C_2^1$  – дисконтована вартість обладнання, необхідного для здійснення процесу сушіння з використанням відходів деревини.

Для виконання відповідних розрахунків введемо таку додаткову вхідну інформацію. Щоб знизити рівень відносної вологості деревини з  $\varphi_1$  до  $\varphi_2$  об'ємом  $V$ , потрібно витратити обсяг енергії  $Q_c$ .  $\eta_1$  – ККД газової сушарки,  $\eta_2$  – ККД сушарки, яка працює на водяній парі, утвореній за рахунок енергії, отриманої внаслідок спалювання деревини.  $P_G$  – вартість одиниці об'єму газу.  $I_G$  – вартість обладнання для спалювання деревини,  $t$  – проміжок часу, за який планується окупити обладнання (в роках),  $d$  – норма дисконту. Тоді вартість сушіння деревини об'ємом  $V$  з вологості  $\varphi_1$  до  $\varphi_2$  в конвективній сушарці (такій, в якій процес сушіння деревини відбувається з використанням газу) дорівнює:

$$C = \frac{Q_c \cdot P_G}{\eta_1},$$

де  $C$  – вартість енергоресурсу, потрібного для процесу сушіння.

Для визначення доцільності заміни обладнання необхідно враховувати вартість енергоресурсу, що буде витрачений протягом всього часу, за який планується окупити обладнання. Таким чином

$$C_1^1 = \frac{Q_c \cdot P_G}{\eta_1},$$

де  $Q_c$  – обсяг енергії, що буде використано для сушіння усіх партій деревини протягом періоду, за який планується окупити обладнання:

$$Q_c = \sum_{k=1}^{\tau} Q^k, \quad (3.38)$$

де  $Q^k$  – обсяг енергії, витрачений на сушіння деревини в газовій сушарці за період  $k$ ;

$\tau$  – кількість періодів, протягом яких визначається потрібний обсяг енергії для здійснення процесу сушіння (у цьому випадку  $\tau = t$ ).

З економічної точки зору, результат буде точнішим, якщо витрати на сушіння деревини продисконтувати на момент визначення доцільності заміни обладнання:

$$C_1^1 = \frac{1}{\eta_1} P_r \cdot \sum_{k=1}^{\tau} Q^k \cdot (1+d)^{-k}.$$

Економічна вартість обладнання становить

$$C_2^1 = I_r.$$

Перепишемо (3.37) в такому вигляді:

$$\bar{E} = \frac{C_1^1}{C_2^1} = \frac{P_r \cdot \sum_{k=1}^t Q^k \cdot (1+d)^{-k}}{\eta_1 \cdot I_r} > 1. \quad (3.39)$$

Розглянемо умову (3.36) для цього способу визначення доцільності використання деревинних відходів для сушіння деревини. Загальний обсяг відходів, що нагромаджуються на деревообробному підприємстві, можна визначити за такою формулою:

$$K_{\Phi} = V_3 \cdot b,$$

де  $V_3$  – загальний обсяг деревини, що використовується у виробництві;

$b$  – частка відходів, показує, який обсяг відходів утворюється внаслідок оброблення певного обсягу деревини. Ця частка залежить від виду виробництва. Так, під час розпилювання колод утворюється 35 % відходів, під час виробництва дверних і віконних блоків – 31 %, паркету – 30 %, меблів – 54 %, внаслідок ремонтно-експлуатаційних робіт на будовах і спорудах – 33 % [148].

Необхідний обсяг деревини –  $K_n$  можна знайти, виходячи з обсягу енергії, яку потрібно затратити для сушіння деревини за формулою [147]

$$K_n = \frac{Q_c}{\eta_2 \cdot \lambda_{\partial} \cdot \rho_2},$$

де  $\lambda_{\partial}$  – питома теплота згорання деревини;

$\rho_2$  – густина деревини за відносної вологості  $\varphi_2$  [149].

Тоді умову (3.36) можна переписати у такому вигляді:

$$V_3 \cdot b \geq \frac{Q_c}{\eta_2 \cdot \lambda_{\partial} \cdot \rho_2}. \quad (3.40)$$

Тоді модель економічної доцільності встановлення обладнання для отримання енергії з деревинних відходів на деревообробному заводі, з врахуванням переписавши (3.39) і (3.40), можна подати, у такому вигляді [147]:

$$\frac{P_r \cdot \sum_{k=1}^t Q^k \cdot (1+d)^{-k}}{\eta_1 \cdot I_r} > 1;$$

$$V_3 \cdot b \geq \frac{\sum_{k=1}^t Q^k}{\eta_2 \cdot \lambda_{\partial} \cdot \rho_2}.$$

Наведемо формули для обчислення обсягу енергії  $Q_c$ , яку треба затратити для того, щоб змінити рівень відносної вологості деревини об'ємом  $V$  з  $\varphi_1$  до  $\varphi_2$ . Опишемо фізичні процеси, які відбуваються з водою та водяною парою під час висушування деревини водяною парою. Нехай, у системі сушарки є вода за температури  $t_0$ . Вода нагрівається до перетворення її в пару, після чого пара нагрівається до температури  $t_1$  і подається до сушильних камер. Гаряча водяна пара передає частину своєї енергії деревині і охолоджується до температури  $t_2$ . Внаслідок передачі тепла деревині відбувається процес сушіння деревини [150]. Обсяг енергії, який необхідний для сушіння деревини можна визначити за обґрунтованою нами в [147] формулою

$$Q_c = \left[ \left( \frac{1022 + t_1}{t_1 - t_2} \right) \cdot \left( \frac{\rho_0 \cdot V_0}{1 - \varphi_1} - \frac{\rho_0 \cdot V_0}{1 - \varphi_2} \right) \right] \times [c_s \cdot (100 - t_0) + r + c_n \cdot (t_1 - 100)], \quad (3.41)$$

де  $m_0$  – маса абсолютно сухої деревини;

$V_0$  – об'єм абсолютно сухої деревини.

Зауважимо, що за період  $\tau$  буде проводитись сушіння різних партій деревини (різні партії можуть мати різні об'єми і різні початкові та кінцеві рівні вологості). Нехай, на підприємстві проводиться  $m$  видів виробництв, відходи від яких використовуються у процесі сушіння деревини, а за період  $t$  буде висушено  $n$  партій деревини. Тоді, виходячи з (3.38) і (3.41),  $Q$  – обсяг енергії, що буде використано для сушіння усіх партій деревини протягом періоду, за який планується окупити обладнання, можна визначити таким чином [147]:

$$Q = \sum_{k=1}^{\tau} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n Q^{ijk} = \sum_{k=1}^{\tau} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[ \rho_0^{ijk} \cdot V_0^{ijk} \cdot \left( \frac{1022 + t_1}{t_1 - t_2} \right) \cdot \left( \frac{1}{1 - \varphi_1^{ijk}} - \frac{1}{1 - \varphi_2^{ijk}} \right) \right] \times \\ \times [c_e \cdot (100 - t_0) + r + c_n \cdot (t_1 - 100)]$$

де  $\varphi_1^{ijk}$  – початковий рівень вологості  $i$ -ї партії деревини, що піддається висушуванню з використанням відходів  $j$ -го виду в  $k$ -му періоді;

$\varphi_2^{ijk}$  – кінцевий рівень вологості  $i$ -ї партії деревини, що піддається висушуванню з використанням відходів  $j$ -го виду в  $k$ -му періоді;

$\rho_0^{ijk}$  – густина абсолютно сухої деревини  $i$ -ї партії сушіння, що піддається висушуванню з використанням відходів  $j$ -го виду в  $k$ -му періоді;

$V_0^{ijk}$  – об'єм абсолютно сухої деревини  $i$ -ї партії сушіння, що піддається висушуванню з використанням відходів  $j$ -го виду в  $k$ -му періоді.

У такому випадку загальну модель економічної доцільності заміни сушильного обладнання можна переписати таким чином [147]:

$$\frac{P_r \cdot \sum_{k=1}^t Q^k \cdot (1 + d)^{-k}}{\eta_1 \cdot I_r} > 1;$$

$$\sum_{j=1}^m V_3^j \cdot b^j \geq \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^t Q^{ijk}}{\eta_2 \cdot \lambda_0^j \cdot \rho_2^j}.$$



2. Розрахунок доцільності заміни обладнання із врахуванням лише вартості сировини. У цьому випадку умова забезпеченості підприємства відходами, потрібним для процесу сушіння, є аналогічною випадку, у якому враховували лише вартість обладнання (3.42).

Першу умову базової моделі економічної доцільності запишемо таким чином:

$$\frac{C_1^2}{C_2^2} > 1,$$

де  $C_1^2$  – вартість енергоресурсу, потрібного для сушіння деревини в газовій сушарці;

$C_2^2$  – витрати, які потрібно здійснити для забезпечення процесу сушіння деревини в сушарках, що працюють з використанням відходів деревини.

Умову ефективності можна переписати у такому вигляді:

$$C_1^2 > C_2^2. \quad (3.42)$$

У [64] нами вже зауважувалось, що економічна вартість деревинних відходів, які використовуються для отримання енергії, може бути додатною, нульовою або від'ємною. У цьому контексті  $C_2^2$  – альтернативна вартість відходів деревини, бо використовуючи їх в процесі сушіння деревини, втрачається можливість використання (або невикористання) їх в інших сферах і відповідно втрачається можливість отримання додаткових доходів (або витрат).

Таким чином, якщо альтернативна вартість деревинних відходів є від'ємною чи нульовою, то завжди буде позитивний економічний ефект зміни способу сушіння деревини з використання колективної сушарки, на використання сушарки, що працює на водяній парі (у цьому випадку, якби деревинні відходи не були б використані у процесі сушіння деревини, то потрібно було б здійснити витрати, наприклад, на утилізацію цих відходів). У випадку, якщо альтернативна вартість деревинних відходів буде додатною,

то позитивний економічний ефект буде, якщо вартість сушіння деревини в конвективній сушарці буде більшою, ніж альтернативна вартість деревинних відходів.

Альтернативну вартість відходів деревини  $C_2^2$  можна визначити за такою формулою:

$$C_2^2 = \sum_{l=1}^{\tau} C_2^{2l},$$

де  $C_2^{2l}$  – загальна економічна вартість альтернативного енергоресурсу (деревинних відходів) за період  $l$ , скоригована на чинник часу.

Зауважимо, що для цього випадку  $\tau$  може бути будь-яким натуральним числом.

Нехай за період  $l$  як енергоресурс було використано  $Z_l$  партій деревинних відходів, тобто

$$C_2^{2l} = \sum_{h=1}^{Z_l} [(1+d)^{-l} \cdot C_2^{2lh}],$$

де  $C_2^{2lh}$  – економічна вартість конкретної партії деревинних відходів, використаної за період  $l$ .

$$C_2^{2lh} = \max \{v_i, i = (1, \dots, p)\},$$

де  $\{v_i, i = (1, \dots, p)\}$  – надходження чи витрати, які виникають у разі використання відходів деревини в інших напрямках чи невикористання їх взагалі.

До вектора  $\{v_i, i = (1, \dots, p)\}$  не включають величину можливих надходжень чи втрат від використання деревинних відходів у альтернативі, щодо якої проводяться розрахунки, тобто загальна кількість альтернативних варіантів використання деревинних відходів становить  $p+1$ .

$$C_2^2 = \sum_{l=1}^{\tau} \sum_{h=1}^{Z_l} [(1+d)^{-l} \cdot \max \{v_i^{lh}, i = (1, \dots, p)\}],$$

де  $\{v_i^{lh}, i = (1, \dots, p)\}$  показує набір доходів чи витрат від альтернативного використання деревинних відходів, що могли бути використані для сушіння партії  $h$  в період  $l$ .

Вартість енергоресурсу, потрібного для сушіння деревини в конвективній сушарці  $C_1^2$ , розраховується аналогічно показнику  $C_1^1$ , тобто умову позитивного економічного ефекту від сушіння деревини з використанням деревинних відходів можна записати [147]:

$$\frac{1}{\eta_1} P_T \cdot \sum_{k=1}^{\tau} [(1+d)^{-k} \cdot Q^k] > \sum_{l=1}^{\tau} \sum_{h=1}^{Z_l} [(1+d)^{-l} \cdot \max\{v_i^{lh}, i = (1, \dots, p)\}]$$

Умова забезпеченості підприємства власними деревинними відходами, потрібними для процесу сушіння, залишається такою самою як і у варіанті 1:

$$\sum_{j=1}^m V_3^j \cdot b^j \geq \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{\tau} Q^{ijk}}{\eta_2 \cdot \lambda_{\theta}^j \cdot \rho_2^j}.$$

3. *Розрахунок доцільності заміни обладнання із врахуванням вартості сировини та обладнання.* У цьому варіанті аналогічно розглядаємо 2 умови: наявності відповідної кількості деревинних відходів і позитивного економічного ефекту від використання цих відходів в енергетичних цілях.

Умова наявності відповідної кількості відходів матиме такий самий вигляд як у випадках 1 і 2:

$$\sum_{j=1}^m V_3^j \cdot b^j \geq \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{\tau} Q^{ijk}}{\eta_2 \cdot \lambda_{\theta}^j \cdot \rho_2^j}.$$

Умову позитивного економічного ефекту можна записати так:

$$\frac{C_1^3}{C_2^3 + I_r} > 1,$$

що загалом можна переписати у такому вигляді:

$$I_r + C_2^3 < C_1^3, \quad (3.43)$$

де  $C_1^3$  – вартість енергоресурсу, необхідного для сушіння деревини в конвективній сушарці, скоригована на фактор часу на момент здійснення оцінки з урахуванням часу;

$C_2^3$  – сумарна альтернативна вартість відходів, які будуть використані як енергоресурс, скоригована на фактор часу на момент здійснення оцінки з врахуванням часу. Розраховується аналогічно величині  $C_2^2$ .

Перепишемо умову позитивного економічного ефекту [147]:

$$I_r + \sum_{l=1}^{\tau} \sum_{h=1}^{Z_l} \left[ (1+d)^{-l} \cdot \max \{ v_i^{lh}, i = (1, \dots, p) \} \right] < \frac{1}{\eta_1} P_r \cdot \sum_{k=1}^{\tau} (1+d)^{-k} \cdot Q^k.$$

Необхідно зауважити, що у цьому випадку аналізу  $\tau \geq t$ .

Отже, для цього варіанту визначення доцільності використання деревинних відходів для здійснення процесу сушіння деревини можна визначити за допомогою такої моделі [147]:

$$I_r + \sum_{l=1}^{\tau} \sum_{h=1}^{Z_l} \left[ (1+d)^{-l} \cdot \max \{ v_i^{lh}, i = (1, \dots, p) \} \right] < \frac{1}{\eta_1} P_r \cdot \sum_{k=1}^{\tau} (1+d)^{-k} \cdot Q^k;$$

$$\sum_{j=1}^m V_3^j \cdot b^j \geq \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{\tau} Q^{ijk}}{\eta_2 \cdot \lambda_0^j \cdot \rho_2^j}.$$

Таким чином, наведені вище три методики визначення економічної доцільності використання деревинних відходів для здійснення процесу сушіння деревини, мають конкретні випадки свого застосування. Так, наприклад, другий варіант (враховує лише вартість сировини) доцільно використовувати для аналізу в короткому періоді, коли підприємство вже володіє відповідною енергозберігаючою технологією і потрібно визначити доцільність заміни енергоресурсу на певний невеликий період часу. Третій варіант (враховує вартість сировини і обладнання) використовується для аналізу в довгому періоді, протягом якого постійно будуть використовуватись деревинні відходи для проведення процесу сушіння

деревини. Модель, що враховує під час аналізу лише вартість обладнання, розрахована на довготермінові періоди і використовується паралельно із багаторазовим використанням моделі, наведеної у другому випадку. Ця ситуація передбачає, що протягом довготермінового періоду часу доцільність, що розраховується за другою схемою, може змінюватись (бути більше чи менше 1). До того ж, зауважимо, допускається, щоб у випадку 1 тривалість окупності обладнання  $t$  була більшою, ніж у випадку 3. Друга модель має деякі переваги порівняно з першою та третьою через відсутність залежності від часу, за який планується окупити обладнання.

### **3.6. Оцінка ефективності використання деревинних відходів**

Виконаємо еколого-економічну оцінку доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними в межах одного підприємства, яке генерує енергію для власних потреб. Оцінку доцільності заміщення здійснимо на прикладі деревообробного підприємства, яке використовує природний газ. Передбачається заміщення газу деревинними відходами власного виробництва.

Практичний досвід свідчить про позитивний еколого-економічний ефект від заміщення газу, використовуваного на деревообробному підприємстві власними деревинними відходами. Прикладом цього може підприємство з виробництва фанери „ОДЕК Україна” (м. Одеса, виготовляє 25 тис. м<sup>3</sup> фанери щороку, потужність котла 5 МВт), де газ повністю був заміщений власними деревинними відходами. У цьому випадку економія природного газу становить 4,3 млн м<sup>3</sup> на рік, а зниження обсягів викидів діоксиду вуглецю сягає 15 тис. т щороку [151]. У Малинському держлісгоспі (Житомирська область) було замінено котел потужністю 1,5 МВт, внаслідок чого економія природного газу становила 1,2 млн м<sup>3</sup> на рік [151].

Як вже зазначалося, оцінюючи доцільність заміщення невідновлюваного паливного ресурсу біологічно відновлюваним в межах одного підприємства, потрібно враховувати три групи ефектів: ефекти, зумовлені зміною ціни

використовуваних енергоресурсів, зумовлені заміною енергогенеруючого обладнання (закупівля нового обладнання та продаж старого) та витрати (або економія, у разі якщо заміщуване паливо є більш екологічним), пов'язані з потребою очищення продуктів горіння палива.

Ефект, зумовлений різницею цін використовуваних енергоресурсів, може бути розрахований за формулою (3.5) та залежить від цін на використовувані ресурси, потрібного обсягу енергії та коефіцієнтів корисної дії енергогенеруючих установок. Зважаючи, що використовуваний газ заміщуватиметься деревинними відходами власного виробництва, доцільно прийняти ціну нульовою. Очевидно, що це буде за умови відсутності додаткових витрат на утилізацію не використовуваних деревинних відходів. Таким чином, ефект від заміщення, зумовлений різницею цін на заміщувані ресурси, визначатиметься обсягами та ціною заміщеного природного газу.

Для забезпечення енергетичних потреб потужного деревообробного заводу достатньо енергетичної установки потужністю 1,6 *MВт*. Враховуючи це, річні потреби заводу в енергії становитимуть:

$$E_d = 1,6 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 360 \cdot 0,7 = 34,8 \cdot 10^6 \text{ МДж}.$$

Коефіцієнт 0,7 свідчить про нерівномірність завантаженості котла протягом року та доби. Враховуючи питому теплоту згорання газу, величина економії, зумовлена різницею цін заміщуваних енергоресурсів може бути визначена:

$$E^p = \frac{34,836 \cdot 10^6 \text{ МДж}}{0,92 \cdot 37} \cdot 2,98097 \text{ грн/м}^3 = 1023,4 \cdot 2,98097 = 3050 \text{ тис. грн.},$$

де 0,92 – середній коефіцієнт корисної дії газових котлів;

37 – питома теплота згорання газу, *МДж/м<sup>3</sup>* (прийнята як середнє арифметичне між мінімальною та максимальною питомою теплотою згорання  $0,5 \cdot (28 + 46) \text{ МДж/м}^3$ ).

Розрахунки виконано за діючої ціни газу для промислових користувачів 2 980,97 грн/тис.м<sup>3</sup> (2 980,97 грн включає в себе ціну для промислових споживачів, затверджену Національною комісією регулювання електроенергетики України в розмірі 2 187,2, 2%-ву цільову надбавку,

вартість транспортування газу магістральними та розподільчими газопроводами, вартість постачання газу, ПДВ). Прийнятий коефіцієнт корисної дії газового котла 92 % доцільно застосовувати до сучасних котлів. Морально застарілі котли володіють нижчими коефіцієнтами корисної дії. Таким чином, заміщення газу деревиною призведе до економії газу об'ємом 1,023 млн м<sup>3</sup>, що еквівалентно 3, 05 млн. грн.

Величина капіталовкладень для переоснащення, зумовленого заміщенням використовуваних ресурсів (купівля, монтаж та налагодження обладнання), становить  $I_r = 1,2$  млн грн (за даними виробника котлів „Крігер”, м. Житомир). Ринкова ціна вживаного газового котла потужністю 1,6 МВт становить  $I_n = 465$  тис. грн. Таким чином, ефект від заміщення ресурсів, зумовлений заміною обладнання, становить:

$$E^I = I_n - I_r = 456 - 1200 = -744 \text{ тис. грн.}$$

Здійснюючи еколого-економічну оцінку заміщення газу деревиною на деревообробному підприємстві, шляхом порівняння економічних ефектів, потрібно звести величину екологічних ефектів до єдиного (зіставного) рівня. Для цього потрібно визначити вартість очищення продуктів горіння газу до рівня, який виникає при використанні деревинних енергоресурсів. Таким чином, оцінюючи еколого-економічну доцільність заміщення газу деревиною, ще одним позитивним ефектом, який виникає, є економія за рахунок відсутності потреби очищення продуктів горіння газу.

Оцінимо обсяги утворення забруднення, які виникають під час використання лише газу та деревини для енергогенерації. Обсяги викидів основних забруднювальних речовин при використанні цих енергоресурсів наведено в табл. 3.2 (дані з табл. 2.2; дані про обсяги утворення оксидів вуглецю прийнято такі, як наведено в [44]). На основі даних про обсяги забруднення на одиницю енергії під час використання різних палив можемо розрахувати рівень умовної шкідливості палива за формулою (3.9). Таким чином, величина інтегрального забруднення внаслідок використання газу та деревини становитиме:

$$P_G = 0 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right) + 40 \cdot \left(\frac{0,05}{0,04}\right) + 52050 \cdot \left(\frac{0,05}{1}\right) + 0 \cdot \left(\frac{0,05}{0,15}\right) = 2652,5,$$

$$P_w = 10 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right) + 42 \cdot \left(\frac{0,05}{0,04}\right) + 366 \cdot \left(\frac{0,05}{1}\right) + 14 \cdot \left(\frac{0,05}{0,15}\right) = 85,5,$$

де  $P_G$  та  $P_w$  – інтегральні рівні забруднення від спалювання газу та деревини, міліграм умовної забруднювальної речовини на 1 МДж енергії.

Таблиця 3.2

**Обсяги забруднень та інтегральні рівні забруднення (мг умовного забрудника на 1 МДж), які виникають внаслідок енергетичного використання газу та деревини**

Паливо	Викиди, мг/МДж				Рівень умовного забруднення на 1 МДж
	оксид сірки	оксиди азоту	оксиди вуглецю	пил	
газ	0	40	52 050	0	2 652,5
деревина	10	42	366	14	85,5

*Джерело: [44]*

Для здійснення адекватної еколого-економічної оцінки доцільності заміщення газу деревиною потрібно визначити вартість очищення продуктів горіння газу (2 652,5 на 1 МДж) до рівня, який виникає при енергетичному використанні деревини (85,5 на 1 МДж). Визначимо економію від відсутності потреби встановлення очисного обладнання та очищення продуктів горіння в процесі енергетичного використання деревини.

Як видно з табл. 3.2, для зведення рівня забруднення, яке виникає від спалювання газу, до рівня від використання деревини, потрібно очищувати продукти горіння лише від оксидів вуглецю, оскільки інтегральний показник забруднення при використанні газу перевищує аналогічний показник по деревині лише за рахунок вищих обсягів викидів оксидів вуглецю. При цьому, вловлення оксидів вуглецю, які утворюються внаслідок спалювання газу, необхідно здійснювати до дещо вищого рівня порівняно з рівнем спалювання деревини, бо деревина є менш екологічним видом палива порівняно з газом за обсягами викидів всіх забруднювачів, крім діоксиду



вуглецю. Таким чином, інтегральний рівень забрудненості продуктів згорання газу буде на рівні, аналогічному використанню деревини, якщо очищувати продукти горіння від оксидів вуглецю до рівня 710 мг/МДж.

Для виконання подальших розрахунків приймемо, що вартість очищення (поточні експлуатаційні витрати) продуктів горіння газу від оксидів вуглецю становить 0,42 грн./кг вловленої речовини (розрахунки витрат на очищення продуктів газу здійснено на основі відомостей про роботу очисного обладнання підприємств ВАТ „Сумихімпром” та ВАТ „Сумитеплоенерго”).

Враховуючи, що річний обсяг потреб в енергії становить  $34,8 \cdot 10^6$  МДж, потрібно утилізувати 1 789 т оксидів вуглецю протягом року, а вартість такого очищення сягає 751,2 тис. грн.

Загалом, річна вартість очищення продуктів горіння палива становить 10-30 % вартості очисного обладнання. Приймаючи, що річна вартість очищення продуктів (поточні експлуатаційні витрати) горіння становить 30 % від вартості обладнання, вартість очисного обладнання дорівнюватиме 2 504,1 тис. грн.

Таким чином, прийнявши норму дисконту в розмірі 0,14, чиста теперішня вартість першого року проекту із заміщення газу деревиною без врахування витрат на зведення рівня забруднення до однакового рівня (чисто економічний розрахунок) становитиме:

$$ЧТВ^1 = -(1200 - 456) + \frac{3050}{(1 + 0,14)^1} = 1\,932 \text{ тис. грн.}$$

Чиста теперішня вартість першого року проекту із заміщення газу деревиною з урахуванням витрат на зведення рівня забруднення до однакового рівня (еколого-економічний розрахунок, розраховано за формулою (3.17)) становитиме:

$$ЧТВ^1 = -(1200 - 456 - 2504) + \frac{3050 + 751,2}{(1 + 0,14)^1} = 5\,094,9 \text{ тис. грн.}$$

У випадку, якщо інвестиційний горизонт складає три роки, ЧТВ проекту із заміщення газу деревинними відходами в межах одного підприємства без

екологічної складової складатиме 6 338,6 тис. грн, а у випадку проведення розрахунків за запропонованою вище методикою (з врахуванням витрат на запобігання забрудненню), ЧТВ складатиме 10 586,5 тис. грн.

Розглянемо ефективність заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними в межах однієї ТЕЦ, тобто ефективність у разі компенсаторного заміщення. У цьому випадку оцінюватимемо доцільність часткового заміщення вугілля деревинними енергетичними ресурсами. Під час здійснення такої оцінки використовуватимемо технічні характеристики, які отримали науковці в процесі спільного спалювання вугілля та деревини в одному енергетичному котлі. Результати одного із таких експериментів викладено в [114].

У ході згаданого експерименту, внаслідок спалювання лише вугілля потужність котла становила 882 кВт. Спалюючи суміш, яка на 80 % маси складалася з вугілля, а на 20 % з деревинної тирси (за відносної вологості деревини 10,5 %), потужність енергогенеруючої установки зросла до 1 МВт. Використання суміші в складі 70 % маси з вугілля, а на 30 % з деревинної тирси, потужність енергогенерації зросла до 1,4 МВт [114]. Таким чином було встановлено, що питома теплота згорання вугілля становила 10 580 кДж/кг, а деревини – 16 850 кДж/кг. Таким чином, питома теплота згорання паливної суміші, в складі якої було 20 % тирси становила 11 834 кДж/кг, а суміші із 30 % складом тирси – 12 500 кДж/кг. Швидкість подачі палива становила 300 кг за годину.

Розглянемо котельну установку ТЕЦ, яка працює на вугіллі з потужністю 300 МВт. Можливість спільного спалювання вугілля та деревини в одному котлі передбачає його певне переоснащення. За оцінками спеціалістів, величина капітальних вкладень для здійснення такого переоснащення становить 50-100 дол. США в розрахунку на 1 кВт енергії отриманої з використанням деревини [111]. Виходячи із згаданих вище технічних параметрів, отриманих в практичному досліді та наведених в [114], визначимо потужність котла у разі часткової заміни вугілля енергетичною

деревиною. Зважаючи, що потужність котла, який працюватиме винятково на вугіллі, складатиме  $E_n^1 = 300$  МВт, розрахуємо масу вугілля, потрібної для забезпечення потужності обсягом  $E_n^1$ . Маса вугілля становитиме:

$$m_c^1 = \frac{3600c \cdot 300 \text{ МВт}}{10,58 \text{ МДж / кг}} = 102\,079,4 \text{ кг} = 102,1 \text{ т}.$$

Тоді маса вугілля та деревини у разі поєднанні 80 % вугілля та 20 % деревини становитиме:

$$m_c^2 = 0,8 \cdot m_c^1 = 81,7 \text{ т}; \quad m_w^2 = 0,2 \cdot m_c^1 = 20,4 \text{ т},$$

де  $m_c^2$  та  $m_w^2$  – маса вугілля та деревини за такого поєднання відповідно.

Потужність котла під час використання такої суміші визначається:

$$E_r^1 = \frac{1000 \cdot m_c^2 \cdot 10,58 \text{ МДж / кг}}{3600c} + \frac{1000 \cdot m_w^2 \cdot 16,85 \text{ МДж / кг}}{3600c} = 240,1 + 95,5 = 335,6 \text{ МВт},$$

або з використанням значення показника питомої теплоти згорання суміші:

$$E_r^1 = \frac{1000 \cdot (m_c^2 + m_w^2) \cdot 11,834 \text{ МДж / кг}}{3600c} = 335,6 \text{ МВт}.$$

Маса вугілля та деревини у разі поєднанні 70 % вугілля та 30 % деревини становитиме:

$$m_c^3 = 0,7 \cdot m_c^1 = 71,5 \text{ т}; \quad m_w^3 = 0,3 \cdot m_c^1 = 30,6 \text{ т},$$

де  $m_c^3$  та  $m_w^3$  – маса вугілля та деревини за такого поєднання відповідно.

Потужність котла під час використання такої суміші визначається:

$$E_r^2 = \frac{1000 \cdot m_c^3 \cdot 10,58 \text{ МДж / кг}}{3600c} + \frac{1000 \cdot m_w^3 \cdot 16,85 \text{ МДж / кг}}{3600c} = 210 + 143,4 = 353,4 \text{ МВт}$$

або з використанням значення показника питомої теплоти згорання суміші:

$$E_r^2 = \frac{1000 \cdot (m_c^3 + m_w^3) \cdot 11,834 \text{ МДж / кг}}{3600c} = 353,4 \text{ МВт}.$$

Визначивши вклад деревини в обсяг отримуваної енергії за різних поєднань вугілля та деревини, можемо розрахувати вартість інвестицій для переобладнання котла, зважаючи, що вартість капіталовкладень для переобладнання котла становить 50-100\$ на 1 кВт отримуваної з використанням деревини енергії [111]. В табл. 3.3 наведено обсяги інвестицій

за різними оцінками, потрібних для переобладнання ТЕС з метою спільного спалювання вугілля і деревини.

Таблиця 3.3

**Вартість переоснащення ТЕС для спільного спалювання вугілля та деревини, грн**

Масова частка деревини в паливі, %	Потужність енергогенерації за рахунок деревини, МВт	Вартість переоснащення (грн) за величини інвестицій на \$/кВт	
		50	100
20	95,5	37 245 000	74 490 000
30	143,4	55 926 000	111 852 000

Курс гривні до долара США прийнято 7,8 за 1\$

Джерело: власна розробка

Заміщення вугілля паливною деревиною призведе до зниження обсягів використання вугілля. Економія вугілля у разі використання паливної суміші в складі 80 % вугілля та 20 % деревини становитиме 20,4 т, а в разі використання паливної суміші з масовими частками вугілля 70 % та деревини 30 % – 30,6 т на годину.

Розрахуємо обсяг річної економії вугілля, зумовленої заміщенням його деревиною. Припустивши, що ТЕЦ працює лише протягом опалювального сезону та прийнявши його тривалість в 190 днів, річна економія вугілля від використання 20 % деревини становитиме:

$$S_c^1 = 190 \cdot 0,7 \cdot 24 \cdot 20,4t = 65,1 \text{ тис. т,}$$

де  $S_c^1$  – обсяг економії вугілля в натуральному вимірі у разі використання 20 % деревини в загальній масі паливної суміші.

Коефіцієнт 0,7 визначає рівень нерегулярності навантажень на ТЕЦ [152].

Річна економія вугілля від використання 30 % деревини в паливній суміші становитиме:

$$S_c^2 = 190 \cdot 0,7 \cdot 24 \cdot 30,6t = 97,7 \text{ тис. т,}$$

де  $S_c^2$  – обсяг економії вугілля в натуральному вимірі у разі використання 30 % деревини в загальній масі паливної суміші.

Визначивши економію вугілля в натуральному вимірі від використання деревини, враховуючи, що вартість вугілля становить 700-900 грн за тонну, розрахуємо економію від зниження обсягів використання вугілля на ТЕЦ. Розрахунки наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

#### Зниження витрат на вугілля внаслідок використанні деревини

Масова частка деревини в паливі, %	Натуральний обсяг економії вугілля, т	Зниження витрат вугілля (грн) за його ціни за 1 т, грн	
		700	900
20	65 117	45 581 900	58 605 300
30	97 765	68 435 500	87 988 500

Джерело: власна розробка

Визначимо вартість деревинних енергетичних ресурсів, якими заміщується вугілля. Прийmemo, що вугілля заміщується дровами, ціна яких з доставкою становить 250 грн за тонну (з доставкою включно) [110]. Тоді річна вартість деревини, якою заміщується вугілля, за частки її в паливній суміші обсягом 20 % становитиме  $65,117 \cdot 250 = 16\,279$  тис. грн. Вартість деревини за масової частки її в паливній суміші в 30 % становитиме  $97,765 \cdot 250 = 24\,441$  тис. грн. Величину чистої економії від заміни використовуваних енергоресурсів наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

#### Економічний ефект, зумовлений різницею цін заміщуваних ресурсів

Масова частка деревини в паливі	Економічний ефект (грн), за ціни вугілля за 1т, грн	
	700	900
20	29 302 650	42 326 050
30	43 994 250	63 547 250

Джерело: власна розробка

Таким чином, як видно з табл.3.3. та табл.3.5., інвестиції з переобладнання ТЕС можуть бути окуплені вже протягом другого року заміщення частини вугілля деревинним паливом.

Оцінимо обсяги забруднення, які виникають внаслідок:

1. Використанні лише вугілля;
2. Спільного спалювання вугілля та деревини.

Для цього використаємо дані про питомі обсяги викидів забруднювальних речовин, які виникають внаслідок використання палив у розрахунку на одиницю енергії, наведених в табл. 2.2. Дані про обсяги утворення оксидів вуглецю приймемо такі, як наведено в [44]. Цю інформацію наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

**Питомі обсяги викидів основних забруднювачів внаслідок спалювання вугілля та деревини**

Паливо	Викиди, г/МДж			
	оксид сірки	оксиди азоту	оксиди вуглецю	пил
вугілля	340	70	108 500	60
деревина	10	42	366	14

Джерело: [44]

Розрахуємо показники інтегрального забруднення (мг умовної забруднювальної речовини в розрахунку на один кг паливної суміші) від використання вугілля та деревинно-вугільної суміші (з масовими частками деревини в 20 % і 30 %) за формулою (3.9). Результати розрахунків наведено в табл.3.7.

Як видно з розрахованих значень інтегрального показника забруднення від використання палив, для досягнення рівня забруднення, яке стається від використання лише вугілля, потрібно підвищити обсяг енергогенерації на 24,3 % з використанням суміші з 20 % масового складу деревини, та на 41,5 % – з використанням суміші з 30 % масового складу деревини. За таких умов потужність енергогенерації з використанням паливної суміші з 20% масового складу деревини становитиме  $335,6 \text{ MВт} \cdot 1,243 = 417,2 \text{ MВт}$ , а з

використанням 30 % масового складу деревини в паливній суміші –  $353,4 \text{ MВт} \cdot 1,415 = 500,1 \text{ MВт}$ .

Таблиця 3.7

**Розрахунок показників забруднення від використання різних паливних сумішей, г ум. забруднювача на 1 кг паливної суміші**

Паливна суміш	Показник шкідливості забруднювача				Умовне забруднення
	оксид сірки	оксиди азоту	оксиди вуглецю	пил	
Вугілля	3 597	926	57 397	212	62 131
80 % вугілля, 20 % деревини	2 911	918	45 979	185	49 993
70 % вугілля, 30 % деревини	2 569	913	40 270	172	43 924

Джерело: власна розробка

Водночас збільшення потужності енергогенерації з використанням вугільно-деревинної суміші вимагатиме збільшення обсягів використовуваних ресурсів. Розрахункові натуральні та вартісні обсяги вугілля та деревини, а також обсяги інвестицій для переобладнання енергогенеруючої установки, потрібні для забезпечення вироблення компенсаторних обсягів енергогенерації, наведено в табл. 3.8. У табл. 3.8 представлено два варіанти компенсаторного заміщення вугілля на ТЕЦ, які характеризуються обсягом забруднення, аналогічним використанню лише вугілля з метою енергогенерації.

Таблиця 3.8

**Розрахунок обсягів деревини та величини інвестицій, потрібних для компенсаторної енергогенерації**

Потужність енергогенерації, МВт	Річна потреба в деревині, т	Вартість замішеного вугілля, тис. грн		Вартість деревини, тис. грн	Інвестиції, тис. грн	
		700 грн/т	900 грн/т		50\$/кВт	100\$/кВт
<i>20 % маси деревини в паливній суміші</i>						
417,2	80 940,2	56 658,1	72 846,2	20 235	46 296	92 591
<i>30 % маси деревини в паливній суміші</i>						
500,1	138 210,4	96 747,3	124 389,4	34 552,6	69 516	139 032

Джерело: власна розробка

У разі забезпечення однакового рівня забруднення (компенсаторне заміщення) виникають економічні ефекти: економія на пальному (за рахунок нижчої вартості паливної деревини), додаткові обсяги утвореної енергії (які виникають за рахунок вищої питомої теплоти згорання деревини порівняно з вугіллям та нарощення загального обсягу енергогенерації), а також потребою здійснення інвестицій для переоснащення ТЕЦ.

За сучасних умов середня частка вартості палива в загальній собівартості виробництва енергії становить 65 % (розраховано за калькуляціями витрат ВАТ „Київенерго” у 2007 р.). Таким чином, припустивши, що підприємство закладає норму прибутку в розмірі 20 % від собівартості виробництва, чистий дохід від енергогенерації становитиме 31 % вартості енергетичних ресурсів. Виходячи з таким міркувань, можемо розрахувати економічний ефект, зумовлений виробництвом додаткової енергії, який визначатиметься за формулою

$$E_p = 0,31 \cdot (C_c + C_w - C'_c),$$

$E_p$  – економічний ефект, зумовлений виробництвом додаткової енергії;

$C_c$  та  $C_w$  – вартість вугілля та деревини відповідно, які використовуються для енергогенерації після здійснення компенсаторного заміщення;

$C'_c$  – вартість вугілля, яке використовувалося для енергогенерації на ТЕЦ до заміщення вугілля деревиною.

Економічний ефект, зумовлений виробництвом додаткових обсягів енергії внаслідок компенсаторного заміщення, за різних часток деревини в паливній суміші та цінах на вугілля представлено в табл. 3.9.

Економічні ефекти, зумовлені різницею цін на заміщувані ресурси у разі компенсаторного заміщення, можна визначити з даних, наведених в табл. 3.8. У табл. 3.10 наведено значення економічних ефектів, які виникають внаслідок компенсаторного заміщення вугілля деревиною на ТЕЦ, за різних



варіантів складу паливної суміші, цін вугілля та величини капіталовкладень для модернізації ТЕЦ.

Таблиця 3.9

**Економічний ефект від нарощення обсягів енергогенерації внаслідок компенсаторного заміщення, тис. грн**

Масова частка деревини в паливній суміші	Економічний ефект за ціни вугілля	
	700 грн./т	900 грн./т
20%	24 511,5	29 287,0
30%	43 596,7	51 722,4

Джерело: власна розробка

Таблиця 3.10

**Економічні ефекти, які виникають внаслідок компенсаторного заміщенні вугілля деревиною на ТЕЦ, тис. грн**

Різниця цін на заміщувані ресурси	Генерація додаткової енергії	Інвестиції	Сальдо поточних ефектів та інвестицій
		50\$/1кВт 100\$/1кВт	
<b>20 % деревини в масі паливної суміші</b>			
<i>700 грн/т вугілля</i>			
36 423,1	24 511,5	46 296	14 639,0
		92 591	-31 656,5
<i>900 грн/т вугілля</i>			
52 611,1	29 287,0	46 296	35 602,6
		92 591	-10 692,9
<b>30 % деревини в масі паливної суміші</b>			
<i>700 грн/т вугілля</i>			
62 194,7	43 596,7	69 516	36 275,3
		139 032	-33 240,7
<i>900 грн/т вугілля</i>			
89 836,8	51 722,4	69 516	72 043,2
		139 032	2 527,1

Джерело: власна розробка

Як видно з табл. 3.10, поточні економічні ефекти, які виникають внаслідок компенсаторного заміщення ресурсів, покривають потрібні для цього інвестиції протягом першого року, за різних передбачених варіантів при інвестиціях в розмірі в 50 \$/кВт, а за величини інвестицій 100 \$/кВт – за

умови 30 %-ої частки деревини в паливній суміші та ціні 900 грн/т вугілля. За інших варіантів ефекти покривають потрібні інвестиції протягом другого року. У табл. 3.11 подано чисту теперішню вартість проекту із часткового заміщення вугілля деревиною при нормі дисконту 0,14. Розрахунки проведені відповідно до запропонованої методики за формулою (3.33).

Таблиця 3.11

**Чиста теперішня вартість проекту з часткового заміщення вугілля  
деревиною на ТЕЦ, тис. грн**

Частка деревини в паливній суміші	ЧТВ проекту за величини інвестицій на 1 кВт			
	50\$		100\$	
	1 рік	2 рік	1 рік	2 рік
700 грн/т вугілля				
20%	7 155,9	54 043,0	-39 139,7	7 747,5
30%	23 283,4	104 686,4	-46 232,6	35 170,4
900 грн/т вугілля				
20%	25 544,9	88 562,9	-20 750,6	42 267,4
30%	54 658,7	163 583,9	-14 857,3	94 067,9

*Джерело: власна розробка*

Розглянемо вплив заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними на стан національної енергетичної безпеки країни. Оцінку будемо виконувати відповідно до запропонованого нами підходу оцінки енергетичної залежності країни (формули (1.10-1.12)). Вплив заміщення ресурсів на стан енергетичної безпеки здійсимо за структурою енергоспоживання, подібній до тієї, яка мала місце в Україні в 2005 році. У табл. 3.12 наведено приблизні обсяги первинного енергоспоживання та імпорту енергоресурсів.

На основі даних, наведених в табл. 3.12, розрахуємо показники енергетичної залежності по кожному енергоресурсу (розраховується за формулою (1.10)) та по всіх енергоресурсах загалом (за формулами (1.11-1.12)). Результати розрахунків наведено в табл. 3.13.

Таблиця 3.12

## Структура енергоспоживання та імпорту енергоносіїв України

Первинний енергоресурс	Споживання, млн. т. у.п.	Частка в загальному обсязі	Частка імпорту у споживанні, %	Джерела та структура імпорту
Вугілля	43,5	22%	12%	Росія 100%
Природний газ	87,9	44%	73%	Росія 85%; Казахстан 15%
Нафта	25,7	13%	85%	Росія 80%; Казахстан 20%
Уран	30,1	15%	78%	Росія 100%
Інші	13	6%	-	-
<b>Всього</b>	<b>200,2</b>	<b>100%</b>	<b>57%</b>	-

Джерело: власна розробка

Таблиця 3.13

## Індивідуальні показники енергетичної залежності в Україні

Первинний енергоресурс	Споживання, млн т у.п.	Рівень залежності по ресурсу	Вагомість рівня залежності по <i>i</i> -му ресурсу
Вугілля	43,5	144	22%
Природний газ	87,9	3970	44%
Нафта	25,7	4913	13%
Уран	30,1	6084	15%
Інші	13	0	-
<b>Всього</b>	<b>200,2</b>	<b>1 235</b>	-

Джерело: власна розробка

Генеральний показник енергетичної залежності (розраховується за формулами (1.6-1.7)) становить 1 235. З табл. 3.13, видно, що найвищий рівень залежності має місце по газу ( $3\,970^{0,44}$ ), що зумовлено високими обсягами його споживання та часткою імпорту у загальному обсязі його споживання.

Знизити загальний рівень енергетичної залежності можна шляхом часткового заміщення імпортованих енергоресурсів власними ресурсами. Зважаючи на високу доступність біологічно відновлюваних ресурсів, доцільно використати їх для заміщення імпортованих ресурсів. Розрахуємо

ефект у сфері зміцнення енергетичної безпеки від заміщення газу деревинними ресурсами.

Як вже зазначалося, за оцінкою спеціалістів Інститут технічної теплофізики НАН України, щорічні доступні енергетичні ресурси деревинних відходів становить 2 млн т у.п [105]. Розрахуємо зміну рівня енергетичної залежності країни у разі часткового заміщення імпортованого газу деревинними відходами. Структуру енергоспоживання та імпорту енергоресурсів з використанням деревинних відходів наведено в табл. 3.14.

Таблиця 3.14

**Структура енергоспоживання та імпорту енергоносіїв в Україні з урахуванням заміщення газу деревиною**

Первинний енергоресурс	Споживання, млн. т. у.п.	Частка в загальному обсязі	Частка імпорту у споживанні, %	Джерела та структура імпорту
Вугілля	43,5	22 %	12 %	Росія 100 %
Природний газ	85,9	43 %	72 %	Росія 85 %; Казахстан 15 %
Нафта	25,7	13 %	85 %	Росія 80 %; Казахстан 20 %
Уран	30,1	15 %	78 %	Росія 100 %
<i>Деревина</i>	2	1 %	0 %	
Інші	13	6 %	-	-
Всього	200,2	100 %	56 %	-

*Джерело: власна розробка*

У графу „Інші” в табл. 3.14 потрапили всі енергоресурси, по яких немає імпорту – використовується лише власний потенціал цих ресурсів (левова частку серед них займає гідроенергетика). Зауважимо, що рівень енергетичної залежності не залежить від того, на скільки груп розбито енергоресурси, по яких імпорт відсутній. Те, що в табл. 3.14 деревину виділено окремою графою, не впливає на розрахунок рівня енергетичної залежності, а зроблено для унаочнення заміщення частини імпорту власними енергоресурсами.

Внаслідок заміщення частини імпортованого газу деревиною (частка деревини в загальному обсязі енергоспоживання становить 1 %), частка імпорту в енергоспоживанні знизилась до 56 %, а частка імпорту газу в загальному обсязі споживання газу знизилася з 44 % до 43 %. Зміна

індивідуальних показників енергетичної залежності (по кожній групі енергоресурсів) можна простежити у табл. 3.15.

Таблиця 3.15

**Індивідуальні показники енергетичної залежності України після  
заміщення газу деревиною**

Первинний енергоресурс	Споживання, млн т у.п.	Рівень залежності по ресурсу	Вагомість рівня залежності по ресурсу
Вугілля	43,5	144	22%
Природний газ	85,9	3902	43%
Нафта	25,7	4913	13%
Уран	30,1	6084	15%
Деревина	2	0	1%
Інші	13	0	6%
<b>Всього</b>	<b>200,2</b>	<b>1 129</b>	-

*Джерело: власна розробка*

Як видно з табл. 3.15, заміщення імпорту газу лише на один відсоток загального енергоспоживання (завдяки використанню деревини), знижує рівень енергетичної залежності країни з 1 235 до 1 129.

Розглянемо ефект у сфері зміцнення національної безпеки від заміщення імпортованих енергоресурсів біологічно відновлюваними енергоресурсами. Енергетичний потенціал біологічно відновлюваних ресурсів в Україні щороку становить 24,2 млн т у.п. [105]. Структуру енергоспоживання та імпорту енергоресурсів відображено в табл. 3.16.

Індивідуальні та генеральний показник енергетичної залежності подано в табл. 3.17.

Заміщення 24,2 млн т у.п. імпортованого газу біологічно відновлюваними ресурсами призвело до зниження рівня енергетичної залежності з 1 235 до 412 одиниць.

Розрахуємо грошовий еквівалент зниження рівня енергетичної залежності, визначений як вартість заходів з енергозбереження, які забезпечили б аналогічне зниження рівня енергетичної залежності країни. Середня величина витрат з енергозбереження становить 492 грн для

зниження енергоспоживання на одну тонну умовного палива (розраховано за даними, наведеними в Енергетичній стратегії України на період до 2030 р. [106]).

Таблиця 3.16

**Структура енергоспоживання та імпорту енергоносіїв в Україні з урахуванням заміщення газу біологічно відновлюваними ресурсами**

Первинний енергоресурс	Споживання, млн т у.п.	Частка в загальному обсязі, %	Частка імпорту у споживанні, %	Джерела та структура імпорту
Вугілля	43,5	22	12	Росія 100 %
Природний газ	63,7	32	63	Росія 85 %; Казахстан 15 %
Нафта	25,7	13	85	Росія 80 %; Казахстан 20 %
Уран	30,1	15	78	Росія 100 %
Біологічно відновлювані	24,2	12	0	
Інші	13	6	-	-
<b>Всього</b>	<b>200,2</b>	<b>100</b>	<b>45</b>	<b>-</b>

Джерело: власна розробка

Таблиця 3.17

**Індивідуальні показники енергетичної залежності в Україні після заміщення газу деревиною**

Первинний енергоресурс	Споживання, млн т у.п.	Рівень залежності по ресурсу	Вагомість рівня залежності по і-му ресурсу
Вугілля	43,5	144	22 %
Природний газ	63,7	2933	32 %
Нафта	25,7	4913	13 %
Уран	30,1	6084	15 %
Біологічно відновлювані	24,2	0	12 %
Інші	13	0	6 %
<b>Всього</b>	<b>200,2</b>	<b>412</b>	

Джерело: власна розробка

Таким чином, зниження енергетичної залежності внаслідок заміщення частини імпорту газу деревиною обсягом 2 млн т у.п. (як відображено в табл. 3.14-3.15), становить

$$\Delta Z_1' = 2 \text{млн т у.п.} \cdot 492 \text{грн} = 984 \text{млн грн}$$

Грошовий еквівалент зниження енергетичної залежності за рахунок заміщення імпорту газу доступними обсягами біологічно відновлюваних енергоресурсів обсягом 24,2 млн т у.п. (як відображено в табл. 3.16-3.17), становить

$$\Delta Z_2' = 24,2 \text{млн т у.п.} \cdot 492 \text{грн} = 23\,812,8 \text{млн грн}$$

З наведених вище практичних розрахунків видно, що розширення енергетичного використання біологічно відновлюваних енергоресурсів призводить не лише до зниження антропогенного навантаження на довкілля за позитивних економічних ефектів, але й може значно знизити рівень енергетичної залежності країни.

### **Висновки до третього розділу**

Оцінку доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними потрібно здійснювати в різних масштабах: на рівні окремого підприємства, на рівні конкретного регіону та в масштабі держави загалом. Такий розподіл зумовлений потребою врахування ефектів різного класу, які виникають у процесі заміщення енергоресурсів на різних масштабах. Для здійснення оцінки доцільності заміщення на рівні окремого підприємства, яке заміщує невідновлюваний енергоресурс біологічно відновлюваним, доцільно враховувати економічні та екологічні критерії. При цьому важливим є те, що суб'єкти господарювання, приймаючи рішення про заміщення енергоресурсів, гнучко реагують лише на економічні чинники, не беручи до розгляду екологічні, якщо такі не мають прямого економічного впливу на ефективність здійснення господарської діяльності.

Здійснення адекватної оцінки доцільності заміщення енергоресурсів у масштабах певного регіону, крім врахування економічних та екологічних чинників, потребує взяття до уваги соціальних ефектів. Виникнення соціальних ефектів внаслідок заміщення невідновлюваних енергоресурсів

біологічно відновлюваними, насамперед зумовлене зміною зайнятості населення у сфері виробництва цих ресурсів.

Оцінка доцільності заміщення енергоресурсів у масштабі держави, крім врахування екологічних, економічних та соціальних чинників, потребує оцінювання зміни рівня енергетичної залежності країни. Ефективне заміщення ресурсів, за якого частина імпортованих невідновлюваних енергоресурсів замінюватиметься власними біологічно відновлюваними, безумовно, сприятиме зміцненню рівня енергетичної безпеки країни з паралельним отриманням еколого-економічних та соціальних вигід за рахунок зростання зайнятості населення та використання більш екологічно безпечних енергоресурсів.

Грошовим еквівалентом зміцнення енергетичної безпеки країни (зумовленої заміщенням імпортованих енергоресурсів власними біологічно відновлюваними) може бути вартість заходів з енергозбереження, які б забезпечили аналогічний рівень енергетичної залежності. Таким чином, всі складові оцінки (еколого-економічна, соціальна та зміцнення рівня національної безпеки) можуть бути оцінені в єдиному грошовому вимірнику, що значно спрощує прийняття рішення про заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними.

Внаслідок заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними можна отримати екологічні та соціальні вигід, а також зміцнити енергетичну безпеку країни. Таким чином, додаткове врахування екологічних та соціальних критеріїв та вигід у формі зміцнення енергетичної безпеки, під час здійснення оцінки, знижує термін окупності проектів із заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними.



## ВИСНОВКИ

1. Використання біологічно відновлюваних енергоресурсів характеризується нижчим потенціалом забруднення довкілля у порівнянні з невідновлюваними. Головною екологічною перевагою їх використання є CO<sub>2</sub>-нейтральність, а тому заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними знижує рівень антропогенного навантаження на довкілля, в тому числі й загрозу глобального потепління.

2. Заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними зумовлює виникнення інтегрального ефекту, який виявляється у впливі на основні сфери життя людини (економічну, екологічну, соціальну) та на рівень енергетичної безпеки держави. В кожній із цих сфер склалися сприятливі передумови для розширення використання біологічно відновлюваних енергоресурсів.

3. Оцінка потенціалу біологічно відновлюваних енергоресурсів повинна базуватися на екологічно доступних обсягах цих ресурсів, а не потенційних та мобільних, як це часто має місце. Використання відновлюваних енергоресурсів вимагає: дотримуватися вимог екологічності; невиснажливого використання; релевантності; комплексного використання відновлюваних енергоресурсів; максимізації еколого-економічного ефекту.

4. При використанні деревини в якості енергоресурсу, слід дотримуватися ряду спеціальних принципів, а саме: націленості на отримання супутніх екологічних та соціальних ефектів у процесі вирощування та переробки плантаційної деревини; спрямування на утилізацію відходів виробництва лісової та деревообробної галузей; мінімізації обсягів викидів, утворюваних внаслідок спалювання деревинних ресурсів; забезпечення збереження біорізноманіття та підтримки лісових екосистем при вилученні деревини з лісосік для енергетичних потреб; врахування ритмічності процесу приросту деревини та коливання енергетичних потреб.

5. Зміни в природній системі, викликані заміщенням невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними є складними та взаємопов'язаними. Екологічні ефекти, які виникають в процесі заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними відрізняються за тривалістю, можливістю зворотності змін в екосистемах та безпосередністю виникнення. Різноманітність екологічних ефектів унеможлиблює достатньо точну оцінку економічних збитків екологічного характеру.

6. Здійснення еколого-економічної оцінки заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними можна та доцільно проводити на основі концепції економічної оцінки запобігання антропогенного забруднення від їх використання з врахуванням прямих економічних ефектів від енергогенерації. На відміну від застосування концепції економічної оцінки екологічних ефектів такий підхід позбавляє необхідності оцінювання екологічних ефектів (трудомісткого процесу, не позбавленого наявності значних похибок в остаточному розрахунку) і водночас забезпечує отримання адекватного результату.

7. Ефективне заміщення невідновлюваного та відновлюваного ресурсу в межах виробничої функції вимагає брати до уваги крім класичних факторів (ціна ресурсу та гранична норма технологічної заміни) також екологічні (наприклад, витрати на запобігання забруднення при використанні енергоресурсу). Враховуючи дефіцитність невідновлюваних ресурсів та міжчасові зв'язки при їх заміщенні відновлюваними, доведено, що доцільніше відкладати споживання невідновлюваних ресурсів на майбутні періоди, аніж споживати їх в поточному.

8. Еколого-економічну оцінку заміщення енергоресурсів (як і порівняння будь-яких інших технологічних варіантів за еколого-економічним критерієм) можна проводити через доведення обсягів антропогенного забруднення від використання двох енергоресурсів до однакового рівня. Зведення забруднення до однакового рівня здійснюється шляхом

нарощування виробництва за варіантом з нижчим рівнем забруднення. Такий підхід позбавляє необхідності оцінки екологічної складової заміщення енергоресурсів з подальшим порівнянням економічних ефектів.

9. Рівень енергетичної залежності країни від постачальників енергоресурсів визначається географічною структурою імпорту та часткою імпорту в кінцевому обсязі первинного енергоспоживання ресурсу. Заміщення імпортованих енергоресурсів власними біологічно відновлюваними призведе до зниження рівня енергетичної залежності та зміцнення національної безпеки. Економічним еквівалентом зниження рівня енергетичної залежності може бути вартість впровадження заходів з енергозбереження, які б забезпечували аналогічний обсяг зниження імпорту енергоресурсів.

10. Оцінку доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними слід проводити окремо на мікро- та макрорівні, що зумовлено різними масштабами та кількістю ефектів, які виникають в процесі заміщення. Здійснення оцінки заміщення повинно базуватися на врахуванні екологічних, економічних та соціальних ефектів, а також рівня національної безпеки. Суб'єкти господарювання, приймаючи рішення про заміщення енергоресурсів, керуються виключно економічними інтересами. Саме тому необхідно трансформувати екологічні, соціальні та інші неекономічні чинники в економічні.

11. Апробація запропонованих методик оцінки доцільності заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними (на прикладі деревини) показала позитивний ефект такого заміщення. При врахуванні екологічних та соціальних критеріїв термін окупності проектів із заміщення енергоресурсів суттєво знижується. Ще важливіший висновок полягає в тому, що заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними є важливим чинником зменшення енергетичної залежності країни та зміцнення національної безпеки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Туниця Ю.Ю. Екоекономіка і ринок: подолання суперечностей: [монографія]/ Ю. Ю. Туниця. – К.: Знання, 2006. – 314 с.
2. Principles of environmental impact assessment best practice [Електронний ресурс]// International Association for Impact Assessment. – Режим доступу: [http://www.iaia.org/modx/assets/files/Principles%20of%20IA\\_web.pdf](http://www.iaia.org/modx/assets/files/Principles%20of%20IA_web.pdf).
3. Assessment of the Effects of Certain Public and Private Projects on the Environment: Council Directive 85/337/EEC// Official Journal. – 1985. – № 175. – p.40-48.
4. Glasson, J. Introduction to Environmental Impact Assessment/ J. Glasson, R. Therivel, A. Chadwick – London: Taylor & Francis, 2005. – 455 p.
5. Caldwell L. K. Environmental Impact Analysis (EIA): Origins, Evolution, and Future Directions/ L. K. Caldwell// Review of Policy Research. – 1988. – Vol. 8. – Iss. 1. – p. 75-83.
6. Рудько Г.І. Екологічна безпека та раціональне природокористування в межах гірничопромислових і нафтогазових комплексів/ Г.І. Рудько, Л.Є. Шкіца. – К.: ЗАТ „Нічлава”, 2001. – 528 с.
7. Николин В.И. Охрана окружающей среды в горной промышленности/ В.И. Николин, Е.С. Матлак. – Донецьк: Вища шк., 1987. – 192 с.
8. Литвинов Ю.Г. Вплив роботи шахт центрального району Донбасу на екологію району/ Ю.Г. Литвинов, В.О. Радул, В.П. Гудзь, В.І. Робочий// Безпека життєдіяльності. – 2004. – №3. – С. 35-36.
9. Вишаренко В.С. Методологические принципы анализа и управления качеством окружающей среды крупного города: [препринт научного доклада]/ В. С. Вишаренко. – Л.: ИСЭП АН СССР, 1989. – 48 с.
10. Энергетика и охрана окружающей среды/ [Л.Г. Залогин, Л.И. Кропп, Ю.М. Кострикин, и др.] . – М.: Энергия, 1979. – 352 с.
11. Экологические проблемы энергетики/ [А.А. Кошелев, Г.В. Ташкинова, Б.Б. Чебаненко и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1989. – 322 с.

12. Реймерс Н.Ф. Природопользование: справочник-словарь / Н.Ф. Реймерс.. – М.: Мысль, 1990. – 639 с.
13. Митрюшкин К.П. Прогресс и природа / К.П. Митрюшкин, Л.К. Шапошников. – М.: Лесн. пром., 1988. – 312 с.
14. Яблоков А.В. Интервью/ А.В. Яблоков // Наука и жизнь. – 1989. – №10. – С.5.
15. Балацкий О.Ф. Экономика чистого воздуха/ О. Ф. Балацкий. – К.: Наук. думка, 1979. – 295 с.
16. Estimation of the Value of Life Saving under Uncertainty Emanating from Transport Infrastructure Investment: A Theoretical Exposition with an Application to the Rion-Antirion Suspension Bridge.// The Annals of Regional Science. – August 1999 – Vol. 33. – Iss. 3 – P.317-341.
17. Ehrlich I. Uncertain lifetime, life protection, and the value of life saving// Journal of Health Economics. – 2000.– No.19. – P.16-22.
18. Ehrlich I. Model of the Demand for Longevity and the Value of Life Extension/ Ehrlich I., Chuma H. A// Journal of Political Economy. – 1990. – Vol. 98. – No.4. P.87-96.
19. Нейко Є.М. Медико-геоекологічний аналіз стану довкілля як інструмент оцінки та контролю здоров'я населення / [Є.М. Нейко, Г.І. Рудько, Н.І. Смоляр та ін.]; під ред. Є.М. Нейка. – Івано-Франківськ- Львів : ЕКОР. – 2001. – 350с.
20. Корнацький В.М. Вплив екологічних факторів та профілактики серцево-судинних захворювань на тривалість життя в регіонах України / [Електронний ресурс] / В.М. Корнацький, О.Ю. Кулик // Сучасні проблеми токсикології. – 2000. – №5. – Режим доступу до журн.: [http://www.medved.kiev.ua/arhiv\\_mg/st\\_2000/00\\_5\\_14.htm](http://www.medved.kiev.ua/arhiv_mg/st_2000/00_5_14.htm).
21. Трахтенберг И.М. Приоритетные аспекты проблем медицинской экологии в Украине (взгляд токсиколога)/ [Електронний ресурс] / И.М. Трахтенберг // Сучасні проблеми токсикології. – 1998. – №1. – Режим доступу до журн.: [http://www.medved.kiev.ua/arhiv\\_mg/stat\\_98/98\\_1\\_1.htm](http://www.medved.kiev.ua/arhiv_mg/stat_98/98_1_1.htm).

22. Кухар В.П. Проблеми України – перехід до сталого розвитку (точка зору екотоксиколога) / [Електронний ресурс] / В.П. Кухар // Сучасні проблеми токсикології. – 1998. – №3. – Режим доступу до журн.: [http://www.medved.kiev.ua/arhiv\\_mg/stat\\_98/98\\_3\\_1.htm](http://www.medved.kiev.ua/arhiv_mg/stat_98/98_3_1.htm).
23. Чайка В.К. Общая гинекологическая заболеваемость детей и подростков в условиях экологически неблагоприятного региона / [Електронний ресурс] / В.К. Чайка, Н.Ф. Иваницкая, Н.А. Матыцина, С.Ф. Марова // Вестник гигиены и эпидемиологии. – 2001. – Т.5, №2. – Режим доступу до журн.: <http://www.nhe.dsmu.edu.ua/images/texts/186/1113377619chaika.pdf>.
24. Балацкий О.Ф. Антология экономики чистой среды/ О. Ф. Балацкий. – Суми: ИТД „Университетская книга”, 2007. – 272 с.
25. Корнеев Ю.Е. Многофакторная корреляция заболеваемости населения бронхитом/ Ю.Е. Корнеев, В.Т. Халдеев, А.В. Чупис// Общие методические и теоретические вопросы гигиены атмосферного воздуха. – М.: Медицина, 1973. – С.87-96.
26. Черепов Е.М. Методические подходы к изучению неспецифических заболеваемости детского населения в связи с загрязнением атмосферного воздуха городов/ Е.М. Черепов// Общие методические и теоретические вопросы гигиены атмосферного воздуха. – М.: Медицина. – 1973, С.96-100.
27. Стадницький, Ю.І. Економічні основи управління оздоровленням навколишнього середовища: дис. ... докт. екон. наук: 2001/ Стадницький Юрій Іванович. – Львів, 2001. – 409 с.
28. Экхольм Э. Окружающая среда и здоровье человека/ Э Экхольм; пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 234 с.
29. Эффективность природоохранных мероприятий/ [Т.С. Хачатуров, К.В. Папенков, Т.С. Хачатуров и др.]; под. ред. Т.С. Хачатурова, К.В. Папенова. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 224 с.
30. Стадницький Ю.І. Економіка запобігання антропогенного забруднення довкілля/ Ю.І. Стадницький – Хмельницький: УЕП, 2007. – 362 с.

31. Туныця Ю.Ю. Эколого-экономическая эффективность природопользования / Ю.Ю. Туныця. – М.: Наука, 1980. – 168 с.
32. Хвесик М.А. Економіко-правове регулювання природокористування: [Монографія] / М.А. Хвесик, Л.М. Горбач, Ю.П. Кулаковський. – К.: Кондор, 2004. – 524 с.
33. Зубик С.В. Техноекологія. Джерела забруднення і захист навколишнього середовища / С.В. Зубик. – Львів: Оріяна-Нова, 2007. – 400с.
34. Клименко М.О. Моніторинг довкілля / М.О. Клименко, А.М. Прищепа, Н.М. Вознюк. – К.: Видавничий центр „Академія”, 2006. – 360 с.
35. Прокіп А.В. Еколого-економічні, соціальні та геополітичні складові ефективного заміщення традиційних енергоресурсів біологічно відновлюваними / А.В. Прокіп // Економіка: проблеми теорії і практики: зб. наук. праць. – 2008. – Т.3. – Вип. 244 – С. 758–768.
36. Бараннік В.О./ Стратегія та практика управління ПЕК. Досвід України / В.О. Бараннік, М.Г. Земляний // Стратегічна панорама. – 2002. – №3. – С. 65-68.
37. Степанов А.В. Достижения энергетики и защита окружающей среды / А.В. Степанов, В.П. Кухарь. – К.: Наукова думка, 2004. – 206 с.
38. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр; пер. с англ. В.А. Коробков. – М.: Энероатомиздат, 1990. – 392 с.
39. Берч Ф.. Будущее энергообеспечения в Германии. Потенциал возобновляемых видов энергии / [Электронный ресурс] / Ф. Берч // Электронный журнал энергосервисной компании „Экологические системы” – 2000. – №6. Режим доступа: [http://www.esco-ecosys.narod.ru/2006\\_6/art089.htm](http://www.esco-ecosys.narod.ru/2006_6/art089.htm). – Загол. з екрану.
40. Towards sustainability: A Plan for Collaborative research on Agriculture and Natural Resource Management [Panel for Collaborative Research Support for AID's Sustainable Agriculture and Natural Resource Management Program: US National Research Council]. – Washington, D.C.: National Academy Press, 1991. – 163 p.

41. Васильев Ю.С. Экология использования возобновляющихся энергоисточников / Ю.С. Васильев, Н.И. Хрисанов – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 1991. – 343 с.
42. Туниця Т.Ю. Забезпечення міжнародної конкурентоспроможності шляхом оптимізації ресурсоспоживання / [Електронний ресурс] / Т.Ю. Туниця // Економічний часопис-XXI. – 2004, №9. Режим доступу до журн.: <http://www.soskin.info/ea.php?pokazold=20040912&n=9&y=2004>.
43. Renewable Power Pathways: A Review of The U.S. [Committee on Programmatic Review of the U.S. Department of Energy's Office of Power Technologies; US Board on Energy and Environmental Systems; US National Research Council]. – Washington, D.C.: National Academy Press, 2000. – 135p.
44. Jonas A. Energie aus Holz/ A. Jonas, F. Görtler, K. Schuster. – Pottendorf: Druckerei H. Burkert, 1994 – 96 s.
45. Олейник Е.Н. Европейский опыт использования древесины для теплоснабжения/ Е.Н. Олейник // Коммунальное хозяйство. – 2008. – №2. – С. 30-33.
46. A Review of Advances and Quality Assessment of Biofuels. Mohammed UMAR GARBA; Mohammed ALHASSAN ; Abdulsalami S. KOVO // Leonardo Journal of Sciences, 2006. – Vol. 5. – Iss. 9. – P. 167-178.
47. Johansson T. B. Renewable energy: sources for fuels and electricity./ T. B. Johansson; L. Burnham. – Washington D.C. Island Press. – 1992. – 1160 p.
48. Ілляшенко С.М. Управління екологічними ризиками інновацій: [Монографія] / С.М. Ілляшенко, В.В. Божкова. – Суми: ВТД „Університетська книга”, 2004. – 214 с.
49. Макогон Ю.В. Экономическая безопасность Украины в условиях международной интеграции: государственный и региональный аспект / Ю.В. Макогон // Проблемы развития внешнеэкономических связей и привлечения инвестиций: региональный аспект: сб. науч. тр. – Донецк: ДонНУ, 2006. – С. 1104-1119.



50. Корсунський С. В. Геополітика нафти і газу в контексті трансформації світових ринків енергоносіїв / С.В. Корсунський // Стратегічна панорама. – 2004. – № 3. – С. 48-59.
51. Газовая ОПЕК»: страны-экспортеры играют мышцами.../ Г. Люта // Зеркало недели – 2007. – №14 (643). – С. 8.
52. Сухоруков А.І. Програмно-цільовий підхід до забезпечення економічної безпеки України/ А.І. Сухоруков // Стратегія економічного розвитку. – 2000. – Вип. 2-3. – С.14-21.
53. Методичні рекомендації щодо оцінки рівня економічної безпеки України / за ред. А. І. Сухорукова – К.: НППМБ. – 2003, 64 с.
54. Прокип А.В. Оценка уровня зависимости фирмы от поставщиков/ А.В. Прокип// Материалы V научной конференции «Ломоносовские чтения», Севастополь НПЦ «Экоси-гидрофизика», 2006. – С.66-68.
55. Ястремський О.І. Основи мікроекономіки. / О.І. Ястремський, О.Г. Гриценко. – К.: Товариство „Знання”. – 1998. – 714 с.
56. Прокіп А.В. Новий метод визначення інтегрального показника на основі експертних оцінок/ А.В. Прокіп // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук.-техн. праць. – 2005. – № 15.1. – С.274-277.
57. Макогон Ю.В. Перспективи використання альтернативних і вторинних джерел енергії в Україні/ Ю.В. Макогон, В.В. Кошеленко// Стратегічна панорама. – 2007. – №1 – С. 121-127.
58. Туниця Т.Ю. Сучасні моделі природокористування в умовах глобалізації/ [Електронний ресурс] / Т.Ю. Туниця // Економічний часопис – XXI. – 2005 – № 7-8. – Режим доступу до журн.: <http://soskin.info/ea.php?pokazold=20050711&n=7-8&y=2005>.
59. Hotteling H. The Economics of Exhaustible Resources/ H. Hotteling // Bulletin of Mathematical Biology. – 1991. – Vol. 53. – No. ½. – p. 281-312.
60. Арбатов А.А. О стратегии использования минерального сырья / А.А. Арбатов, Е.Б. Струкова // Экономика и математические методы. – 1991. – том. 27. – вып. 4. – С. 686-698.

61. McVeigh, J. Winner, loser, or innocent victim? Has renewable energy performed as expected? / J. McVeigh, D. Burtraw, J. Darmstadter [and oth.] // Resources for the Future. – 1999 – Iss 28.
62. Матвеев М.Е. Економічна доцільність створення плантацій швидкоростучих порід дерев з метою енергетичного використання / М.Е. Матвеев // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук.-техн. праць. – 1998. – №8. – С.190-192.
63. Олійник Є.Н. Енергетичні плантації. Чи можна зменшити залежність України від імпортованих енергоносіїв? / Є.Н. Олійник, М. Жовтомір, К. Дрозд, Т. Євдокимова // Зелена енергетика. – 2007. – №3. – С. 6-9.
64. Прокіп А.В. Ефективність отримання енергії з деревини/ А.В. Прокіп // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук.-техн. праць. – 2004. – № 14.1. – С.181-184.
65. Carbon Management: Implications for R & D in the Chemical Sciences and Technology [A Workshop Report to the Chemical Sciences Roundtable: US Board on Chemical Sciences and Technology, US National Research Council ]. – Washington, D.C.: National Academy Press, 2000. – 236 p.
66. How much energy can wind supply worldwide? – Режим доступу: [http://www.awea.org/faq/wwt\\_potential.html#How much energy can wind supply worldwide](http://www.awea.org/faq/wwt_potential.html#How_much_energy_can_wind_supply_worldwide) – Заголовок з екрану.
67. Фандель Г. Теорія виробництва і витрат/ Ф.Г. Фандель; пер. з нім. під керівництвом і наук. ред. М.Г. Грецака. – К.: Таксон, 2000. – 520 с.
68. Beltratti A. Sustainable Use of Renewable Resources/ A. Beltratti, G. Chichilnisky, G. Heal. – Режим доступу: <http://ssrn.com/abstract=1613>.
69. Bretschger L. Sustainability and Substitution of Exhaustible Natural Resources. How resource prices affect long-term R&D investments/ Lucas Bretschger, Sjak Smulders. – Режим доступу: [http://www.feem.it/web/activ/\\_wp.html](http://www.feem.it/web/activ/_wp.html).
70. Markandya A. How Substitutable is Natural Capital?/ Anil Markandya, Suzette Pedroso. – Режим доступу: <http://ssrn.com/abstract=755448>.

71. André-García F.J. Optimal substitution of renewable and Nonrenewable natural resources in production/ Francisco J. André-García, Emilio Cerdá-Tena. – Режим доступу: <http://econpapers.repec.org/paper/iviwpsad/2001-14.htm>.
72. Прокіп А.В. Умови оптимального заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними/ А.В. Прокіп// Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку: вісник національного університету „Львівська політехніка”. – 2008. – № 635. – С.124-130.
73. Каганович И.З. Целенаправленность и фактор времени в природосберегающей экономике (по результатам анализа межвременных связей)/ И.З. Каганович// Известия АН ЭССР. Общественные науки – 1983. – Т. 32. – №4.
74. Каганович И.З. Сочетание альтернативных стратегий в природопользовании. Модельный подход/ И.З. Каганович// Альтернативы развития природоэксплуатирующих отраслей. Сб. трудов. Вып. 12. М.: ВНИИСИ, 1988.
75. Каганович И.З. Альтернативы природопользования и его оценка./ И.З. Каганович// Экономика и математические методы. – 1991. – Т. 27. – Вып. 2. – С.322-332.
76. Assigning Economic Value To Natural Resources [US Commission on Geosciences, Environment, and Resources; US Commission on Behavioral and Social Sciences and Education; US National Research Council]. – Washington, D.C.: National Academy Press, 1994. – 195 p.
77. Романова Э.П. Природные ресурсы мира / Э.П. Романова, Л.И. Курмакова, Ю.Г. Ермаков – М.:Изд-во МГУ, 1993. – 303с.
78. Скалкин Ф.В. Энергетика и окружающая среда/ Ф.В. Скалкин, А.А. Канаев, И.З. Копп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 280 с.
79. Соуфера С. Биомасса как источник энергии/ С. Соуфера, О. Заборски.; пер. с англ. А.П. Чочиа. – М.: Мир, 1985. – 368с.

80. Качинський А.Б. Екологічна безпека України : системний аналіз перспектив покращення / А.Б. Качинський. – К.: НІСД, 2001. – 311с.
81. Батурич Л.А. Сбалансоване природопольовання / Л.А. Батурич, В.І. Ігнатів, А.В. Кокин. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКАЗС. – 1998. – 324 с.
82. Кокин А.В. Природні ресурси світової економіки. Стан, тенденції, правові аспекти / А.В. Кокин, В.Н. Кокин. – М.: Из-во Міністерства економіки і торгівлі РФ. – 2001. – 360с.
83. Вовк В.І. Екологічна економіка – від доктрини до політики / В.І. Вовк. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.library.ukma.kiev.ua/e-lib/NZ/NZV29\\_2004/13\\_vovk\\_v.pdf](http://www.library.ukma.kiev.ua/e-lib/NZ/NZV29_2004/13_vovk_v.pdf).
84. Тупиця Ю.Ю. Економічні проблеми комплексного використання і охорони лісних ресурсів / Ю.Ю. Тупиця. – Львів: Изд. „Вища школа”, 1976. – 215 с.
85. Белашов Л.А. Економічні проблеми використання промислових відходів / [Л.А. Белашов, І.А. Жаркова, В.А. Санжаревський і др.]. – К.: Наук. Думка, 1983 . – 60 с.
86. Лобовиков Т.С. Економіка комплексного використання деревини / Т.С. Лобовиков, А.П. Петров. – М.: Изд. „Лісна промисловість”, 1976. – 168 с.
87. Матвеев, М.Е. Еколого-економічні основи комплексного використання ресурсів низької якості та уживаної деревини і деревинних відходів: дис. ... канд. екон. наук: 2001 / Матвеев Микола Едуардович. – Львів, 2001. – 209 с.
88. Петров, А.П. Економічне стимулювання комплексного використання лісного сировини / А.П. Петров – М.: Лісн. пром-сть, 1980. – 104 с.
89. Синякевич І.М. Стимулювання еколого-економічної ефективності лісового господарства / І.М. Синякевич, Ю.Ю. Тупиця. – Львів: Изд. „Вища школа”, 1985. – 175 с.

90. Фурдичко О.І. Резерви підвищення ефективності використання лісових ресурсів (на прикладі підприємств лісгосподарського комплексу): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук / О.І. Фурдичко. – Львів, 1991. – 17 с.
91. Использование низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок: справочник./ [Коперин Ф.И., Бухарин С.И., Коробков В.В. и др.]; под. ред. Коперина Ф.И. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 248 с.
92. Лащавер С.М. Изделия из отходов древесины / С.М. Лащавер – М.: Легкая индустрия, – 1972, 160 с.
93. Косивцов Ю.Ю. Совместный каталитический пиролиз торфа и полимерных отходов в присутствии хлоридов металлов подгруппы железа. [Электронный ресурс] : материалы IV-ой международной конференции „Энергия из биомассы” / Ю.Ю. Косивцов, Ю.В. Луговой, Э.М. Сульман – 80 Min/ 700 Mb. – К.: Ін-т технічної теплофізики, 2008. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; Adobe Acrobat Reader 7-9. – Назва з контейнера.
94. Шишко Ю.В. Снижение эмиссии парниковых газов при пиролизе биомассы. [Электронный ресурс] : материалы IV-ой международной конференции „Энергия из биомассы” / Шишко Ю.В., Шевченко Г.Л., Усенко А.Ю. и др. – 80 Min/ 700 Mb. – К.: Ін-т технічної теплофізики, 2008. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; Adobe Acrobat Reader 7-9. – Назва з контейнера.
95. Использование отходов лесозаготовок/ [Л.И. Качелкин, Н.П. Рошнов, В.В. Коробов, Г.М. Михайлов]. – М.:Изд-во „Лесная пром-сть”, 1965. – 323 с.
96. Синякевич И.М. Эколого-экономическая классификация лесных ресурсов/ И.М. Синякевич // Лесной журнал. – 1990. – №4 – С. 114-117.

- 97.Прокіп А.В. Оцінка потенціалу деревинних відходів для енергетичного використання/А.В. Прокіп // Науковий вісник НЛТУУ: зб. наук.-техн. праць. – 2009. – № 19.4. – С.97-103.
- 98.Україна у цифрах у 2009 році: короткий статистичний довідник/ [за ред. О.Г. Осауленка]. – К.: Державне підприємство “Інформаційно-аналітичне агентство”, 2010. – 257 с.
- 99.Статистичний щорічник України за 2008 рік/ [за ред. О.Г. Осауленка]. – К.: Державне підприємство “Інформаційно-аналітичне агентство”, 2009. – 566 с.
100. Статистичний щорічник України за 2003 рік/ [за ред. О.Г. Осауленка]. – К.: Консультант, 2004. – 631 с.
101. Статистичний щорічник України за 2006 рік/ [за ред. О.Г. Осауленка]. – К.: Консультант, 2007. – 650 с.
102. Долинский А.А. Пути и возможности комплексной модернизации коммунальной теплоэнергетики Украины. [Електронний ресурс]: материалы IV-ой международной конференции „Энергия из биомассы”/ А.А. Долинский – 80 Min/ 700 Mb. – К.: Ін-т технічної теплофізики, 2008. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; Adobe Acrobat Reader 7-9. – Назва з контейнера.
103. Гелетуха Г.Г. Состояние и перспективы развития технологий получения энергии из биомассы в Украине. [Електронний ресурс]: материалы IV-ой международной конференции „Энергия из биомассы” / Г.Г. Гелетуха. – 80 Min/ 700 Mb. – К.: Ін-т технічної теплофізики, 2008. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; Adobe Acrobat Reader 7-9. – Назва з контейнера.
104. Матвеев Ю.Б. Развитие биогазовых технологий в ЕС и перспективы Украины. [Електронний ресурс]: материалы IV-ой международной конференции „Энергия из биомассы” / Ю.Б Матвеев – 80 Min/ 700 Mb. –

- К.: Ін-т технічної теплофізики, 2008. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; Adobe Acrobat Reader 7-9. – Назва з контейнера.
105. Долинский А.А. Возможности замещения природного газа в Украине за счет местных видов топлива / А.А. Долинский, Г.Г. Гелетуха // Энергетическая политика Украины. – 2006. – №3-4. – С.60-65.
106. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 № 145-р./ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc>.
107. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України. [Електронний ресурс]/ Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – Режим доступу: <http://ive.org.ua/atlas.htm>. – Загол. з екрану.
108. Горбунов О.В. К концепции парадигмы биоэнергетики Украины. [Електронний ресурс]: материалы IV-ой международной конференции „Энергия из биомассы”/ О.В. Горбунов, Т.В. Вербицкая. – 80 Min/ 700 Mb. – К.: Ін-т технічної теплофізики, 2008. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; Adobe Acrobat Reader 7-9. – Назва з контейнера.
109. Лезнова В.Е. Потенциал биомассы для производства энергии в Украине. [Електронний ресурс]: материалы IV-ой международной конференции „Энергия из биомассы” / В.Е. Лезнова, Т.А. Железная. – 80 Min/ 700 Mb. – К.: Ін-т технічної теплофізики, 2008. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; Adobe Acrobat Reader 7-9. – Назва з контейнера.
110. Долинский А.А. Экономические показатели биоэнергетических проектов в Украине после повышения цен на газ 01.08.2010. [Електронний ресурс] : материалы VI-ой международной конференции „Энергия из биомассы”/ А.А. Долинский, Г.Г. Гелетуха – 80 Min/ 700 Mb. – К.: Ін-т технічної теплофізики, 2010. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. –

- Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; Adobe Acrobat Reader 7-9. – Назва з контейнера.
111. Жовмир Н.Н. Обзор современных технологий совместного сжигания биомассы и угля на электрических станциях зарубежных стран/ Н.Н. Жовмир, Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная, Н.В. Селенкин.// Промышленная теплотехника. – 2006. – т.28. – №2, С.75-85.
112. Гелетуха Г.Г. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Частина 2 / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна // Промышленная теплотехника. – 2010. – Т32. – №4. – С. 94 - 100.
113. Вольчин І. Електроенергетика України повинна „позеленіти”/ І.Вольчин, А. Потапов, Г. Гелетуха, М. Жовмір// Зелена енергетика. – 2003. – №3. – С.16-18.
114. Pisa L. The Biomass-Coal Co-Firing Technology For The Energy Production. [Електронний ресурс]: матеріали IV-ої міжнародної конференції „Енергія з біомаси”/ Mihaescu L., Prisecaru T., Oprea I та ін. – 80 Min/ 700 Mb. – К.: Ін-т технічної теплофізики, 2008. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; Adobe Acrobat Reader 7-9. – Назва з контейнера.
115. Дунаевская Н.И. Исследование выхода летучих из отходов деревообработки при скоростном нагреве применительно к процессам совместного сжигания с углем. . [Електронний ресурс]: матеріали IV-ої міжнародної конференції „Енергія з біомаси”/ Дунаевская Н.И., Засядько Я.И., Щудло Т.С. – 80 Min/ 700 Mb. – К.: Ін-т технічної теплофізики, 2008. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; Adobe Acrobat Reader 7-9. – Назва з контейнера.
116. Стратегічні напрямки та технічні рішення реконструкції діючих ТЕС України / Міністерство енергетики та електрифікації України. – Київ, 1994. – 104 с.



117. Корчевой Ю.П. Современное состояние угольных электростанций Украины и перспективы их развития/ Ю.П. Корчевой, А.Ю. Майстренко, А.К. Шидловский, С.В. Яцкевич// Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1996. – № 3. – С.3-8.
118. Корчевой Ю.П. Направления реконструкции пылеугольных ТЭС Украины / Ю.П. Корчевой, А.Ю. Майстренко, Н.В. Чернявский, С.В. Яцкевич // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1997. – № 5. – С.3-13.
119. „Про альтернативні джерела енергії” Закон України від 25 вересн. 2008// Відомості Верховної Ради України. – 2003. – N 24. – Ст.155.
120. Про альтернативні види палива” Закон України від 21 трав. 2009// Відомості Верховної Ради України. – 2000. – N 12. – Ст.94.
121. „Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива” Закон України від 21 трав. 2009 № 1391-17./ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1391-17>.
122. Гелетуха Г.Г. / Приняли, но не то (анализ законодательной основы для развития биоэнергетики в Украине)// Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная// Альтернативное топливо. – 2010. – №3(31). – С.26-28.
123. „Про затвердження Програми розвитку виробництва дизельного біопалива” Постанова Кабінету міністрів України від 22.12.2006 № 1774./ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1774-2006-%EF>.
124. „Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення "зеленого" тарифу” Закон України від 25 вер. 2008 № 601-17./ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=601-17>.
125. Про електроенергетику” Закон України від 27 лип 2010 № 2388-17/ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=575%2F97-%E2%F0>.

126. Стратегія протиріч/ А. Голубовська-Онісімова, С. Тарашук, А. Конеченков та ін.// Урядовий кур'єр. – 2006. – № 146. – С.5.
127. Гелету́ха Г.Г. Анализ основных положений "энергетической стратегии Украины на период до 2030 года" / Г.Г. Гелету́ха, Т.А. Железная // Промышленная Теплотехника. – 2006. – №5. – С.82-92.
128. Energy. Yearly statistics 2008/ Eurostat. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. – 2010. – 469p.
129. Eurostat: Share of renewable energy in gross final energy consumption. [Електронний ресурс]. – Режим доступу – <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdcc110&plugin=1>. – Загол. з екрану.
130. Energy, Transport and Environment Indicators./ Eurostat. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. – 2007. – 195p.
131. Морозова А. Европа сделала ставку на биомассу / А. Морозова, Г.Г. Гелету́ха // Коммунальное хозяйство. – №4. – 2007. – С.25-27.
132. Energy. Yearly statistics 2006./ Eurostat. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. – 2008. – 483p.
133. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan. / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://europa.eu/documents/comm/white\\_papers/pdf/com97\\_599\\_en.pdf](http://europa.eu/documents/comm/white_papers/pdf/com97_599_en.pdf). – Загол. з екрану.
134. Гелету́ха Г.Г. Біоенергетика в Австрії / Г.Г. Гелету́ха, Т.А. Железна // Зелена енергетика. – 2003. – №2. – С.18-19.
135. Eurostat newsrelease. Forest covers 42% of the EU27 land area. [Електронний ресурс]. – Режим доступу – [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_PUBLIC/1-20102008-BP/EN/1-20102008-BP-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/1-20102008-BP/EN/1-20102008-BP-EN.PDF). – Загол. з екрану.

136. Eurostat. Generation of waste [Електронний ресурс]. – Режим доступу – [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_wasgen&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasgen&lang=en). – Загол. з екрану.
137. Eurostat Supply, transformation, consumption - electricity - annual data [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://nui.epp.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_105a&lang=en](http://nui.epp.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_105a&lang=en). – Загол. з екрану.
138. Гелетуха Г.Г. Розвиток біоенергетики у Швеції / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна // Зелена енергетика. – №4. – 2002. – С.22.
139. Zhelyezna T. Bioenergy in Europe: state of the art and prospects. . [Електронний ресурс]: матеріали IV-ой міжнародної конференції „Енергія из биомассы”/ Т. Zhelyezna. – 80 Min/ 700 Mb. – К.: Ін-т технічної теплофізики, 2008. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; Adobe Acrobat Reader 7-9. – Назва з контейнера.
140. Danish Enegy Agency. Basic facts on Heat Supply in Denmark [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ens.dk/en-US/supply/Heat/Basic\\_facts/Sider/Forside.aspx](http://www.ens.dk/en-US/supply/Heat/Basic_facts/Sider/Forside.aspx). – Загол. з екрану.
141. Danish Enegy Agency. Large and small scale district heating plants [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ens.dk/en-US/supply/Heat/district\\_heating\\_plants/Sider/Forside.aspx](http://www.ens.dk/en-US/supply/Heat/district_heating_plants/Sider/Forside.aspx). – Загол. з екрану.
142. Гелетуха Г.Г. Розвиток біоенергетики в Данії. / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна // Зелена енергетика. – №2. – 2002. – С. 6-7.
143. Гелетуха Г.Г. Біоенергетика у Фінляндії / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна // Зелена енергетика. – №3. – 2002. – С.16.
144. Гелетуха Г.Г. Государственное регулирования развития биоэнергетики в странах Европы и США. (Ч. 1) / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Промышленная теплотехника". – 2002. – №4, С.81-88.
145. Гелетуха Г.Г. Біоенергетика в Німеччині / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна // Зелена енергетика. – 2003. – №3. – С.19-20.

146. Гелетуха Г.Г. Государственное регулирования развития биоэнергетики в странах Европы и США. (Ч. 2) / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Промышленная теплотехника". – 2002. – №5. – С.78-86.
147. Прокіп А.В. Визначення економічної доцільності отримання енергії деревообробним підприємством від спалювання власних деревних відходів/ А.В. Прокіп, М.Е. Матвєєв // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук.-техн. праць. – 2005. – № 15.2. – С. 183 – 192.
148. Дзюпин О. Энергозберігаюча технологія. Утилізація відходів з отриманням тепла / О.Дзюпин // Світ меблів і деревини. – 2000. – № .1-2 – С. 29-30.
149. Евграфова Н.Н. Курс физики для подготовительных отделений вузов/ Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган – 3-е изд., испр. и переаб.]– М.: Высш. шк.. – 1984. – 487 с.
150. Кречетов И.В. Сушка древесины / И.В. Кречетов: [2-е изд., переработ. доп.] – М.: Лесн. пром-сть. – 1972. – 440 с.
151. НТЦ „Биомасса” Энергосбережение и снижение выбросов CO<sub>2</sub> в деревообрабатывающей промышленности Украины. Установка древесносжигающих котлов мощностью 1,5 МВт и 5 МВт на предприятиях деревообрабатывающей промышленности Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biomass.kiev.ua/index.php?page=projects&project=wood&lang=ru>. – Загол. з екрану.
152. Чаплыгин С.М. Организационно-экономическое обоснование использования соломы в качестве топлива. [Электронный ресурс]: материалы IV-ой международной конференции „Энергия из биомассы” / С.М. Чаплыгин – 80 Min/ 700 Mb. – К.: Ін-т технічної теплофізики, 2008. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; Adobe Acrobat Reader 7-9. – Назва з контейнера.

Наукове видання

**ПРОКІП Андріан Володимирович**

**ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА  
ЗАМІЩЕННЯ НЕВІДНОВЛЮВАНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ  
БІОЛОГІЧНО ВІДНОВЛЮВАНИМИ**

*Монографія*

Формат 60 x 84/16. Ум.-друк. арк. 12,3  
Наклад 300 прим. Зам. № 137932

Видання ТзОВ «ЗУКЦ»  
вул. Драгоманова, 18, м. Львів, 79005  
Тел./факс: 0 (32) 298-32-86

Свідоцтво про внесення до державного реєстру ДК № 408 від 09.04.2001 р.