

**ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ
ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА
З ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ**

Монографія

***THE ECONOMIC FEASIBILITY OF SOLID BIOFUELS
PRODUCTION FROM ENERGY CROPS IN UKRAINE***

Monograph

**Харків
2023**

УДК 620.952: 662.63

Е 45

Рекомендовано вченою радою Науково-дослідного центру індустріальних проблем розвитку НАН України (протокол № 15 від 29.12.2022 р.)

Рецензенти: **Мірошниченко Денис Вікторович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Технології переробки нафти, газу і твердого палива» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (Харків);

Рудика Віктор Іванович – доктор економічних наук, заслужений працівник промисловості України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, професор кафедри менеджменту та бізнесу Харківського національного економічного університету ім. С. Кузнеця (Харків);

Бубенко Павло Трохимович – доктор економічних наук, професор, завідувач відділу проблем науково-технічного та економічного розвитку Північно-Східного наукового центру НАН і МОН України (Харків).

Авторський колектив:

Кизим М. О., Хаустова В. Є., Костенко Д. М., Котляров Є. І.,
Салашенко Т. І., Губарева І. О.

Е 45 Економічна доцільність виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні : кол. моногр. / [Кизим М. О., Хаустова В. Є., Костенко Д. М., Котляров Є. І., Салашенко Т. І., Губарева І. О.]. Харків : ФОП Лібуркіна Л. М., 2023. 242 с. Укр. мова

ISBN 978-617-7801-48-0

УДК 620.952: 662.63

ISBN 978-617-7801-48-0

© Колектив авторів, 2023
© ФОП Лібуркіна Л. М., 2023

Анотація

Монографію присвячено пошуку шляхів вирішення науково-прикладного завдання з оцінки й обґрунтування економічної доцільності вирощування енергетичних культур і виробництва з них твердого біопалива в Україні. У монографії досліджено економіко-правові передумови розвитку виробництва та використання твердого біопалива, зокрема, проведено структурну декомпозицію балансу твердого біопалива в енергетичних потоках національного господарства; визначено особливості нормативно-правового регулювання сфери виробництва та використання твердого біопалива в Україні, а також оцінено його енергетичний потенціал за видами та регіонами. Здійснено аналіз промислового вирощування енергетичних культур і способів виробництва твердого біопалива в Україні, у межах якого: класифіковано характеристики енергетичних культур; проаналізовано способи їх перетворення на тверде біопаливо; визначено сфери його використання; запропоновано структурно-організаційну модель біоенергетичного циклу. Розроблено обґрунтування економічної доцільності виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні, а саме: сформовано концептуальні положення з розвитку виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні; запропоновано методичні положення з планування техніко-економічних показників промислового комплексу виробництва твердого біопалива з них; розроблено та апробовано методичний підхід до оцінки інвестиційної привабливості проекту із виробництва твердого біопалива з енергетичних культур.

Монографія може бути корисною науковцям і практикам, які займаються проблематикою виробництва різних видів енергетичних продуктів.

Abstract

The monograph is devoted to finding ways to solve the scientific and applied task of assessing and substantiating the economic feasibility of growing energy crops and producing solid biofuels from them in Ukraine. The monograph examines the economic and legal prerequisites for the development of production and use of solid biofuels, in particular, a structural decomposition of the balance of solid biofuels in the energy flows of the national economy is made; the peculiarities of legal and normative regulation of the production and use of solid biofuels in Ukraine are determined, and its energy potential is estimated by type and region. An analysis of industrial cultivation of energy crops and methods of solid biofuel production in Ukraine is carried out, which includes: classification of energy crops characteristics; analysis of methods of their transformation into solid biofuels; determination of the areas of their use; a structural and organizational model of the bioenergy cycle is proposed. A substantiation for the economic feasibility of solid biofuels production from energy crops in Ukraine has been developed, namely: conceptual provisions for the development of solid biofuels production from energy crops in Ukraine have been formed; methodological provisions for planning the technical and economic indicators of the industrial complex for the production of solid biofuels from them have been suggested; a methodological approach to assessing the investment attractiveness of a project for the production of solid biofuels from energy crops has been developed and approbated.

The monograph can be useful for scientists and practitioners who deal with the issues of various types of energy production.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. Економіко-правові передумови розвитку виробництва та використання твердого біопалива в Україні	10
1.1. Структурний аналіз енергетичного балансу країни та визначення в ньому місця твердого біопалива	10
1.2. Нормативно-правове регулювання сфери виробництва та використання біопалива в Україні	42
1.3. Оцінка потенціалу виробництва твердого біопалива в Україні	59
Висновки до розділу 1	79
Список джерел до розділу 1	81
РОЗДІЛ 2. Аналіз промислового вирощування енергетичних культур і способів виробництва твердого біопалива	90
2.1. Класифікація та характеристика енергетичних культур як сировинної бази виробництва твердого біопалива	90
2.2. Аналіз способів виробництва твердого біопалива з енергетичних культур	106
2.3. Аналіз сфери застосування твердого біопалива і його технологічного забезпечення	128
Висновки до розділу 2	149
Список джерел до розділу 2	150
РОЗДІЛ 3. Обґрунтування економічної доцільності виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні	161
3.1. Концептуальні положення з розвитку виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні	161
3.2. Обґрунтування техніко-економічних характеристик промислового комплексу з вирощування біоенергетичних культур і виробництва твердого біопалива	177

3.3. Оцінка інвестиційної привабливості проекту із виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні	195
Висновки до розділу 3	210
Список джерел до розділу 3	212
ВИСНОВКИ.....	218
ДОДАТКИ	222

CONTENTS

INTRODUCTION	8
SECTION 1. The economic and legal prerequisites for the development of production and use of solid biofuels in Ukraine	10
1.1. The structural analysis of the country's energy balance and determination of the place of solid biofuels therein	10
1.2. The normative and legal regulation of the production and use of biofuels in Ukraine	42
1.3. Assessment of the potential for solid biofuel production in Ukraine	59
Conclusions to Section 1	79
References to section 1	81
SECTION 2. Analyzing the industrial cultivation of energy crops and methods of production of solid biofuels	90
2.1. Classification and characterization of energy crops as a raw material base for the production of solid biofuels	90
2.2. Analysis of methods for the production of solid biofuels from energy crops	106
2.3. Analysis of the sphere of application of solid biofuels, the related technological support	128
Conclusions to Section 2	149
References to section 2	150
SECTION 3. Substantiation of economic feasibility of production of solid biofuels from energy crops in Ukraine	161
3.1. The conceptual provisions for the development of solid biofuel production from energy crops in Ukraine	161
3.2. Substantiation of technical and economic characteristics of the industrial complex for the cultivation of bioenergy crops and the production of solid biofuels.....	177

3.3. Estimation of the investment attractiveness of the project for the production of solid biofuels from energy crops in Ukraine.....	195
Conclusions to Section 3	210
References to section 3.....	212
CONCLUSIONS	218
SUPPLEMENTS	222

Тріада енергетичних проблем національного господарства (енергетична залежність, низька енергоефективність, висока вуглецеємність) обумовляють необхідність пошуку нових видів енергетичних продуктів, здатних сприяти комплексному їх вирішенню. Загальносвітовою тенденцією в енергетиці є заміщення традиційних енергоресурсів відновлюваними джерелами енергії, які, з *одного боку*, зменшують залежність від перших, а з *іншого* – скорочують викиди шкідливих речовин в атмосферу. Наразі в багатьох країнах біомаса розглядається як перспективна енергетична сировина із нетто-негативними викидами парникових газів.

Україна має амбітні стратегічні цілі щодо розвитку відновлюваних джерел енергії: згідно з Енергетичною стратегією до 2035 р. їх частка в енергобалансі має становити 9 % у 2020 р. та 24 % – у 2035 р. Біопаливо є найвагомішим серед цих джерел, частка якого мала скласти 4,9 % у 2020 р. та 11,5 % – у 2035 р. Однак наразі означені цілі є важко досяжними: частка відновлюваних джерел енергії у фактичному енергобалансі склала 5,0 % у 2018 р. та 6,6 % – у 2020 р., а біопалива – 3,4 % та 4,8 % відповідно. У цих умовах набуває актуальності науково-прикладне завдання щодо оцінки й обґрунтування економічної доцільності вирощування енергетичних культур і виробництва з них твердого біопалива, вирішення якого покликане підвищити зацікавленість стейкхолдерів до розбудови цього напрямку відновлюваної енергетики.

У *першому розділі* монографії «Економіко-правові передумови розвитку виробництва та використання твердого біопалива» проведено структурну декомпозицію балансу твердого біопалива в енергетичних потоках національного господарства; визначено особливості нормативно-правового регулювання сфери виробництва та викорис-

тання твердого біопалива в Україні, а також оцінено його енергетичний потенціал за видами та регіонами.

У *другому розділі* «Аналіз промислового вирощування енергетичних культур і способів виробництва твердого біопалива в Україні» класифіковано характеристики енергетичних культур; проаналізовано способи їх перетворення на тверде біопаливо; визначено сфери використання твердого біопалива; запропоновано структурно-організаційну модель біоенергетичного циклу.

Третій розділ «Обґрунтування економічної доцільності виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні» присвячено розробці концептуальних положень із розвитку виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні; формуванню методичних положень щодо планування техніко-економічних показників промислового комплексу виробництва твердого біопалива з енергетичних культур; обґрунтуванню методичного підходу до оцінки інвестиційної привабливості проєкту із виробництва твердого біопалива з енергетичних культур.

1.1. Структурний аналіз енергетичного балансу країни та визначення в ньому місця твердого біопалива

Енергетика справляє вирішальний вплив на стан економіки країни та рівень життя населення. Глобалізація економіки, загострення конкурентної боротьби за енергетичні ресурси на світовому ринку зумовили підвищену увагу з боку як світової спільноти, так і урядів країн до проблеми енергозабезпечення. Ці питання разом із заощадженням й ефективним використанням усіх видів палива та енергії обумовлюють необхідність пошуку і застосування нових джерел енергії та технологій. Якщо донедавна пріоритетним напрямом вирішення енергетичних проблем була диверсифікація енергопостачань, то зараз у міжнародній та вітчизняній практиках спостерігається застосування комплексного підходу до диверсифікації енергетичних продуктів та енергетичних потоків від поставок первинної енергії до її кінцевого споживання. Такий підхід сприяє прорості руху енергетичних продуктів і потоків.

Оснoву аналізу енергетичних потоків складає балансовий метод, який передбачає складання енергетичних балансів як у межах національного кордону загалом, так і енергетичного продукту та енергетичного потоку. Складовими енергетичного балансу є визначення первинної енергопропозиції, використання первинних енергоресурсів на перетворення в енергетичному секторі та кінцеве енергоспоживання.

Основними енергетичними проблемами України на сьогодні є дефіцит первинних паливно-енергетичних ресурсів та, як наслідок, посилення зовнішньої енергетичної залежності. Також значущими проблемами для України в енергетичній сфері залишаються високі

енергоємність і вуглецеємність національної економіки, що свідчить про неефективність енергокористування та відставання України від розвинених країн на шляху декарбонізації.

У таких умовах особливого значення набувають відновлювані джерела енергії, які можуть сприяти вирішенню кожної із перелічених трьох проблем. Основний акцент у розбудові відновлюваних джерел енергії робиться на негарантованих їх видах (сонячній та вітровій енергії), тоді як органічні види (біопаливо) залишаються на другорядному плані. Водночас саме останні здатні стати джерелом самостійного гарантованого забезпечення різних видів енергетичних потреб.

Вищезазначене обумовлює необхідність дослідження біопалива як перспективного джерела енергозабезпечення майбутнього. Основна увага в роботі приділена твердому біопаливу, яке здатне замінити спалювання шкідливих викопних органічних видів енергоресурсів, (вугілля, сланців тощо).

Спираючись на балансовий метод, у роботі пропонується науково-аналітичне забезпечення із структурної декомпозиції твердого біопалива в енергетичних потоках національного господарства, модель якого наведено на *рис. 1.1*.

Використання наведеної на *рис. 1.1* моделі дозволить визначати ступінь проникнення твердого біопалива за сферами господарювання та напрямки його забезпечення та використання.

На першому етапі декомпозиції необхідно провести аналіз енергетичних потоків на загальному рівні, визначити джерела забезпечення та напрямки розподілу енергетичних потреб.

У *табл. 1.1* наведено динаміку енергетичних потреб і джерел їх забезпечення України у 2000–2020 рр.

Із даних *табл. 1.1* видно, що в 2020 р. порівняно з 2000 р. та 2010 р., а також 2015 р. спостерігалось зниження темпів приросту за всіма показниками.

На *рис. 1.2* наведено загальний енергетичний потік України у 2020 р.

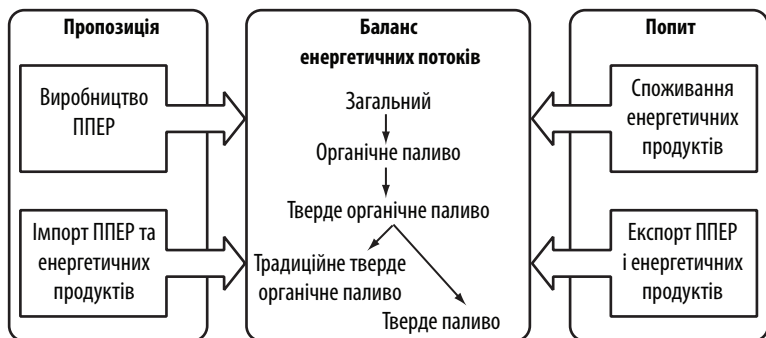


Рис. 1.1. Аналітична модель структурної декомпозиції балансу твердого біопалива в енергетичних потоках національного господарства

Джерело: авторська розробка

Як видно з рис. 1.2, у 2020 р. загальна внутрішня енергопропозиція складала 86363 тис. т н. е., основою формування якої було власне виробництво – 57017 тис. т н. е. (66 %), тоді як частки імпорту й експорту в її структурі дорівнювали 35,5 % та (-1,5 %) відповідно. Щодо споживання, то енергетичним сектором було спожито 44,7 %, а кінцевими споживачами – 55,3 %. Найкрупнішими споживачами в енергетичному секторі були електростанції – 52,6 %, а в секторі кінцевого споживання – побутові споживачі – 28,5 % від загальної енергопропозиції.

На другому етапі аналізуються енергетичні потоки за органічним паливом, складовою яких є і біопаливо.

На рис. 1.3 наведено динаміку виробництва органічного палива в Україні за видами.

Рис. 1.3 свідчить, що у 2000–2020 рр. динаміка виробництва органічного палива демонструвала тенденцію до зниження. Відносно 2000 р. обсяги виробництва впали на 35,8 %, відносно 2010 р. – на 34,5 %, відносно 2015 р. – на 5,2 %. За видами палива можна визначити такі тенденції: обсяги виробництва вугілля та нафти зменшилися на 64,9 % та 33,2 % відповідно, тоді як обсяги виробництва природного газу та біопалива, та відходів зросли на 5,7 % та 1607,7 % відповідно порівняно із 2000 р. Основним видом органічного палива в енергетич-

Таблиця 1.1

Динаміка енергетичних потреб і джерел їх забезпечення України у 2000–2020 рр., тис. т н. е.

Показник	Рік										Темп приросту, %		
	2000	2005	2010	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2020– 2000	2020– 2010	2020– 2015
Виробництво	76235	78929	78712	76928	61614	66323	58863	60883	60452	57017	-25,2	-27,6	-7,5
Імпорт	64876	72340	51260	34437	31575	29152	35145	33847	34708	30655	-52,7	-40,2	-2,9
Експорт	7242	12589	9278	6967	1447	1427	1944	1464	1841	1246	-82,8	-86,6	-13,9
Зміна запасів	–	2549	11888	1417	-1529	492	-2351	526	-3840	-32	–	-100,3	-97,9
Перетворення енергетичним сектором	61067	57939	58304	44223	39259	42734	39551	42034	39694	38590	-36,8	-33,8	-1,7
Кінцеве споживання	72534	82916	74004	61460	50831	51649	49911	51458	49665	47773	-34,1	-35,4	-6,0

Джерело: складено за матеріалами [1–6]

ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА ...

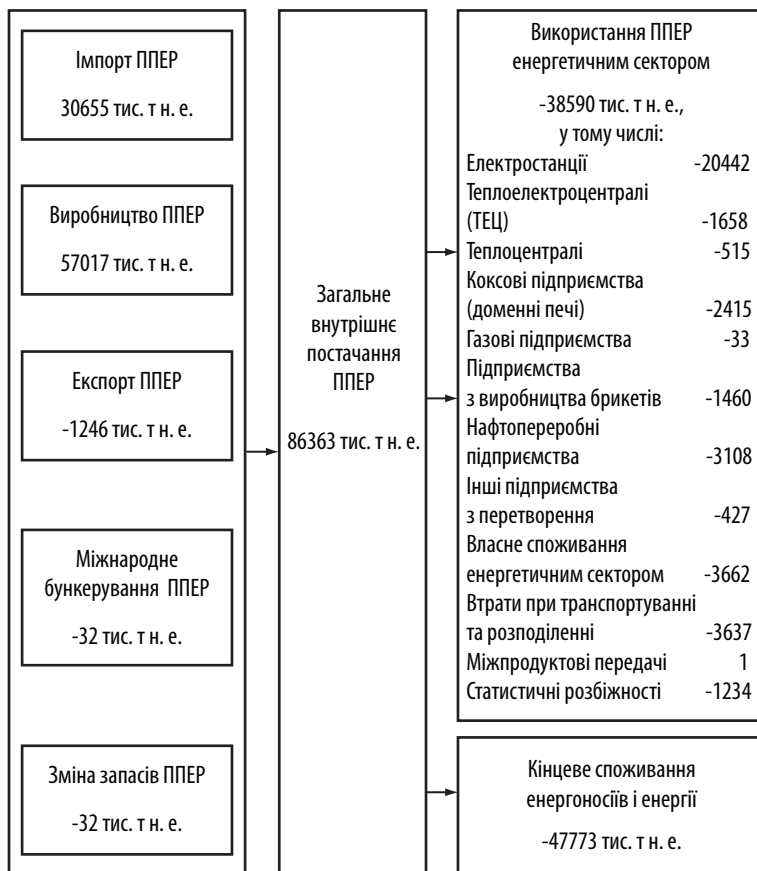
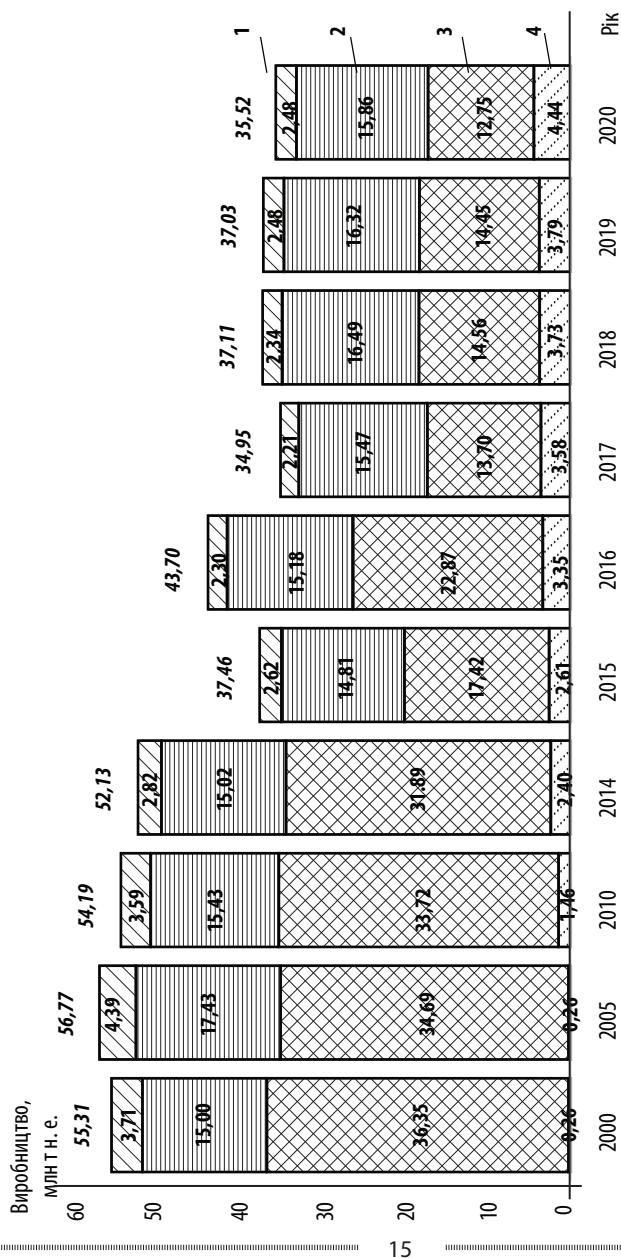


Рис. 1.2. Загальний енергетичний потік України у 2020 р.

Джерело: складено за матеріалами [1–6]

ному еквіваленті, що вироблялося в Україні, був природний газ, його частка в 2020 р. склала 44,6 %, на другому місці за видобутком розташовувалося вугілля із часткою 35,9 %, частка біопалива та відходів склала 12,5 %, а частка нафти та газового конденсату – 7,0 %.

На рис. 1.4 наведено динаміку використання органічного палива в Україні за видами.

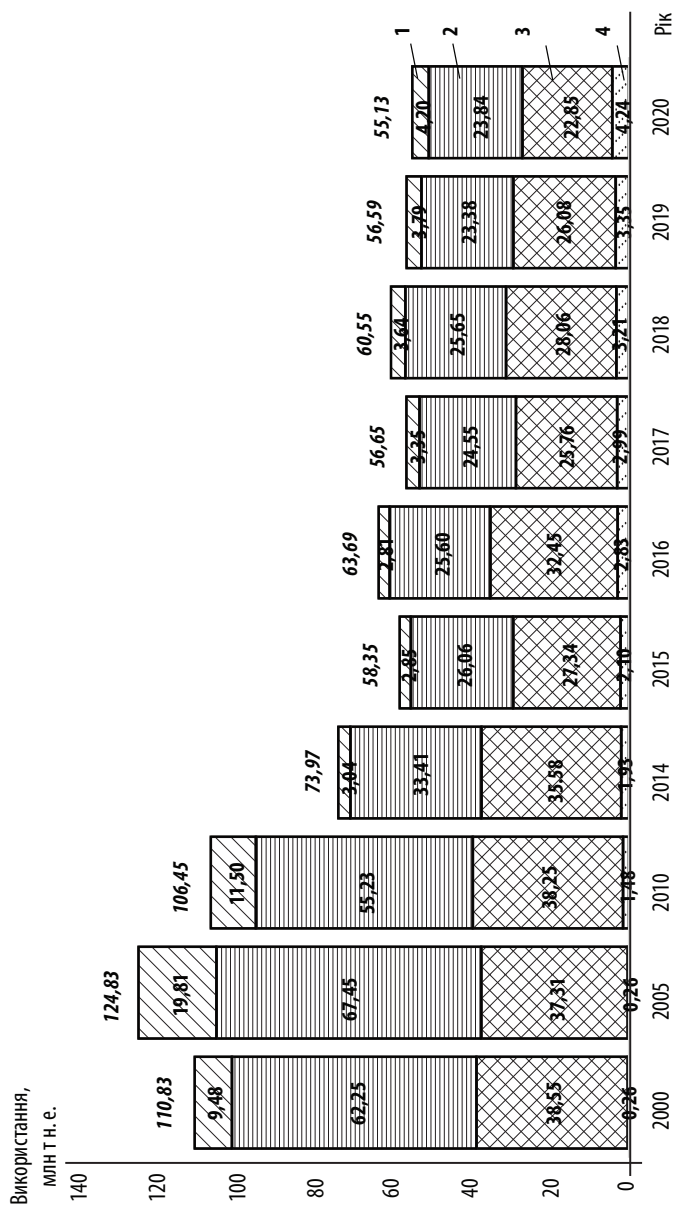


Умовні позначення:

1 – нафта та газовий конденсат; 2 – природний газ; 3 – вугілля; 4 – біопаливо та відходи

Рис. 1.3. Динаміка виробництва органічного палива в Україні в 2000–2020 рр.

Джерело: складено за матеріалами [1–13]



Умовні позначення:

1 – нафта та газовий конденсат; 2 – природний газ; 3 – вугілля; 4 – біопаливо та відходи

Рис. 1.4. Динаміка використання органічного палива в Україні у 2000–2020 рр.

Джерело: складено за матеріалами [1–13]

Із рис. 1.4 видно, що динаміка використання органічного палива в Україні також демонструвала тенденцію до зниження. Спостерігалося зменшення обсягів використання за всіма видами органічного палива, окрім біопалива та відходів. Відносно 2000 р. обсяги споживання впали на 50,1 %, відносно 2010 р. – на 48,2 %. За видами палива можна визначити такі тенденції: обсяги використання зменшилися на 40,7 % та 61,7 %, 55,7 % для вугілля, природного газу та нафти відповідно, але збільшилися на 1530,8 % для біопалива та відходів порівняно із 2000 р. У 2020 р. структура використання органічного палива виглядала таким чином: природний газ – 43,2 %, вугілля – 41,5 %, нафта і газовий конденсат – 7,6 %, біопаливо та відходи – 7,7 %.

Динаміку експорту органічного палива в Україні у 2000–2020 рр. наведено на *рис. 1.5*.

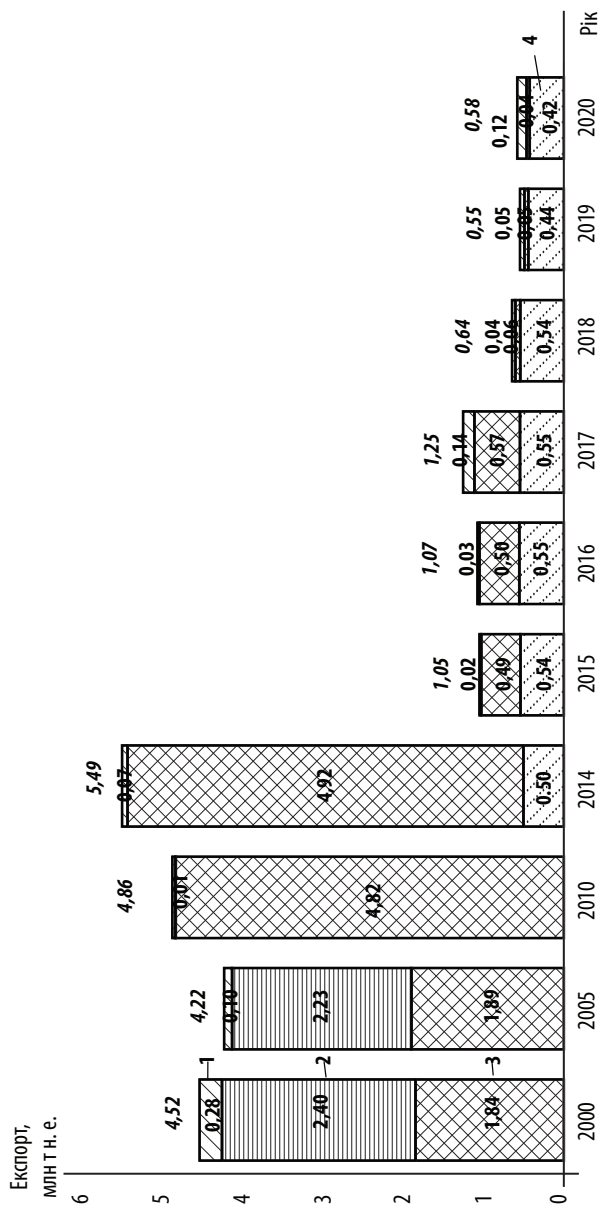
Динаміка експорту органічного палива з України демонструвала розворотний тренд. До 2014 р. спостерігалось зростання, а з 2014 р. – різкий спад обсягів експорту. Загальний обсяг експорту органічного палива з України у 2020 р. склав лише 0,58 млн т н. е.

Динаміку імпорту органічного палива в Україні у 2000–2020 рр. наведено на *рис. 1.6*.

Динаміка імпорту органічного палива України мала сталу тенденцію до зниження. У період з 2000 р. по 2005 р. спостерігалось зростання обсягів імпорту органічного палива. У 2020 р. обсяг імпорту органічного палива України склав 20,29 млн т н. е., з яких 54,4 % припадало на вугілля, яке було основним імпортованим видом органічного палива, тоді як у 2000 р. частка імпорту вугілля складала лише 6,8 %. Загалом за період, що аналізується, спостерігалось зменшення імпорту нафти та газового конденсату, та природного газу та збільшення обсягів імпорту вугілля, біопалива та відходів.

На *рис. 1.7* наведено структуру поставок органічного палива в Україні.

Структура поставок органічного палива в Україні у 2020 р. мала такий вигляд: власне виробництво – 63,65 %, імпорт – 36,35 %. Структура поставок органічного палива за видами в 2020 р.: нафти та газо-

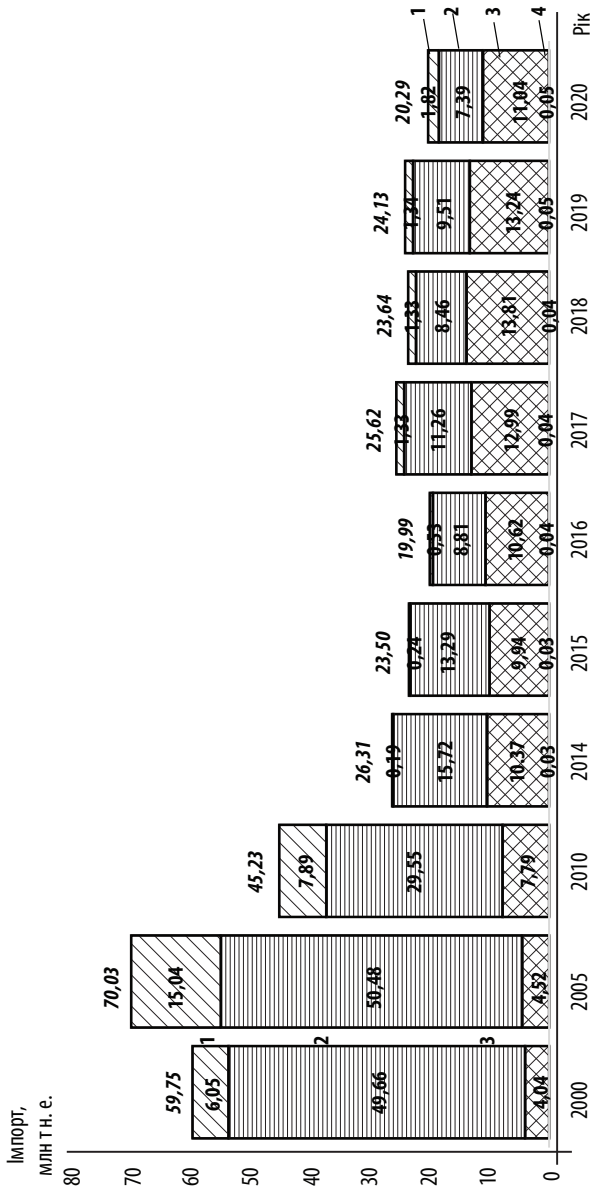


Умовні позначення:

1 – нафта та газовий конденсат; 2 – природний газ; 3 – вугілля; 4 – біопаливо та відходи

Рис. 1.5. Динаміка експорту органічного палива з України в 2000–2020 рр.

Джерело: складено за матеріалами [1–14]

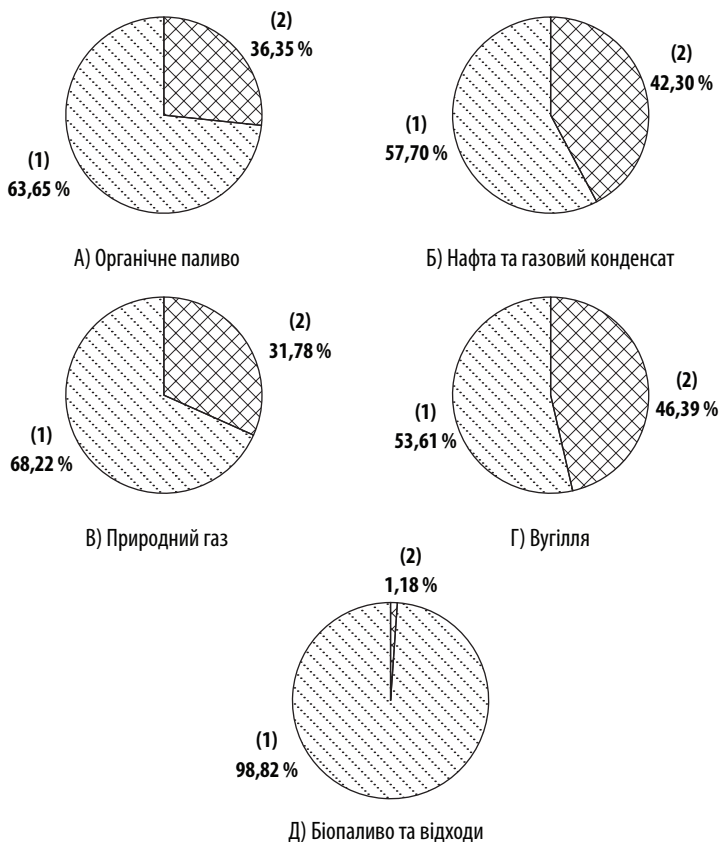


Умовні позначення:

1 – нафта та газовий конденсат; 2 – природний газ; 3 – вугілля; 4 – біопаливо та відходи

Рис. 1.6. Динаміка імпорту органічного палива в Україну в 2000–2020 рр.

Джерело: складено за матеріалами [1–14]



Умовні позначення: 1 – використання; 2 – експорт

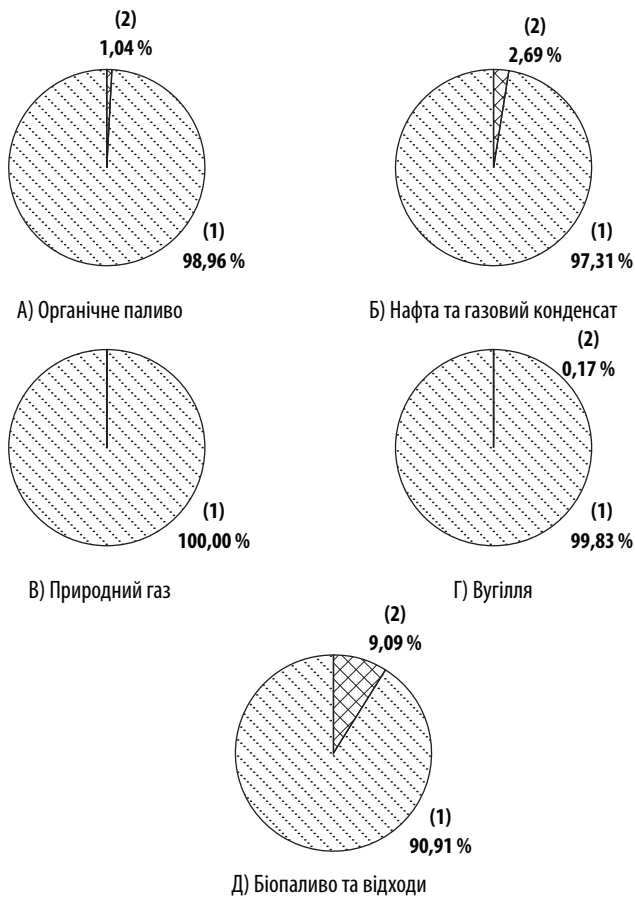
Рис. 1.7. Структура поставок органічного палива в Україні за видами у 2020 р.

Джерело: складено за матеріалами [1–14]

вого конденсату: власне виробництво – 57,7 %, імпорт – 42,3 %; природного газу: власне виробництво – 68,22 %, імпорт – 31,78 %; вугілля: власне виробництво – 53,61 %, імпорт – 46,39 % та біопалива та відходів: власне виробництво – 98,82 %, імпорт – 1,18 %.

ВИСНОВКИ

На рис. 1.8 наведено структуру використання органічного палива в Україні за видами.



Умовні позначення: 1 – використання; 2 – експорт

Рис. 1.8. Структура використання органічного палива в Україні за видами у 2020 р.

Джерело: складено за матеріалами [1–14]

Структура використання органічного палива в Україні у 2020 р. виглядала таким чином: використання – 98,96 %, експорт – 1,04 %. Структура поставок органічного палива за видами в 2020 р.: нафти та газового конденсату: використання – 97,31 %, експорт – 2,69 %; природного газу: використання – 100 %, експорт – 0 %; вугілля: використання – 99,83 %, експорт – 0,17 % та біопалива та відходів: використання – 90,91 %, експорт – 9,09 %.

На *рис. 1.9* наведено енергетичний потік органічного палива України.

Із *рис. 1.9* видно, що у структурі загальної пропозиції органічного палива України у 2020 р. був майже рівномірний розподіл власних та імпортованих джерел енергозабезпечення: власне виробництво – 35522 тис. т н. е. (64,4 %), імпорт – 20290 тис. т н. е. (36,8 %). Щодо споживання, поставленого органічного палива, то енергетичним сектором було спожито 61,6 %, а кінцевими споживачами – 38,4 %. Найбільше в енергетичному секторі органічного палива було спожито електростанціями – 10403 тис. т н. е. та теплоцентралями – 6791 тис. т н. е.

Таким чином, на етапі аналізу енергетичних потоків за органічним паливом можна зробити такі висновки. Хоча основним джерелом енергозабезпечення було власне виробництво, але існував гострий ресурсний та виробничий дефіцит вуглеводнів, причиною такої ситуації стала структурна невідповідність використання палива енергетичному потенціалу.

Тому мала місце висока імпортна залежність ключових видів органічного палива – вугілля, нафти та природного газу. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є заміщення імпортованих обсягів органічного палива на біопаливо, отримане шляхом вирощування енергетичних культур.

На третьому етапі відбувається аналіз енергетичних потоків твердого органічного палива, який включає структурний аналіз твердого традиційного палива та твердого біопалива. До твердого палива буде віднесено традиційне тверде паливо (вугілля, торф, брикети, ін.) та тверде біопаливо.

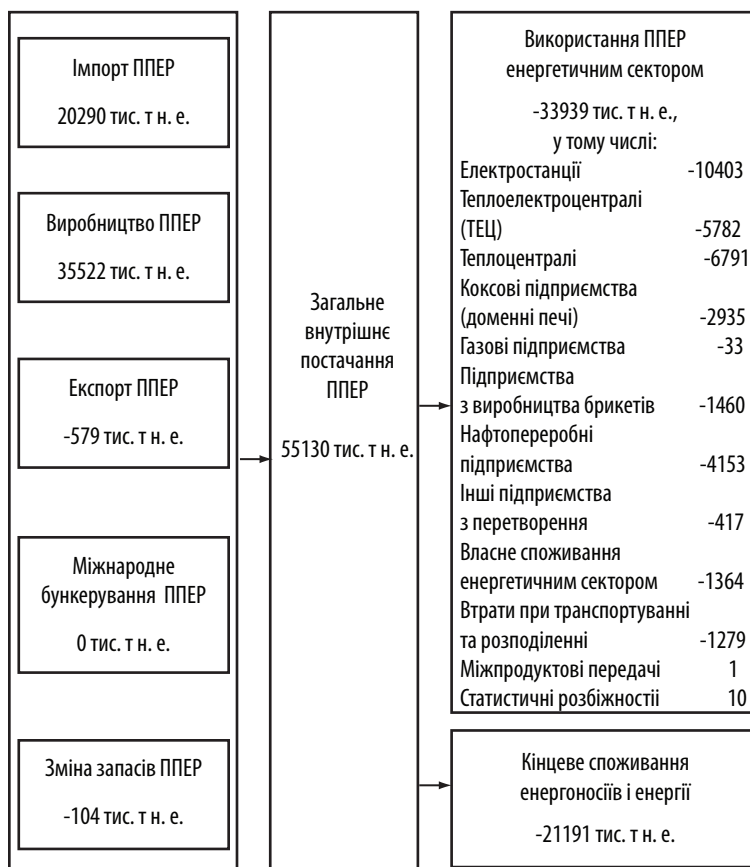


Рис. 1.9. Енергетичний потік органічного палива України у 2020 р.

Джерело: розроблено автором на основі [1–6]

На рис. 1.10 наведено енергетичний потік твердого палива України, тоді як на рис. 1.11 і рис. 1.12 подано результати його декомпозиції за твердим традиційним паливом і твердим біопаливом.

Виходячи з рис. 1.10 основною складовою формування загальної пропозиції твердого палива в Україні в 2020 р. було власне виробництво – 16284,3 тис. т н. е. (62,0 %). Частка імпорту в структурі пропо-

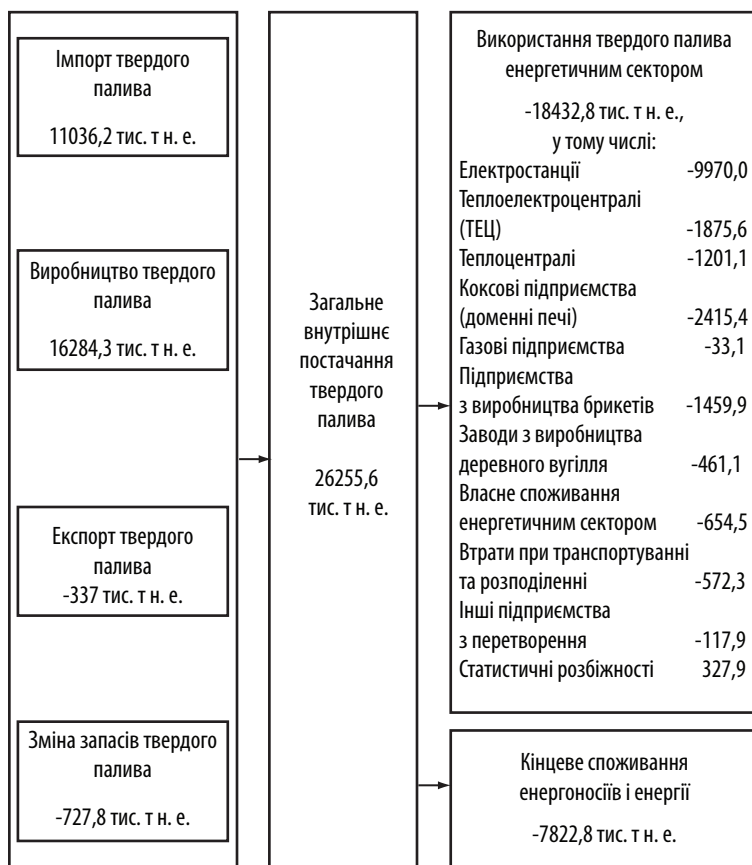


Рис. 1.10. Загальний енергетичний потік твердого органічного палива в Україні у 2020 р.

Джерело: розроблено автором на основі [1–5; 15–16]

зиції твердого палива на українському ринку відповідно склала 43,7 %. Загальне внутрішнє постачання твердого палива склало 26255,6 тис. т н. е. Щодо споживання, поставленого твердого палива, то енергетичним сектором було спожито 70,2 %, а кінцевими споживачами – 29,8 %. Найбільше в енергетичному секторі твердого палива було спожито

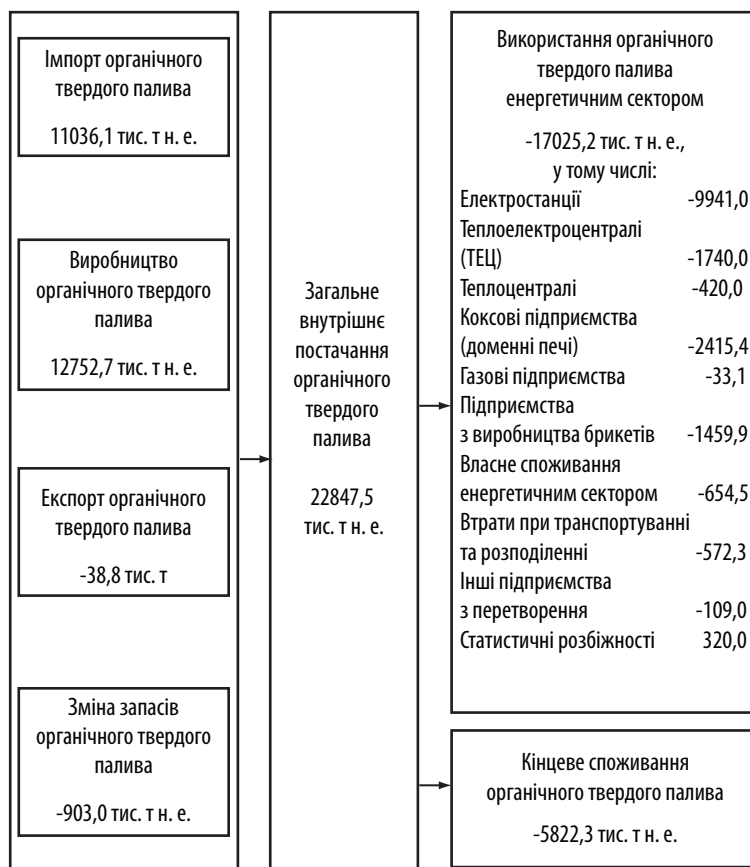


Рис. 1.11. Енергетичний потік твердого традиційного палива України у 2020 р.

Джерело: розроблено автором на основі [1–5; 15–16]

електростанціями – 9970 тис. т н. е. та коксовими підприємствами (доменними печами) – 2415,4 тис. т н. е.

Із рис. 1.11 видно, що пропозиція на українському ринку твердого традиційного палива формувалася таким чином: частка власного виробництва – 55,8 %, а частка імпорту – 48,3 %. Загальне внутріш-

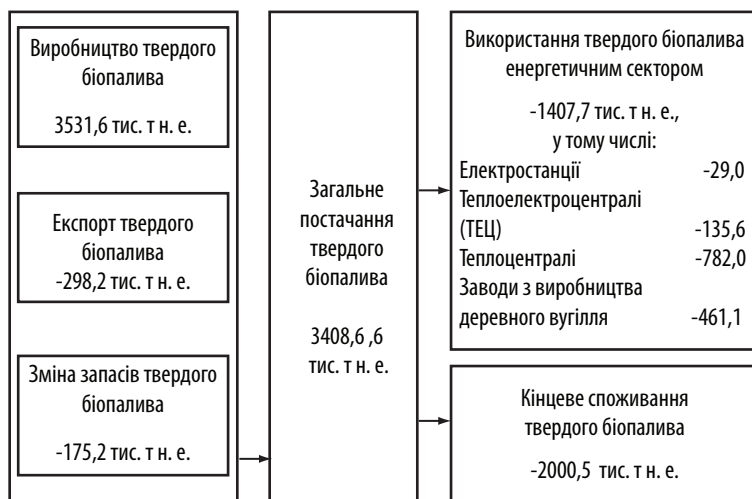


Рис. 1.12. Енергетичний потік твердого біопалива України у 2020 р.

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15; 16]

не постачання традиційного твердого палива склало 22847,5 тис. т н. е., з яких 74,5 % було спожито енергетичним сектором і лише 25,5 % – кінцевими споживачами. Найбільше в енергетичному секторі твердого традиційного палива було спожито електростанціями – 9941 тис. т н. е. та коксовими підприємствами (доменними печами) – 2415,4 тис. т н. е.

Із рис. 1.12 видно, що в енергетичному потоці твердого біопалива України спостерігалася ситуація, коли кінцеве споживання перевищувало використання твердого біопалива енергетичним сектором. Пропозиція на ринку твердого біопалива України формувалася за рахунок власного виробництва. Що стосується загального постачання твердого біопалива, то в 2020 р. воно склало 3408,6 тис. т н. е., з яких 58,7 % було спожито кінцевими споживачами та 41,3 % енергетичним сектором. Основними споживачами твердого біопалива в енергетичному секторі були теплоцентралі – 782 тис. т н. е. та заводи з виробництва деревного вугілля – 461,1 тис. т н. е.

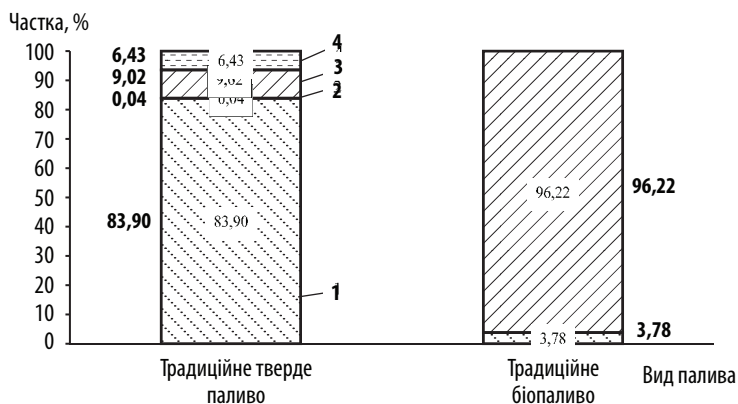
Дані, що характеризують кінцеве споживання твердого палива в Україні, наведено в *табл. 1.2* та на *рис. 1.13–1.14*.

Таблиця 1.2

Кінцеве споживання твердого палива в Україні у 2020 р., тис. т н. е.

Галузь або призначення	Вид палива		
	Традиційне тверде паливо	Тверде біопаливо	Загалом
Промисловість	4884,8	75,6	4960,4
Транспорт	2,6	–	2,6
Інші	560,3	1924,9	2485,2
Неенергетичне використання	374,6	–	374,6
Усього	5822,3	2000,5	7822,8

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15–16]

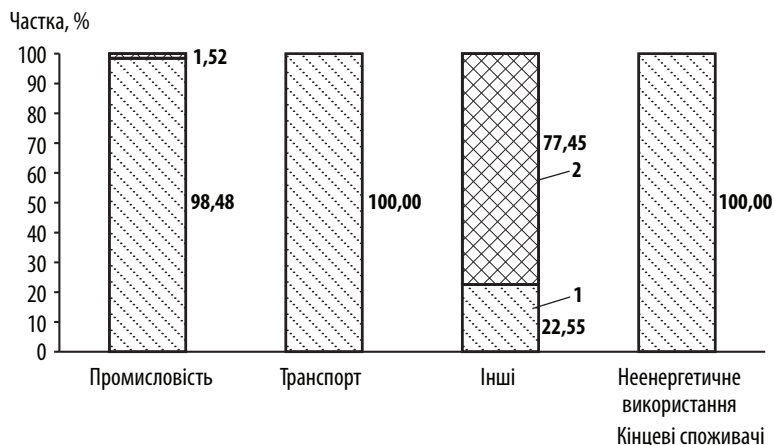


Умовні позначення:

1 – промисловість; 2 – транспорт; 3 – інші; 4 – неенергетичне використання

Рис. 1.13. Структура кінцевого споживання твердого палива за групами споживачів в Україні у 2020 р.

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15; 16]



Умовні позначення:

1 – традиційне тверде паливо; 2 – тверде біопаливо

Рис. 1.14. Структура кінцевого споживання основними групами споживачів твердого палива в Україні у 2020 р.

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15; 16]

Виходячи із даних табл. 1.2 найбільший обсяг твердого палива, а саме 63,4 %, споживала промисловість. Інші кінцеві споживачі розташувалася на другому місці, споживши 31,8 % твердого палива. Третю позицію в кінцевому споживанні твердого палива займало неенергетичне використання – 4,8 %. Найменше, а саме 0,03 % твердого палива використано транспортом. Щодо структури кінцевого споживання традиційного твердого палива, то частка промисловості в 2020 р. складала 83,9 %, інших кінцевих споживачів – 9,62 %, неенергетичного використання – 6,43 % та транспорту – 0,04 %.

Структура кінцевого споживання твердого біопалива у 2020 р. мала такий вигляд: промисловість – 3,78 %, інші кінцеві споживачі – 96,22 %.

Основним видом твердого палива, що використовувався в промисловості в 2020 р., стало традиційне тверде паливо, його частка складала

Розділ 1. Економіко-правові передумови розвитку виробництва та використання ...

98,48 %, частка твердого біопалива – 1,52 %. Інші кінцеві споживачі у 2020 р. споживали переважно тверде біопаливо, його частка складала 77,45 %, отже, частка традиційного твердого палива дорівнювала 22,55 %. У структурах споживання твердого палива за видами в транспортному секторі та у сфері неенергетичного використання в 2020 р. всі 100 % прийшлися на традиційне тверде паливо (рис. 1.14).

У табл. 1.3 та на рис. 1.15–1.16 наведено кінцеве споживання основних видів твердого палива в промисловості.

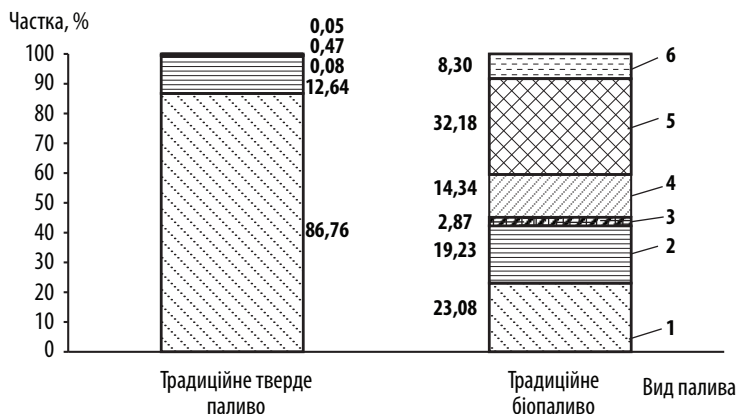
Таблиця 1.3

**Кінцеве споживання основних видів твердого палива
в промисловості України у 2020 р., тис. т н. е.**

Промисловість	Вид палива		
	Традиційне тверде паливо	Тверде біопаливо	Загалом
Всього	4884,77	75,57	4960,34
у тому числі:			
▪ чорна і кольорова металургія	4237,99	17,44	4255,43
▪ гірничовидобувна (за виключенням палива) та виробництво неметалічних мінеральних продуктів	617,49	14,53	632,02
▪ машинобудування	3,99	2,17	6,16
▪ харчова та тютюнова	22,98	10,84	33,82
▪ деревообробна та вироби з деревини	0	24,32	24,32
Інші види промисловості	2,32	6,27	8,59

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15–16]

Із табл. 1.3 видно, що загалом всі види промисловості у 2020 р. спожили 4960,34 тис. т н. е. твердого палива. Найбільше твердого палива в 2020 р. серед видів промислової діяльності спожила чорна та кольорова металургія – 4255,43 тис. т н. е. Гірничовидобувна промисловість



Умовні позначення:

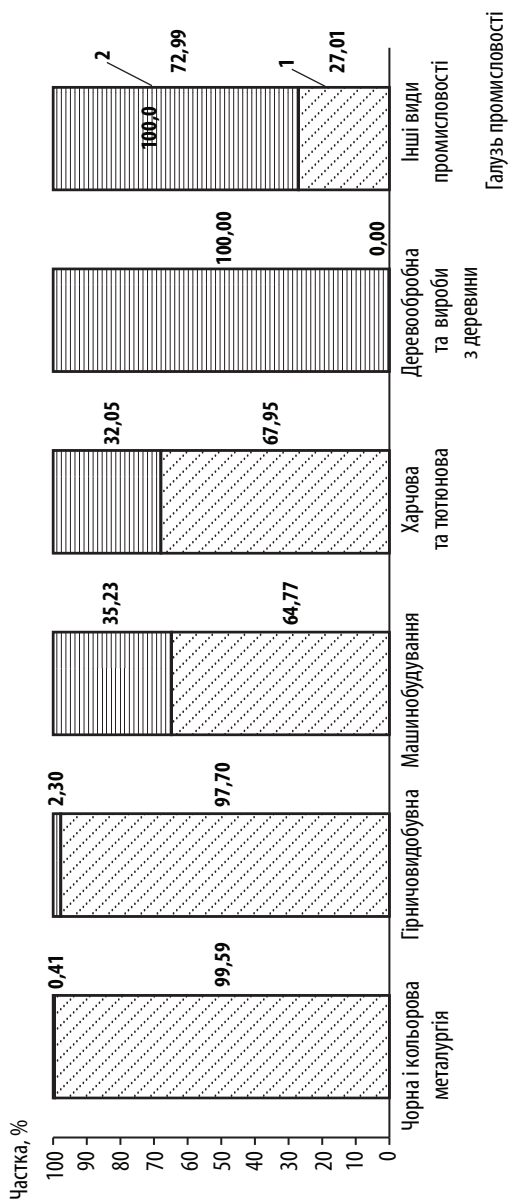
1 – чорна та кольорова металургія; 2 – гірничовидобувна (за виключенням палива) та виробництво неметалічних мінеральних продуктів; 3 – машинобудування; 4 – харчова та тютюнова; 5 – деревообробна та вироби з деревини; 6 – інші види промисловості

Рис. 1.15. Структура кінцевого споживання твердого палива за видами в промисловості у 2020 р.

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15; 16]

і виробництво неметалічних мінеральних продуктів разом розташувалися на другому місці із обсягом споживання 632,02 тис. т н. е. Найменше серед видів промисловості у 2020 р. твердого палива було спожито деревообробною промисловістю – 6,16 тис. т н. е.

Із рис. 1.15 видно, що в структурі кінцевого споживання традиційного твердого палива за видами промисловості основна частка припала на: чорну та кольорову металургію – 86,76 %, гірничовидобувну (за виключенням палива) та виробництво неметалічних мінеральних продуктів – 12,64 %, харчову та тютюнову – 0,47 %, машинобудування – 0,08 %, та інші – 0,5 %. Тверде біопаливо споживалося всіма видами промисловості, а саме в: деревообробній та виробач з деревини – 32,18 %, чорній та кольоровій металургії – 23,08 %, гірничовидобувній (за виключенням палива) та виробництва неметалічних мінеральних



Умовні позначення: 1 – традиційне тверде паливо; 2 – тверде біопаливо

Рис. 1.16. Структура кінцевого споживання видами промисловості твердого палива в Україні у 2020 р.

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15; 16]

продуктів – 19,23 %, харчовій та тютюновій – 14,34 %, машинобудуванні – 2,87 %, та в інших видах – 8,3 %.

На рис. 1.16 наведено структуру кінцевого споживання твердого палива за видами промисловості.

У 2020 р. структура кінцевого споживання твердого палива чорною та кольоровою металургією мала такий вигляд: традиційне тверде паливо – 99,59 %, тверде біопаливо – 0,41 %. Основним видом твердого палива в структурі кінцевого споживання гірничовидобувної промисловості у 2020 р. стало традиційне тверде паливо із часткою 97,7 %, частка твердого біопалива склала лише 2,3 %. У структурі кінцевого споживання в машинобудівній промисловості 64,77 % прийшлося на традиційне тверде паливо та 35,23 % – на тверде біопаливо. У 2020 р. тверде біопаливо було основним видом твердого палива, яке споживалося в деревообробній промисловості, його частка склала 100 %. У харчовій та тютюновій промисловості 67,95 % в структурі споживання твердого палива склало традиційне тверде паливо та 32,05 % тверде біопаливо. Структура кінцевого споживання твердого палива в інших видах промисловості така: традиційне тверде паливо – 27,01 %, тверде біопаливо – 72,99 %.

Дані, що характеризують кінцеве споживання твердого палива в транспортному секторі, наведено в *табл. 1.4*.

Таблиця 1.4

**Кінцеве споживання твердого палива в транспортному секторі
України у 2020 р.**

Транспортний сектор	Обсяг кінцевого споживання, тис. т н е		
	Традиційне тверде паливо	Тверде біопаливо	Загалом
Всього	2,63	–	2,63
у тому числі:			
залізничний	2,63	–	2,63

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15; 16]

Із табл. 1.4 видно, що загалом транспортним сектором в 2020 р. було спожито 2,63 тис. т н. е. твердого палива. Тверде біопаливо в цьому секторі не використовувалося. Основним споживачем твердого палива серед видів транспорту в 2020 р. був залізничний транспорт, який спожив – 2,63 тис. т н. е. (100 %).

У табл. 1.5 та на рис. 1.17 та 1.18 наведено дані, що характеризують кінцеве споживання твердого палива за групою інших споживачів України.

Таблиця 1.5

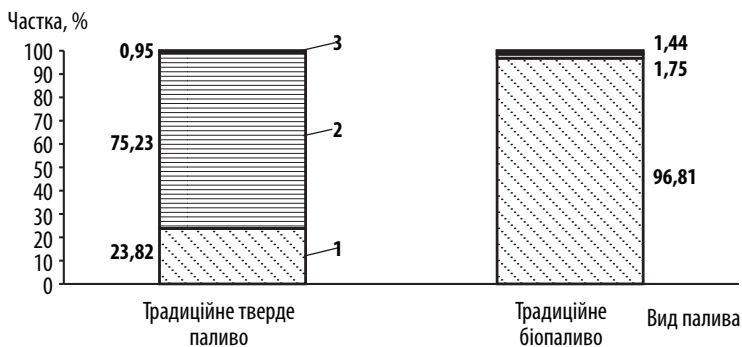
Кінцеве споживання твердого палива за групою інших споживачів України у 2020 р.

Інші кінцеві споживачі	Обсяг кінцевого споживання, тис. т н. е.		
	Традиційне тверде паливо	Тверде біопаливо	Загалом
Всього	560,28	1924,93	2485,21
у тому числі:			
побутовий сектор	133,46	1863,50	1996,96
торгівля та послуги	421,52	33,77	455,29
сільське господарство та рибальство	5,30	27,66	32,96

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15; 16]

Загалом інші кінцеві споживачі в 2020 р. спожили 2485,21 тис. т н. е. твердого палива. Найбільше серед інших кінцевих споживачів твердого палива було спожито побутовим сектором – 1996,96 тис. т н. е., найменше твердого палива спожили сільське господарство та рибальство – 32,96 тис. т н. е.

Рис. 1.17 свідчить, що в 2020 р. у структурі кінцевого споживання традиційного твердого палива за групою інших споживачів 75,23 % займала сфера торгівлі та послуги, 23,82 % – побутовий сектор та 0,95 % – сільське господарство і рибальство. Основним споживачем твердого біопалива у 2020 р. став побутовий сектор із часткою 96,81 %,



Умовні позначення:

1 – побутовий сектор; 2 – торгівля та послуги; 3 – сільське господарство і рибальство

Рис. 1.17. Структура кінцевого споживання твердого палива за групою інших споживачів у 2020 р.

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15; 16]

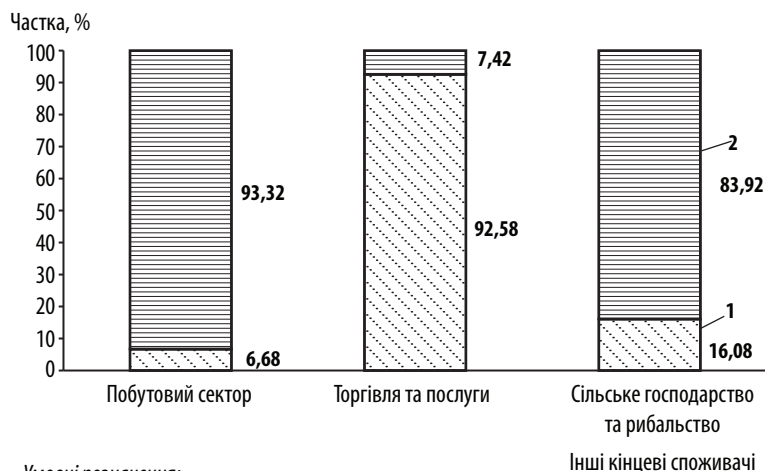
тоді як частка сільського господарства і рибальства складала 1,44 %, сфери торгівлі та послуг – 1,75 %.

Із рис. 1.18 видно, що основним видом твердого палива, що споживався побутовим сектором у 2020 р., стало тверде біопаливо, його частка складала 93,32 %, тоді як частка традиційного твердого палива – 6,68 %. Структура споживання твердого палива сектором торгівлі та послуг у 2020 р. мала такий вигляд: традиційне тверде паливо – 92,58 %, тверде біопаливо – 7,42 %. Що стосується сільського господарства та рибальства, то у 2020 р. 83,92 % спожитого твердого палива складало тверде біопаливо, а 16,08 % – традиційне тверде паливо.

Дані, що характеризують використання твердого палива сектором енергетичного перетворення в Україні, наведено в табл. 1.6 та на рис 1.19-1.20.

Із табл. 1.6 видно, що в 2020 р. сектором енергетичного перетворення було спожито 18432,81 тис. т н. е. твердого палива. Основним споживачем твердого палива у 2020 р. в секторі енергоперетворення стали електро- та теплогенеруючі підприємства, які спожили

Розділ 1. Економіко-правові передумови розвитку виробництва та використання ...



Умовні позначення:

1 – традиційне тверде паливо; 2 – тверде біопаливо

Рис. 1.18. Структура кінцевого споживання споживачами твердого палива за групами інших кінцевих споживачів в Україні у 2020 р.

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15; 16]

Таблиця 1.6

Використання твердого палива сектором енергетичного перетворення в Україні у 2020 р.

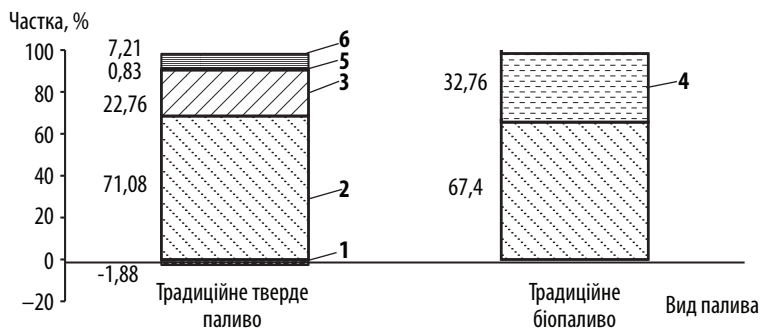
Вид підприємств або напрям використання	Обсяг споживання на енергетичне перетворення, тис. т н. е.		
	Традиційне тверде паливо	Тверде біопаливо	Загалом
1	2	3	4
Статистичні розбіжності і міжпродуктові передачі	320,2	–	320,2
Електро- і теплогенеруючі підприємства	-12101,00	-946,57	-13047,57
Коксові підприємства та виробництво брикетів	-3875,30	–	-3875,3
Заводи з виробництва деревного вугілля	–	-461,14	-461,14

Закінчення табл. 1.6

1	2	3	4
Інші підприємства з перетворення	-142,12	–	-142,12
Власне споживання енергетичним сектором і втрати при розподіленні та споживанні	-1226,88	–	-1226,88
Усього	-17025,1	-1407,71	-18432,81

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15; 16]

13047,57 тис. т н. е. твердого палива. На другому місці розташувалися коксові підприємства, які в 2020 р. спожили 3875,3 тис. т н. е. твердого палива. Найменше серед підприємств з енергоперетворення твердого палива спожили інші підприємства з перетворення енергоресурсів, а саме 142,12 тис. т н. е.

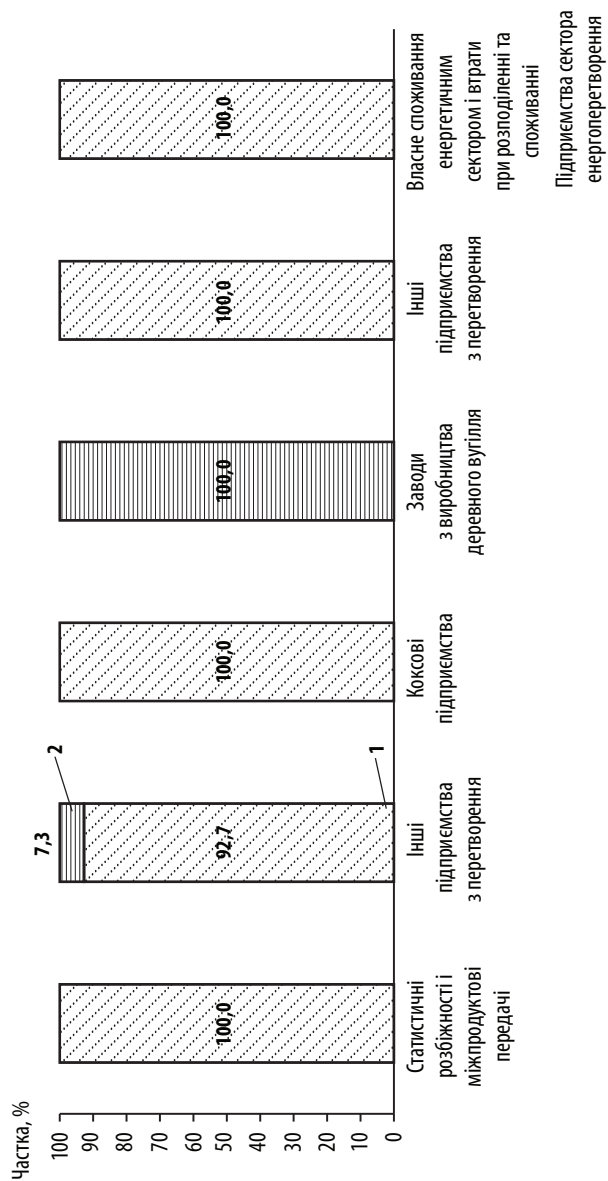


Умовні позначення:

1 – статистичні розбіжності і міжпродуктові передачі; 2 – електро- та теплогенеруючі підприємства; 3 – коксові підприємства (доменні печі) та виробництво брикетів; 4 – заводи з виробництва деревного вугілля; 5 – інші підприємства з перетворення; 6 – власне споживання енергетичним сектором і втрати при розподіленні та транспортуванні

Рис. 1.19. Структура використання твердого палива сектором енергоперетворення в Україні у 2020 р.

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15–16]



Умовні позначення: 1 – традиційне тверде паливо; 2 – тверде біопаливо

Рис. 1.20. Структура використання твердого палива підприємствами сектора енергоперетворення в Україні у 2020 р.

Джерело: складено за матеріалами [1–5; 15–16]

Виходячи з даних, наведених на рис. 1.19, видно, що основним споживачем традиційного твердого палива серед підприємств енергоперетворення у 2020 р. стали електро- та теплогенеруючі підприємства, які спожили 71,08 %, частка коксових підприємств склала 22,76 %, частка власного споживання сектором і втрат при розподіленні та транспортуванні склала 7,21 %, інших підприємств – 0,83 % та частка статистичних розбіжностей і міжпродуктових передач склала (-1,88 %). Структура споживання твердого біопалива сектором енергоперетворення у 2020 р. виглядала таким чином: коксові підприємства – 67,24 %, заводи з виробництва деревного вугілля – 32,76 %.

Із рис. 1.20 видно, що коксові підприємства (доменні печі) й інші підприємства у 2020 р. використовували лише традиційне тверде паливо, тому його частка склала 100 %. Основним видом палива, що використовувалося на електро- і теплогенеруючих підприємствах у 2020 р., стало традиційне тверде паливо – 92,7 %, а частка твердого біопалива становила 7,3 %. Що стосується структури споживання твердого палива заводами з виробництва деревного вугілля, то у 2020 р. ці заводи використовували лише тверде біопаливо, тому його частка складала 100 %.

У структурах використання твердого палива на власне споживання енергетичним сектором (з урахуванням втрат при розподіленні та транспортуванні, статистичних розбіжностей та міжпродуктових передач) у 2020 р. 100 % займало традиційне тверде паливо.

Враховуючи вищенаведений аналіз та спираючись на наведену на рис. 1.1 аналітичну модель, у дослідженні проведено апробацію науково-аналітичного забезпечення із структурної декомпозиції балансу твердого біопалива в енергетичних потоках національного господарства, що передбачає аналіз і декомпозицію національного енергобалансу за потоками органічного палива, твердого органічного палива із розподілом останнього на потоки твердого традиційного палива та твердого біопалива. Для кожного енергопотoku визначаються джерела його забезпечення (власне виробництво й імпорт) і напрямки використання (перетворення, кінцеве споживання, експорт), та у підсумку встановлюється ступінь проникнення твердого біопалива до

кожної балансової складової. Результати структурної декомпозиції балансу твердого біопалива в енергетичних потоках національного господарства, наведені в табл. 1.7, дозволяють встановити таке:

- 1) потік енергозабезпечення національного господарства сформувався переважно (на 66 %) за рахунок внутрішнього виробництва, тоді як потік органічного палива був розподілений 64 % на 37 % між власною та зовнішньою пропозицією. У структурі твердого органічного палива власні джерела енергозабезпечення складали 62 %, тоді як окремо для твердого традиційного палива були на 6 % меншими. Водночас енергетичний потік твердого біопалива був профіцитним, внутрішнє виробництво в якому перекидало на 13 % його потреби;
- 2) потік енергокористування розподілений між перетворенням і кінцевим споживанням у співвідношенні 45 % і 55 % відповідно (експорт майже відсутній), тоді як у міру його декомпозиції це співвідношення змінювалося у напрямку збільшення питомої ваги сектора енергоперетворення, частка якого для твердого традиційного палива вже дорівнює 75 %. Ця тенденція не підтвердилася для твердого біопалива, у структурі енергокористування якого переважали кінцеві споживачі із часткою 59 %;
- 3) глибина проникнення твердого біопалива в загальний енергетичний потік національного господарства склала 4 %, у т. ч. у сферу виробництва – 6 %, у сферу перетворення – 4 %, у сферу кінцевого споживання – 4 %.

Отже, структурна декомпозиція балансу твердого біопалива довела його недооцінену роль в енергетичних потоках національного господарства.

В енергетичному потоці твердого біопалива України спостерігалася ситуація, коли кінцеве споживання перевищувало показник його використання енергетичним сектором. Пропозиція на ринку твердого біопалива України формувалася за рахунок власного виробництва. Основними споживачами твердого біопалива в енергетичному секторі були теплоцентралі та заводи з виробництва деревного вугілля. Осно-

Таблиця 1.7

Структурна декомпозиція балансу твердого біопалива в енергетичних потоках
національного господарства України у 2020 р.

Показник	Виробництво	Імпорт	Експорт	Баланс	Перетворення	Споживання
1	2	3	4	5	6	7
1. Загальна енергопропозиція						
Обсяг, тис. т н. е.	57017	30655	-1246	86363	-38590	-47773
Структура балансу, %	66 %	35 %	-1 %	100 %	-45 %	-55 %
Питома вага, %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
1.1. Органічне паливо						
Обсяг, тис. т н. е.	35522	20290	-579	55130	-33939	-21191
Структура балансу, %	64 %	37 %	-1 %	100 %	-62 %	-38 %
Питома вага, %	62 %	66 %	46 %	64 %	88 %	44 %
1.1.1. Тверде органічне паливо						
Обсяг, тис. т н. е.	16284	11036	-337	26257	-18433	-7824
Структура балансу, %	62 %	42 %	-1 %	100 %	-70 %	-30 %
Питома вага, %	29 %	36 %	27 %	30 %	48 %	16 %
1.1.1.1. Тверде традиційне паливо						
Обсяг, тис. т н. е.	12753	11036	-39	22848	-17025	-5823
Структура балансу, %	56 %	48 %	0 %	100 %	-75 %	-25 %
Питома вага, %	22 %	36 %	3 %	26 %	44 %	12 %

Закінчення табл. 1.7

1	2	3	4	5	6	7
1.1.1.2. Тверде біопаливо						
Обсяг, тис. т н. е.	3532	0	-298	3409	-1408	-2001
Структура балансу, %	104 %	0 %	-9 %	100 %	-41 %	-59 %
Питома вага, %	6 %	0 %	24 %	4 %	4 %	4 %

Джерело: власні розрахунки

вним кінцевим споживачем твердого біопалива виступали інші кінцеві споживачі, а саме побутовий сектор.

1.2. Нормативно-правове регулювання сфери виробництва та використання біопалива в Україні

Кожного року розвиток відновлюваних джерел енергії набирає обертів в Україні, що потребує нормативно-правового врегулювання цих процесів. У нормативно-правовому полі України біопалива є складовою як альтернативних джерел енергії, так і альтернативних видів палива.

Перше нормативне посилання в законодавстві України на біомасу як енергетичне міститься в Законі України «Про енергозбереження» від 01.07.1994 № 74/94-ВР, в якому дано визначення терміну «нетрадиційні та поновлювані джерела енергії» як джерел, що постійно існують або періодично з'являються в навколишньому природному середовищі у вигляді потоків енергії Сонця, вітру, тепла Землі, енергії морів, океанів, річок, біомаси [17].

Для стимулювання переходу на вищезазначені джерела енергії цим законом передбачено надання податкових пільг підприємствам-виробникам енергозберігаючого обладнання, техніки і матеріалів, засобів вимірювання, систем контролю та управління енергоспоживанням і підприємствам, які використовують обладнання, що працює на відновлюваних джерелах енергії [17].

Особливе значення мало прийняття Закону України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2003 № 555-IV. Цим законом визначено поняття «альтернативних джерел енергії», «вторинні енергоресурси», «відновлювані джерела енергії», зокрема, за видами таких джерел, які схематично співвідносяться, як показано на *рис. 1.21*.

Зазначений закон визначив правові, економічні, екологічні й організаційні засади використання альтернативних джерел енергії та сприяння розширенню їх використання у паливно-енергетичному комплексі [18].

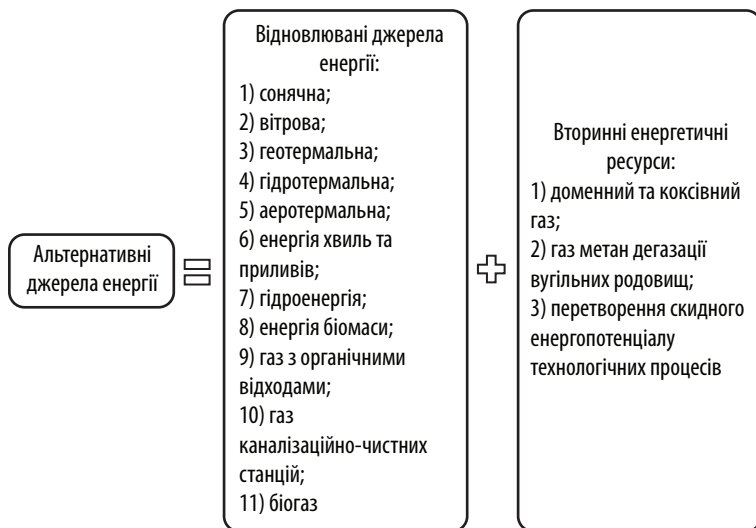


Рис. 1.21. Складові частини альтернативних джерел енергії

Джерело: складено на основі [18]

Так, основними засадами державної політики у сфері альтернативних джерел енергії Законом визначені нарощування обсягів виробництва та споживання енергії виробленої з альтернативних джерел, додержання екологічної безпеки за рахунок зменшення негативного впливу на стан довкілля, додержання безпеки для здоров'я людини, науково-технічне забезпечення розвитку альтернативної енергетики, а також залучення вітчизняних та іноземних інвестицій і підтримка підприємництва у сфері альтернативних джерел енергії [18].

Важливого значення для сфери біопалива набув Закон України «Про альтернативні види палива» від 14.01.2000 № 1391-XIV (хронологічно цей документ передував Закону України «Про альтернативні джерела енергії» 20.02.2003 № 555-IV). Цей закон визначив правові, соціальні, економічні, екологічні й організаційні засади виробництва і використання альтернативних видів палива, а також стимулювання збільшення частки їх використання до 20 % від загального об-

сягу споживання палива в Україні до 2020 р. Позитивно, що в цьому нормативно-правовому акті чітко визначено такі ключові терміни, як «альтернативні види палива», «біопаливо», «біомаса» й інші. Так, альтернативні види палива визначені як тверде, рідке та газове паливо, яке є альтернативою відповідним традиційним видам палива і яке виробляється з нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини [19].

Із-поміж видів альтернативного палива Законом № 1391-XIV виділяються [19]:

- біологічні види палива (біопаливо) – тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлюваної сировини (біомаси), яке може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива. Закон встановлює, що діяльність у сфері виробництва, використання та споживання біологічних видів палива може здійснюватися суб'єктами господарювання всіх організаційно-правових форм власності;
- біомаса – невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів і залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу [19].

До альтернативних видів твердого палива належать [19]:

- продукція та відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також гранули, брикети, деревне вугілля та вуглиста речовина, вироблені з цієї продукції та відходів, що використовуються як паливо;
- органічна частина промислових і побутових відходів, а також гранули та брикети, вироблені з них;
- торф, а також гранули та брикети, вироблені з нього. Суб'єктам господарювання, які використовують різні технології виробни-

цтва біологічних видів палива, гарантуються рівні права доступу на ринок біологічних видів палива.

Означені два документи дозволяють представити місце твердого біопалива у нормативно-правовому полі України (рис. 1.22), яке є складовою альтернативних джерел енергії та відноситься до відновлюваних джерел енергії та складовою альтернативних видів палива та відноситься до нетрадиційних джерел і видів енергетичної сировини.

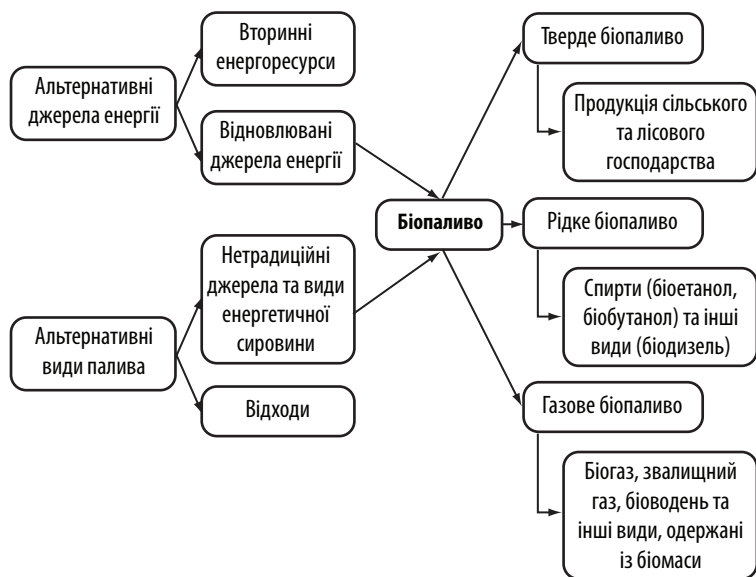


Рис. 1.22. Нормативно-правове визначення місця біопалива в законодавстві України

Джерело: складено на основі [18–19]

Розвиток виробництва та використання біопалива відбувається на засадах європейського курсу національної політики щодо інтеграції до ЄС. Адаптація законодавства України до законодавства ЄС є міжнародним зобов'язанням, передбаченим ще Угодою про партнерство і співробітництво між Україною та Європейським Співтовариством

від 14.06.1994, за якою Україна зобов'язувалась наближувати національне законодавство до законодавства Співтовариства у пріоритетних сферах [20]. Енергетика визначена пріоритетною сферою для здійснення адаптації законодавства у розділі V Закону України «Про Загальнодержавну програму адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу» від 18.03.2004 № 1629-IV [21]. Метою такої адаптації є досягнення відповідності правової системи України *acquis communautaire* з урахуванням критеріїв, що висуваються ЄС до держав, які мають намір вступити до нього. Адаптація законодавства України до законодавства ЄС є пріоритетною складовою процесу інтеграції України до ЄС, що, своєю чергою, є пріоритетним напрямом української зовнішньої політики [21].

Із цією метою у вересні 2010 р. був підписаний Протокол про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства, який у подальшому був ратифікований Законом України від 15.12.2010 № 2787-VI. Згідно з цим законом з 01.02.2011 р. Україна стала повноправним членом Енергетичного Співтовариства [22]. Згідно зі ст. 35 Договору про заснування Енергетичного Співтовариства Україна зобов'язалася вживати заходів, що спрямовані на стимулювання розвитку відновлюваних джерел енергії [23].

У жовтні 2012 р. було ухвалено Рішення Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства D/2012/04/МС-ЕпС «Про впровадження Директиви 2009/28/ЄС і внесення змін до Статті 20 Договору про Енергетичне Співтовариство», згідно з яким кожна Сторона за Договором повинна до 01.01.2014 р. ввести в дію закони, нормативно-правові та адміністративні положення, необхідні для виконання вимог Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС від 23.04.2009 «Про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел» (так звана Директива про відновлювані джерела енергії). Ця директива встановлює обов'язкові національні цілі у сфері відновлюваної енергетики, які слугують головним чином для того, щоб надати певні гарантії інвесторам та заохотити до розвитку новітніх технологій та інновацій у цій сфері. При цьому запроваджуються досить

жорсткі вимоги щодо сталості виробництва біопалив та скорочення викидів парникових газів в атмосферу [24; 25].

Згідно з Рішенням D/2012/04/МС-ЕпС Україна взяла на себе зобов'язання до 2020 р. досягти частки виробництва відновлюваних джерел енергії 11 % у загальній структурі енергоспоживання країни, що слугуватиме потужним стимулом щодо подальшого розвитку їх використання в Україні [24].

Для забезпечення імплементації Директиви 2009/28/ЄС, головної директиви відновлюваної енергетики, Держенергоефективності [26] розробив План заходів з імплементації Директиви 2009/28/ЄС [27] та Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року [28], які були затверджені розпорядженнями Кабінету Міністрів України у 2014 році. В 2015 році було затверджено Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року [29].

Згідно з Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року передбачалося досягти [28]:

- частки відновлюваних джерел енергії в системах опалення та охолодження: у 2009 р. на рівні 3,4 %; 2015 р. – 6,7 %; 2017 р. – 8,9 %; 2018 р. – 10 %; 2019 р. – 11,2 % та 2020 р. – 12,4 %;
- частки відновлюваних джерел енергії в електроенергетиці: у 2009 р. – 7,1 %; 2015 р. – 8,3 %; 2017 р. – 9,7 %; 2018 р. – 10,4 %; 2019 р. – 10,9 % та 2020 р. – 11 %;
- частки відновлюваних джерел енергії у транспортному секторі: у 2009 р. на рівні 1,5 %; 2014 р. – 4,1 %; 2015 р. – 5 %; 2016 р. – 6,5 %; 2017 р. – 7,5 %; 2018 р. – 8,2 %; 2019 р. – 9 % та 2020 р. – 10 % [28].

Отже, підписання Протоколу про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного співтовариства і його ратифікація Верховною Радою України обумовили виникнення з боку України зобов'язань щодо імплементації у національному законодавстві цілого ряду правових актів ЄС, в тому числі і Директив Європейського Парламенту та Ради Європейського Союзу, які регулюють сферу біоенергетичних технологій, зокрема Директиви 2009/28/ЄС.

На жаль, Україна не лише представила Енергетичному співтовариству зазначений документ більш ніж за один рік повз крайнього терміну, але й не відобразила в ньому всі вимоги, передбачені вищезазначеною директивою. Таким чином, більшість положень Директиви залишилися лише запланованими до виконання і на цей час їх так і не було виконано Україною. Деякі зобов'язання, наприклад, що стосуються викидів парникових газів від біопалив та біорідин, взагалі не можуть бути виконані у найближчі роки.

Для виконання цього курсу було визначено основні принципи державної політики у сфері альтернативних видів палива є [19]:

- сприяння розробці та раціональному використанню нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини для виробництва (видобутку) альтернативних видів палива з метою економії паливно-енергетичних ресурсів та зменшення залежності України від їх імпорту;
- поетапне збільшення нормативно визначеної частки виробництва і застосування біопалива та сумішевого палива моторного. Вміст біоетанолу в бензинах моторних, що виробляються та/або реалізуються на території України, становитиме:
 - 1) у 2013 р. – рекомендований вміст не менш як 5 % (об'ємних);
 - 2) у 2014–2015 рр. – обов'язковий вміст не менш як 5 % (об'ємних);
 - 3) з 2016 р. – обов'язковий вміст не менш як 7 % (об'ємних);
- зменшення негативного впливу на стан довкілля за рахунок використання як сировини для виробництва альтернативних видів палива відходів різного роду діяльності, додержання екологічної безпеки виробництва (видобутку), транспортування, зберігання та споживання альтернативних видів палива;
- підтримка розвитку науково-технічної бази виробництва (видобутку) альтернативних видів палива, пропаганда науково-технічних досягнень у цій сфері;

- підтримка підприємництва у сфері альтернативних видів палива на основі державного захисту інтересів підприємця;
- пропаганда серед населення економічних, екологічних, соціальних та інших переваг виробництва (видобутку) і споживання альтернативних видів палива;
- розвиток міжнародного науково-технічного співробітництва, широке використання можливостей світової науки і техніки у сфері альтернативних видів палива;
- запобігання штучному створенню монополій на ринку альтернативних видів палива, а у разі визнання в установленому законодавством порядку природних монополій здійснення контролю за їх діяльністю, недопущення зловживань монополієм становцем та обмеження монополізму, якщо необхідність такого обмеження не встановлена законодавством [19].

Для підтвердження національного стратегічного курсу щодо розвитку відновлюваних джерел енергії Україна у 2018 р. стала повноцінним членом Міжнародного агентства з відновлювальних джерел енергії (IRENA), що дає змогу покращити інвестиційний клімат «зеленої» енергетики нашої держави та залучати пільгові кредити на розвиток цієї галузі [20].

Реалізацію державної політики у сфері впровадження альтернативних, у т. ч. біоенергетичних технологій, покладено на такі органи виконавчої влади: Кабінет міністрів України [30], Міністерство розвитку громад та територій України [31], Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України [32], Міністерство енергетики України [33], Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України [34], Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України [35], Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг [36] та інші.

Зокрема, серед функцій Кабінету Міністрів України виділяються [18]:

- розроблення, затвердження та запровадження норм, правил і стандартів виробництва, передачі, транспортування, постачання, зберігання і споживання енергії, виробленої з альтернативних джерел;
- нагляд і контроль за безпечним виконанням робіт на об'єктах альтернативної енергетики незалежно від їх форми власності, безпечною експлуатацією енергогенеруючого обладнання та за режимами передачі і споживання енергії;
- встановлення тарифів на електричну енергію, вироблену на об'єктах альтернативної енергетики, а також на теплову енергію, видобуту з альтернативних джерел;
- всебічне заохочення і підтримка науково-дослідницьких, дослідно-конструкторських робіт, діяльності винахідників і раціоналізаторів, спрямованих на розвиток виробництва та використання альтернативних джерел енергії.

Для виконання покладених на нього функцій Кабінет Міністрів України прийняв ряд підзаконних нормативно-правових актів щодо стимулювання використання альтернативних видів палива:

- Постанову від 01.03.2010 № 243-2010-п «Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010–2021 роки» [37];
- Постанову від 10.09.2014 № 453 «Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного і місцевих бюджетів» [38];
- Постанову від 09.07.2014 № 293 «Про стимулювання заміщення природного газу у сфері тепlopостачання» [39];
- Постанову від 05.10.2004 № 1307 «Про порядок видачі свідоцтва про належність палива до альтернативного» [40];

- Постанову від 16.10.2014 №1014 «Про затвердження Плану коротко- та середньострокових заходів щодо скорочення обсягу споживання природного газу на період до 2017 року» [41];
- Енергетичну стратегію до 2030 року, схвалену Розпорядженням від 15.03.2006 № 145-р [42], яка потім була замінена Енергетичною стратегією до 2035 р., схваленою Розпорядженням від 18.08.2017 № 605-р [43], також в 2023 році було ухвалено Енергетичну стратегію до 2050 року, схвалену Розпорядженням від 21.04.2023 № 373-р.

Розпорядження від 03.09.2014 № 791 «Про затвердження плану заходів з імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС». Дорожня карта з розвитку ринку твердого біопалива України [27].

Розпорядження від 01.10.2014 № 902 «Про Національний план дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 року» [45].

Так, на національному рівні розвиток відновлюваної енергетики визначено стратегічним завданням, який передбачений Енергетичною стратегією України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Енергетична стратегія України до 2035 р. є документом, який окреслює стратегічні орієнтири розвитку паливно-енергетичного комплексу України на період до 2035 року. Згідно з нею передбачається стале розширення використання всіх видів відновлюваної енергетики, яка стане одним із інструментів гарантування енергетичної безпеки держави. У коротко- та середньостроковому горизонті (до 2025 року) стратегією прогнозується зростання частки відновлюваної енергетики до рівня 12 % від загальної первинної енергопропозиції та не менше 25 % – до 2035 року (включаючи всі гідроенергуючі потужності та термальну енергію). Частка біопалива мала б складати 61 % у 2020 р. від усіх видів відновлюваних джерел енергії [43].

Однією зі складових цього стратегічного напрямку щодо розвитку відновлюваної енергетики є поширення використання біомаси. В Енергетичній стратегії України до 2035 р. безпосередньо зазначено

щодо необхідності збільшення частки електроенергетичного сектора, який використовує тверду біомасу та біогаз як енергоресурс, що зумовлюватиме відносну сталість виробництва (за наявності ресурсної бази), так формування тенденцій до розбудови локальних генеруючих потужностей. При цьому перевага відається одночасному виробництву теплової та електричної енергії в когенераційних установках і заміщенню вуглеводневих видів палива [43].

Таким чином, перед Україною стоять конкретні цілі щодо розвитку сфери відновлюваної електроенергетики:

- 11 % відновлюваних джерел енергії в електроенергетичному секторі до 2020 р. (Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 р. [28]);
- 25 % відновлюваних джерел енергії в електроенергетичному секторі до 2035 р. (Енергетична стратегія України на період до 2035 р. [43]).

Для розвитку виробництва та використання біопалива в Енергетичній стратегії України до 2035 р. поставлені конкретні завдання, які є складовою реалізації стратегічних цілей щодо розбудови відновлюваних джерел енергії, а саме [43]:

- збільшення використання біомаси у генерації електро- та тепло-енергії шляхом:
- стимулювання використання біомаси як палива на підприємствах, де біомаса є залишковим продуктом;
- інформування про можливості використання біомаси як палива в індивідуальному тепlopостачанні;
- сприяння створенню конкурентних ринків біомаси.

Однак уже можна припустити, що з великою ймовірністю Україна не зможе досягнути поставленої цілі у 11 % частки відновлюваних джерел енергії до 2020 р. (їх частка у 2018 р. склала лише 4,6 %, що у 2 рази менше від поставленої цілі). Певною мірою можна посилається на форс-мажорні обставини внаслідок анексії Криму та продовження бойових дій на Сході, де знаходяться об'єкти сонячної та вітрової гене-

рації, якщо міжнародне співтовариство вважатиме, що Україна вжила всіх можливих заходів для виконання взятих на себе зобов'язань [20].

Для підтвердження походження альтернативного виду палива Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України видається свідоцтво про належність палива до альтернативного, порядок видачі якого регламентується відповідною Постановою Кабінету Міністрів України «Про порядок видачі свідоцтва про належність палива до альтернативного» від 05.10.2004 № 1307. Це свідоцтво видається строком на два роки. Держенергоефективності веде реєстр альтернативних видів палива [40].

Крім свідоцтва про належність палива до альтернативного, підприємства на виробництво електричної енергії з альтернативних видів палива повинні отримати гарантію походження з відновлюваних джерел, яку також видає Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України [46].

Підтвердження походження альтернативного виду палива є підставою для надання стимулюючих пільг.

Для розвитку відновлюваних джерел енергії, у т. ч. виробництва та використання біопалива, передбачені інструменти стимулювання.

У Законі України «Про альтернативні види палива» вказано на можливість застосування організаційно-економічних (ст. 9) та фінансових (ст. 10) механізмів стимулювання [19], однак їх перелік є загальним, жодні практичні інструменти не прописані.

Натомість у Законі України «Про альтернативні джерела енергії» визначено саме практичні інструменти стимулювання використання біопалива як джерела відновлюваної енергії в Україні, якими на сьогодні є [18]:

- «зелений» тариф на електричну енергію, вироблену з альтернативних джерел, який діє до 2030 р. «Зелений тариф» може встановлюватися енергетичним кооперативам, виробникам з енергії сонячного випромінювання, енергії вітру, біомаси, біогазу, з використанням гідроенергії, геотермальної енергії генеруючими установками, встановлена потужність яких не пе-

ревищує 150 кВт, встановлюється єдиним для всіх споживачів, у тому числі енергетичних кооперативів, за кожним видом альтернативного джерела енергії. У травні 2019 р. набрав чинності Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії» від 04.06.2015 № 514-VIII, який запроваджує надання державної підтримки суб'єктам господарювання у сфері відновлювальної енергетики виключно через аукціони з розподілу квоти [47];

- стимулюючий тариф на тепло з альтернативних видів палива на рівні 90 % тарифу на тепло з газу [48; 49].

Також до 2014 р. продавці біопалива, в тому числі дров, тріски, granul, брикетів, звільнялися від ПДВ [18].

Однак значно нижчі ставки тарифів порівняно із сонячною та вітровою енергетикою стримують активну розбудову використання біопалива в Україні. Так, для прикладу, у *табл. 1.8* наведено динаміку розбудови відновлюваних електрогенеруючих потужностей, що підтверджують зазначене припущення.

Таблиця 1.8

Динаміка розбудови потужностей відновлюваної енергетики та коефіцієнтів за «зеленим тарифом»

Тип потужності	Коефіцієнт за «зеленим» тарифом				
	2015 р.	2017 р.	2020 р.	2021 р.	2023 р.
БЕС	2,3				
ВЕС					
у т. ч. ВЕС до 600 кВт	1,08		0,96	0,92	0,91
ВЕС від 600 кВт до 2000 кВт	1,26		1,12	1,10	1,06
ВЕС більше 2000 кВт	1,89			1,62	
СЕС	3,15	2,79	2,09	2,02	1,88

Джерело: складено на основі [18; 50]

Розвиток біопалива в Україні контролюється з боку держави. З одного боку, згідно з Законом України «Про ліцензування видів госпо-

дарської діяльності» 02.03.2015 № 222-VIII, виробництво твердих біопалив не підлягає ліцензуванню [51], тоді як з *іншого*, біопалива, призначені для реалізації як товарна продукція в Україні, підлягають обов'язковій сертифікації. Сертифікація – це процедура підтвердження стабільної якості продукції, до якої залучаються відповідно акредитовані органи сертифікації, аудиту і лабораторії. Вона передбачає постійний контроль якості на виробництві і ретельне виконання правил виготовлення, зберігання і транспортування твердого біопалива [52].

Згідно з Законом України «Про альтернативні види палива» стандарти, якими встановлюються вимоги щодо якості альтернативних видів палива, повинні забезпечувати ефективне та економічне використання енергетичного потенціалу палива. Показники споживчої якості кожного альтернативного виду палива встановлюються у відповідних стандартах. Ці показники мають бути основою для всіх розрахунків щодо альтернативних видів палива (обсяги виробництва та реалізації, техніко-економічні, комерційні та інші показники). Нормативи екологічної безпеки альтернативних видів палива та показники щодо безпеки для здоров'я і праці людей повинні перебувати в межах, встановлених законодавством для традиційних видів палива (ст. 11) [19].

Сертифікація тісно пов'язана з питаннями стандартизації. Згідно з Законом України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» від 15.01.2015 № 124-VIII технічний регламент – нормативно-правовий акт, в якому визначено характеристики продукції або пов'язані з ними процеси та методи виробництва, включаючи відповідні процедурні положення, додержання яких є обов'язковим [53]. Згідно з Законом України «Про стандартизацію» від 05.06.2014 № 1315-VII [54] національні стандарти застосовуються на добровільній основі, крім випадків, якщо обов'язковість їх застосування встановлена нормативно-правовими актами (ст. 23).

Законом «Про стандартизацію» визначено, що технічні умови – це нормативний документ, що встановлює технічні вимоги, яким повинна відповідати продукція, процес або послуга, та визначає процедури, за допомогою яких може бути встановлено, чи дотримані такі вимоги.

Підприємства, установи й організації мають право у відповідних сферах діяльності та з урахуванням своїх господарських і професійних потреб організовувати та виконувати роботи із стандартизації, зокрема, розробляти, приймати, переглядати, застосовувати, скасовувати прийняті ними технічні умови, а також мають право власності на ці ТУ. Технічні умови, прийняті підприємствами, установами та організаціями, застосовуються на добровільній основі (ст. 16) [54].

Протягом довгого часу в Україні існував лише один державний стандарт на тверде паливо з біомаси, а саме – з лушпиння соняшника: ДСТУ 7124:2009 «Лушпиння соняшнику пресоване гранульоване. Технічні умови» [55] (уведено в дію 01.01.2012 р., внесено зміни у 2014 р.). Згодом в Україні впроваджено в дію Технологічний регламент на виробництво брикетів і гранул паливних з лушпиння соняшника [56]. У 2015 р. був затверджений ДСТУ 8358:2015 «Брикет та гранули паливні з деревинної сировини. Технічні умови», який набрав чинності 1 липня 2017 р. [57]. На брикети з інших видів біомаси (солома та інші пожнивні рештки) державних стандартів ще немає.

Наразі українські виробники брикетів з біомаси користуються, головним чином, власними технічними умовами або орієнтуються на європейські стандарти (у разі експорту продукції в Європу) [58]. Приклади технічних умов (перелік) для твердого біопалива наведено у Додатку А.

На думку експертів, в Україні необхідне запровадження сертифікації за нормами ENplus, яка відповідає кращим світовим стандартам якості твердого біопалива – EN 14961 та ISO EN 17225. Система сертифікації ENplus базується на ряді європейських стандартів, що стосуються, в першу чергу, покращеного твердого біопалива з деревини [59]. В якості єдиного стандарту для різних видів твердого біопалива в світовій практиці використовується міжнародний стандарт ISO EN 17225. Він вступив у дію в 2014 р. і визначає класи якості палива та специфікації для твердого біопалива з сировини і оброблених матеріалів, що мають походження з лісового господарства та розведення лісів, сільського господарства і садівництва, аквакультури [60].

На жаль, зазначені документи не забезпечили належне впровадження до законодавства норм Директиви 2009/28/ЄС, а передбачені Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року показники не відповідають фактичним.

Треба зазначити, що в Україні вже прийнято ряд стандартів (гармонізованих із європейськими), які стосуються загальних питань якості і методів визначення показників якості твердого біопалива, в тому числі брикетів. Ці стандарти стосуються методики досліджень і не базуються на основних стандартах, які передбачають технічні, фізичні та екологічні вимоги щодо якісних показників твердого біопалива. Вибрані приклади таких стандартів (перелік) наведено у Додатку Б [61]. За думкою фахівців, в Україні є нагальна потреба в імплементації ще 36 європейських стандартів на тверде біопаливо та обладнання, які необхідні для впровадження на підприємствах-виробниках твердого біопалива сучасних систем сертифікації (наприклад, ENplus), захисту прав споживачів твердого біопалива, додержання екологічних норм і критеріїв сталості [61].

Аналіз представлених правових положень дозволяє навести таку схему нормативного регулювання розвитку виробництва та використання біопалива в Україні (рис. 1.23).

В огляді Секретаріату Енергетичного співтовариства Національного органу регулювання енергетики України за 2018 р. наголошується на декларативності багатьох прийнятих українською владою нормативно-правових актів з реформування енергетичного сектора та попереджається про майбутнє зниження підтримки енергетичного сектора України з боку міжнародного співтовариства [63].

Отже, незважаючи на наявність національних планів, програм і постанов, розвиток біопаливного виробництва поки що знаходиться на стадії становлення. На відміну від інших країн-виробників біопалив, в Україні відсутня державна підтримка і чітка законодавча база, яка б стимулювала виробництво як самого біопалива, так і сировини для його виробництва [64].

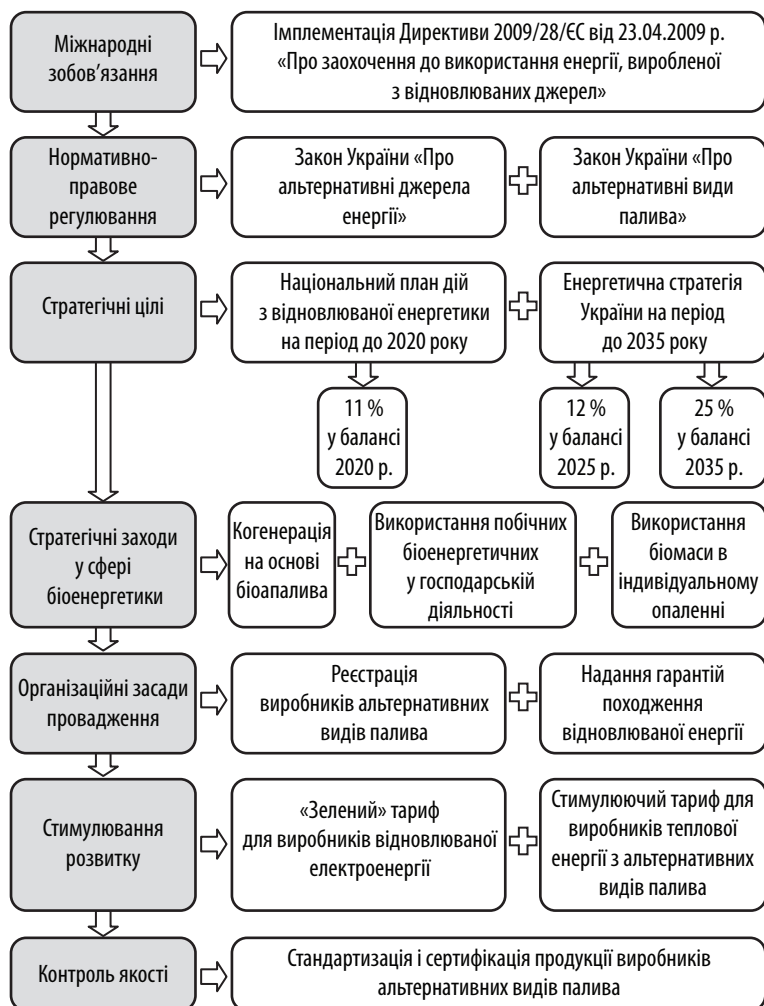


Рис. 1.23. Нормативне регулювання розвитку виробництва і використання біопалива в Україні

Джерело: складено автором [17–64]

За даних умов та зважаючи на деякі особливості впровадження проєктів використання біомаси як джерела енергії, існує нагальна необхідність відповідального відношення до виконання міжнародних зобов'язань та ревізії з боку держави всіх прийнятих до імплементації в Україні енергетичних регламентів та директив Єврокомісії з метою повернення довіри інвесторів і міжнародної спільноти.

1.3. Оцінка потенціалу виробництва твердого біопалива в Україні

Поняття «потенціал» (від лат. *potentia* – сила) трактується як «джерела, можливості, засоби, запаси, які можуть бути використані для вирішення будь-якої задачі, досягнення поставленої мети...» [65]. Визначень поняття «енергетичний потенціал» достатньо багато. В залежності від бази оцінювання, існують поняття «енергетичний потенціал підприємства», «енергетичний потенціал регіону», «енергетичний потенціал країни».

О. Голубовська розглядає поняття «енергетичний потенціал підприємства» як «існуючу у суб'єкта господарювання можливість при виробництві заданого обсягу продукції витратити оптимальну кількість енергетичних ресурсів, яка обумовлена зведенням до мінімуму негативних факторів впливу на процес енергозбереження» [66]. В такому визначенні автор вважає, що енергетичний потенціал підприємства визначає ступінь енергетичної потужності або приховані резерви його збільшення.

Енергетичний потенціал регіону трактується Т. Базюк як «всі ресурси, які територіально знаходяться в межах регіону, включаючи ті, що все ще розробляються, так і ті, що в перспективі можуть бути використані» [67]. В роботі [68] енергетичний потенціал регіону розглядається як природні ресурси та умови природного середовища території, які можуть бути використані у господарстві з урахуванням досягнень науково-технічного прогресу для виробництва енергії, а також механізми їх залучення в господарський обіг в поточний час або у майбутньому періоді. В цьому трактуванні енергетичного потенці-

алу регіону Г. Лукашов підкреслюється, що тільки в межах територіальних сполучень природних ресурсів і природних умов є можливість встановити реальну цінність потенціалу регіону [68].

У роботі І. Сизонової [69] поняття «енергетичний потенціал країни» трактується як «узагальнюючий показник сумарної кількості потенційної енергії, що притаманна певній економічній системі, носіями якої виступають природні, матеріальні та людські ресурси». Тоді як в дисертації Г. Єфімової [70] визначення енергетичного потенціалу країни дається наступне – це «сумарна кількість фактичної та потенційної енергії людських, природних, матеріальних ресурсів даної економічної системи». Енергетичний потенціал країни в роботі О. Кітченко [71] розглянуто за ознаками участі в процесі виробництва благ, способом розрахунку, за ієрархією економічних відносин, за видами ресурсів, за сферами виробничої діяльності.

Для оцінки енергетичного потенціалу твердого біопалива країни автором цієї пропонується наступне поняття. Енергетичний потенціал твердого біопалива – це сукупний теоретичний потенціал відновлюваних ресурсів з урахуванням досягнення максимального значення коефіцієнту перетворення такого палива в готові тверді продукти.

У 2010 р. Г. Гелетука, Т. Желєзна, М. Жовмір, Ю. Матвєєв, О. Дроздова розробили методичний підхід до оцінки енергетичного потенціалу біомаси, згідно якого запропонували виділяти три його рівні: теоретичний, технічний, економічний [72].

Теоретичний потенціал – загальний максимальний обсяг наземної біомаси, теоретично доступної для виробництва енергії у фундаментальних біофізичних межах. Коли мова йде про біомасу сільськогосподарських та енергетичних культур і лісів, теоретичний потенціал представляє максимальну продуктивність за умов теоретично оптимального менеджменту з урахуванням обмежень, що визначаються температурою, сонячною радіацією й опадами. Теоретичний потенціал відходів і залишків різного виду визначається максимальним обсягом їх утворення. Розрахунок теоретичного потенціалу здійснюється за допомогою використання коефіцієнта відходів [72].

Технічний потенціал – частка теоретичного потенціалу, доступна за певних техніко-структурних умов і поточних технологічних можливостей. Беруться до уваги просторові обмеження, викликані конкуренцією між різними користувачами землі, а також деякі екологічні та інші обмеження, технічний потенціал розраховується на основі теоретичного через коефіцієнт технічної доступності (досяжності) [72].

Економічний потенціал – частка технічного потенціалу, що задовольняє критеріям економічної доцільності за даних умов [72].

Проведена в роботі [72] оцінка базувалася на даних 2008 р., як, на жаль, є вже практично застарілими. Означене вимагало від автора цієї роботи переоцінки енергетичного потенціалу твердого біопалива разом із уточнення запропонованого методичного підходу. Тому в цій роботі (пп. 1.3) було проведено оцінку теоретичного та технічного енергетичного потенціалу твердого біопалива, тоді як оцінка економічного потенціалу вимагала подальших досліджень за видами енергетичних культур (пп. 3.2 – пп. 3.3).

Одним з найбільш перспективних видів палива серед відновлюваних джерел є біомаса – вуглецевмісні органічні речовини рослинного і тваринного походження. Для виробництва енергії застосовують тверду біомасу, а також отримані з неї рідкі та газоподібні палива – біогаз, біодизель, біоетанол та інші [73]. В рамках дослідження, що проводиться, до переліку основних джерел відновлювальних ресурсів віднесено: відходи сільськогосподарського виробництва, відходи лісової промисловості, відновлювальна частина торфу та біомаса енергетичних культур.

Перелік основних видів біомаси, можливість використання яких врахована в рамках дослідження для виробництва твердого біопалива, представлено у *табл. 1.9*.

Сільськогосподарське виробництво України є потужним джерелом різних видів відходів, що становлять джерела палива відновлюваних ресурсів, які можуть використовуватися для виробництва енергії. Відходи сільського господарства поділяються на два основні види: первинні (солома зернобобових культур і ріпаку, стебла кукурудзи на

зерно та сояшнику) і вторинні (жом цукрових буряків, лушпиння со-
няшника та рису).

Таблиця 1.9

Основні види палива відновлюваних джерел

№	Вид палива відновлюваних джерел
1	Біомаса:
1.1	Відходи сільського господарства:
1.1.1	Солома пшениці
1.1.2	Солома ячменю
1.1.3	Солома інших зернобобових
1.1.4	Солома ріпаку
1.1.5	Відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, листя, стрижні по- чатків)
1.1.6	Відходи виробництва сояшника (стебла, кошики)
1.1.7	Жом цукрового буряка
1.1.8	Лушпиння сояшника
1.2	Відходи лісового господарства:
1.2.1	Залишок деревини на лісосіках (W 50 ... 60%)
1.2.2	Первині (W 40 ... 45%) і вторинні (W 25 ... 30%) відходи деревообробки
1.2.3	Дрова, що вивозяться з лісосіки (W 40 ... 45%)
1.3.	Відновлювальний торф
1.4.	Енергетичні культури:
1.4.1	Енергетична верба
1.4.2	Міскантус

Джерело: власна розробка [74–77]

У табл. 1.10 наведено коефіцієнти, які використовуються для роз-
рахунку поточного технічного потенціалу відновлювальних рослин-
них ресурсів з відходів сільського господарства.

Розрахунок поточного технічного потенціалу відновлюваних рос-
линних ресурсів з відходів сільського господарства на основі даних
обсягу валового збору сільськогосподарських культур [1, 78]. Резуль-

Таблиця 1.10

Коефіцієнти технічного потенціалу відновлюваних рослинних ресурсів з відходів сільського господарства

Вид сировини	Коефіцієнт відходів	Коефіцієнт технічної доступності (КТД)
Первинні відходи сільського господарства		
Пшениця	1,0	0,5
Ячмінь	0,8	0,5
Інші зернові	0,8	0,5
Ріпак	2,0	0,7
Кукурудза на зерно	1,5	0,7
Соняшник	2,0	0,67
Вторинні відходи сільського господарства		
Цукровий буряк	0,8	0,86
Соняшник	0,2	0,67

Джерело: складено за матеріалами [72; 74–77]

тати розрахунку поточного енергетичного потенціалу відновлюваних рослинних ресурсів з відходів сільського господарства представлено у табл. 1.11.

Таблиця 1.11

Поточний технічний потенціал відновлювальних рослинних ресурсів з відходів сільського господарства у 2022 р.

Вид сировини	Валовий збір	Теоретичний потенціал		Технічний потенціал	
	млн т	млн т	млн т н. е.	млн т	млн т н. е.
1	2	3	4	5	6
Пшениця	20,73	20,73	7,42	10,36	3,71
Ячмінь	5,61	4,49	1,61	2,24	0,80
Інші зернові	1,34	1,07	0,53	0,54	0,26
Ріпак	3,32	6,64	2,38	4,65	1,67
Кукурудза на зерно	26,19	39,28	14,07	27,50	9,85

Закінчення табл. 1.11

1	2	3	4	5	6
Соняшник	11,33	22,66	8,11	15,18	5,43
Разом первинні відходи		94,86	34,13	60,47	21,73
Цукровий буряк	9,94	7,95	0,32	6,84	0,28
Соняшник	11,33	2,27	0,61	1,52	0,41
Разом вторинні відходи		10,22	0,93	8,36	0,69
Усього відходів сільського господарства		105,08	35,06	68,82	22,42

Джерело: складено за матеріалами [1; 78]

Наведені у табл. 1.10 свідчать про те, що основну частку технічного потенціалу рослинних ресурсів з відходів сільського господарства України склали первинні відходи сільськогосподарських культур – 21,73 млн т н. е. (96,9 %). Варто виділити значимість таких складових технічного потенціалу як відходи від вирощування соняшника та кукурудзи, що забезпечується високими коефіцієнтами відходів та енергетичного використання цих культур.

У табл. 1.12 наведено дані, які характеризують технічний потенціал відновлюваних енергоресурсів з рослинних відходів сільського господарства в Україні за областями у 2022 р.

Таблиця 1.12

Технічний потенціал відновлювальних енергоресурсів з рослинних відходів сільського господарства за областями у 2022 р.

Область	Валовий збір, млн т	Теоретичний потенціал		Технічний потенціал	
		млн т	млн т н. е.	млн т	млн т н. е.
1	2	3	4	5	6
АР Крим	–	–	–	–	–
Вінницька	7,72	8,61	2,48	5,97	1,62
Волинська	2,09	2,35	0,76	1,51	0,46
Дніпропетровська	5,79	6,68	2,38	4,16	1,48

Розділ 1. Економіко-правові передумови розвитку виробництва та використання ...

Закінчення табл. 1.12

1	2	3	4	5	6
Донецька	1,03	1,12	0,40	0,67	0,24
Житомирська	3,03	3,70	1,29	2,42	0,83
Закарпатська	0,32	0,42	0,15	0,28	0,10
Запорізька	1,29	1,37	0,49	0,80	0,29
Івано-Франківська	1,14	1,43	0,51	0,92	0,33
Київська	4,27	5,38	1,88	3,56	1,23
Кіровоградська	7,19	8,32	2,84	5,40	1,81
Луганська	0,50	0,54	0,19	0,34	0,12
Львівська	3,41	3,71	1,05	2,51	0,66
Миколаївська	3,58	3,92	1,40	2,36	0,84
Одеська	4,47	4,90	1,75	2,90	1,04
Полтавська	8,72	10,53	3,49	7,14	2,31
Рівненська	2,73	2,88	0,79	1,99	0,50
Сумська	5,32	6,67	2,38	4,37	1,56
Тернопільська	4,82	5,41	1,63	3,62	1,03
Харківська	3,84	4,30	1,54	2,64	0,94
Херсонська	0,20	0,22	0,08	0,13	0,05
Хмельницька	6,25	7,26	2,27	4,89	1,47
Черкаська	5,61	6,97	2,37	4,65	1,56
Чернівецька	0,79	1,04	0,37	0,69	0,25
Чернігівська	5,52	7,18	2,55	4,79	1,69
Усього по країні	89,78	105,08	35,06	68,82	22,42

Джерело: складено за матеріалами [1; 78]

Найбільший серед областей України технічний потенціал відновлюваних енергоєресів з рослинних відходів сільського господарства наявний у Полтавській, Вінницькій і Кіровоградській областях. Їх частка у поточному технічному потенціалі відновлюваних енергоресурсів з рослинних відходів сільського господарства країни становить 10,4 %, 8,7 % та 7,8 % відповідно.

Оцінка відновлюваних енергоресурсів з рослинних відходів лісового господарства в Україні здійснюється на основі доступних статистичних даних та експертних оцінок фахівців. Процедура оцінки ґрунтується на визначенні обсягу відходів і залишків деревини. Відновлювані рослинні енергоресурси з відходів лісового господарства включають наступні складові: залишки від заготівлі деревини на лісосіках, відходи первинної (розпилювання кругляка в ліспромгоспах) і вторинної (виготовлення готової продукції на доках) деревообробки і дрова.

Коефіцієнти, що використовуються для розрахунку технічного потенціалу відновлюваних рослинних енергоресурсів з відходів лісового господарства, наведено у *табл. 1.13*.

Таблиця 1.13

Коефіцієнти технічного потенціалу відновлюваних рослинних ресурсів з відходів лісового господарства

Вид сировини	Коефіцієнт технічної доступності (КТД)
Залишок деревини на лісосіках, W 50 ... 60 %	0,9
Первинні(W 40 ... 45 %) та вторинні (W 25 ... 30 %) відходи деревообробки	1,0
Дрова, що вивозяться з лісосіки, W 40 ... 45 %	0,7

Джерело: складено за матеріалами [72; 74–77]

У *табл. 1.14* представлено дані, які характеризують технічний потенціал відновлювальних рослинних ресурсів з відходів лісового господарства України.

Поточний енергетичний потенціал відновлювальних рослинних ресурсів з відходів лісового господарства оцінюється на рівні 1,39 млн т н. е. Основну частку у структурі технічного потенціалу відновлюваних рослинних енергоресурсів з відходів лісового господарства в Україні становлять дрова, що вивозяться з лісосіки – 50,4 %.

Таблиця 1.14

**Технічний потенціал відновлюваних рослинних енергоресурсів з відходів
лісового господарства в Україні у 2022 р.**

Вид сировини	Теоретичний потенціал		Технічний потенціал	
	млн м³	млн т н. е.	млн м³	млн т н. е.
Залишок деревини на лісосіках, W 50 ... 60%	0,81	0,14	0,73	0,13
Первині (W 40 ... 45%) та вторинні (W 25 ... 30%) відходи дерево- обробки	2,34	0,56	2,34	0,56
Дрова, що вивозяться з лісосіки, W 40 ... 45%	4,15	1,00	2,91	0,70
Всього лісові відходи	7,31	1,71	5,98	1,39

Джерело: складено за матеріалами [78]

У табл. 1.15 наведено дані, які характеризують поточний технічний потенціал відновлюваних рослинних енергоресурсів з відходів лісового господарства за областями.

Таблиця 1.15

**Технічний потенціал відновлюваних рослинних енергоресурсів з відходів
лісового господарства за областями у 2022 р.**

Область	Теоретичний потенціал		Технічний потенціал	
	млн м³	млн т н. е.	млн м³	млн т н. е.
1	2	3	4	5
АР Крим	—	—	—	—
Вінницька	0,32	0,076	0,25	0,061
Волинська	0,69	0,154	0,57	0,127
Дніпропетровська	0,05	0,010	0,04	0,008
Донецька	0,01	0,002	0,01	0,002
Житомирська	1,17	0,273	0,96	0,223
Закарпатська	0,38	0,089	0,31	0,072
Запорізька	0,00	0,000	0,00	0,000

Закінчення табл. 1.15

1	2	3	4	5
Івано-Франківська	0,40	0,093	0,33	0,076
Київська	0,60	0,141	0,49	0,115
Кіровоградська	0,12	0,027	0,09	0,022
Луганська	0,02	0,004	0,01	0,003
Львівська	0,60	0,140	0,49	0,114
Миколаївська	0,02	0,004	0,01	0,003
Одеська	0,04	0,009	0,03	0,008
Полтавська	0,16	0,038	0,13	0,031
Рівненська	0,69	0,161	0,56	0,131
Сумська	0,40	0,093	0,33	0,076
Тернопільська	0,13	0,031	0,11	0,025
Харківська	0,13	0,029	0,10	0,024
Херсонська	0,00	0,001	0,00	0,001
Хмельницька	0,36	0,085	0,30	0,070
Черкаська	0,40	0,092	0,32	0,075
Чернівецька	0,24	0,056	0,20	0,046
Чернігівська	0,53	0,124	0,43	0,101
Усього по країні	7,31	1,71	5,98	1,393

Джерело: складено за матеріалами [78]

Результати оцінки технічного потенціалу відновлюваних рослинних енергоресурсів з відходів лісового господарства за областями виявили, що найбільший технічний потенціал зосереджено у Житомирській (16,1 %), Волинській (9,5 %), Рівненській (9,4 %), Київській (8,2 %) та Львівській (8,2 %) областях.

Україна належить до переліку країн із середнім рівнем накопичення торфу. Щорічно на існуючих торф'яних болотах утворюється близько 1 мм торфу [67, 72]. Саме цей торф можна вважати відновлюваним джерелом енергії і відносити до сировинної бази виробництва твердого біопалива.

Процедура розрахунку теоретичного потенціалу торфу ґрунтується на визначенні обсягів щорічного утворення торфу, виходячи з відомого рівня накопичення торфу (1 мм/рік), насипної маси і площі торф'яних родовищ в межах промислової глибини [67]. Технічно досяжний потенціал становить частку теоретично можливого потенціалу, що видобувається та використовується на енергетичні та інші потреби. Коефіцієнт для розрахунку поточного технічного потенціалу відновлювального торфу складає 0,6 [67; 72].

У табл. 1.16 наведено дані щодо поточного технічного потенціалу відновлювального торфу за областями.

Таблиця 1.16

Технічний потенціал відновлюваного торфу за областями України у 2022 р.

Область	Теоретичний потенціал		Технічний потенціал	
	тис. т	тис. т н. е.	тис. т	тис. т н. е.
1	2	3	4	5
АР Крим	–	–	–	–
Вінницька	28,45	8,02	17,07	4,81
Волинська	394,74	111,32	236,84	66,79
Дніпропетровська	0,12	0,03	0,07	0,02
Донецька	1,51	0,43	0,91	0,26
Житомирська	107,74	30,39	64,65	18,23
Закарпатська	0,04	0,01	0,03	0,01
Запорізька	0,94	0,27	0,57	0,16
Івано-Франківська	9,01	2,54	5,41	1,52
Київська	162,05	45,70	97,23	27,42
Кіровоградська	3,65	1,03	2,19	0,62
Луганська	0,06	0,02	0,03	0,01
Львівська	153,33	43,24	92,00	25,94
Миколаївська	0,73	0,20	0,44	0,12
Одеська	0,00	0,00	0,00	0,00
Полтавська	93,58	26,39	56,15	15,83

Закінчення табл. 1.16

1	2	3	4	5
Рівненська	357,47	100,81	214,48	60,49
Сумська	106,55	30,05	63,93	18,03
Тернопільська	49,40	13,93	29,64	8,36
Харківська	4,94	1,39	2,97	0,84
Херсонська	3,93	1,11	2,36	0,66
Хмельницька	57,34	16,17	34,41	9,70
Черкаська	45,85	12,93	27,51	7,76
Чернівецька	0,00	0,00	0,00	0,00
Чернігівська	262,09	73,91	157,26	44,35
Усього по країні	1860,04	524,56	1116,03	314,74

Джерело: складено за матеріалами [72; 74–76]

Поточний технічний потенціал відновлюваного торфу в Україні оцінюється на рівні 314,74 тис. т н. е. Найбільший технічний потенціал відновлюваного торфу зосереджено у Волинській (21 %), Рівненській (18,2 %), Чернігівській (13 %) та Київській (8,4 %) областях.

Енергетичні культури представляють рослини, які спеціально вирощуються для використання їх в якості палива або ж для виробництва на їх основі біопалива. Класичні енергетичні культури можна розділити на кілька видів: однолітні трави, багаторічні трави, швидкоростучі дерева і деревоподібні рослини [72].

Україна має великі площі сільськогосподарських угідь, при цьому частина ріллі є вільною від виробництва сільськогосподарських культур. Ці землі потенційно можуть бути використані для вирощування енергетичних культур [79].

Оцінка потенціалу енергетичних культур передбачає врахування природно-кліматичних особливостей території та незадіяних в сільськогосподарській діяльності площ, які визначаються через різницю між площею ріллі та посівною площею [72, 73, 78]. Вихідні дані для розрахунку вільної площі ріллі за регіонами України наведено в табл. 1.17.

Таблиця 1.17

Розподіл сільськогосподарських угідь та посівні площі сільськогосподарських культур за регіонами України в 2022 р., тис. га

Область	Загальна площа	Сільсько- господарські угіддя	в. т. ч. рілля	Посівна площа	Вільна площа ріллі
1	2	3	4	5	6
АР Крим	—	—	—	—	—
Вінницька	2649,2	2012,0	1730,5	1624,8	105,7
Волинська	2014,4	1047,5	672,3	577,3	95,0
Дніпропетровська	3192,3	2511,5	2126,8	1952,7	174,1
Донецька	2651,7	2044,0	1654,2	1003,8	650,4
Житомирська	2982,7	1504,0	1144,0	1042,3	101,7
Закарпатська	1275,3	450,7	199,9	188,9	11,0
Запорізька	2718,3	2237,9	1900,8	1672,4	228,4
Івано-Франківська	1392,7	621,2	400,7	380,9	19,8
Київська	2895,7	1608,5	1321,1	1190,9	130,2
Кіровоградська	2458,8	2032,0	1769,0	1702,9	66,1
Луганська	2668,3	1906,5	1275,2	825,2	450,0
Львівська	2183,1	1240,0	770,9	674,9	96,0
Миколаївська	2458,5	2000,4	1708,4	1564,8	143,6
Одеська	3331,4	2588,2	2077,0	1860,4	216,6
Полтавська	2875,0	2167,2	1817,2	1719,0	98,2
Рівненська	2005,1	922,0	658,4	574,5	83,9
Сумська	2383,2	1695,0	1234,6	1162,5	72,1
Тернопільська	1382,4	1036,2	851,3	839,2	12,1
Харківська	3141,8	2381,2	1936,9	1792,7	144,2
Херсонська	2846,1	1962,1	1780,0	1396,2	383,8
Хмельницька	2062,9	1561,0	1326,2	1186,2	140,0
Черкаська	2091,6	1449,7	1272,4	1187,7	84,7
Чернівецька	809,6	469,8	330,8	307,4	23,4

Закінчення табл. 1.17

1	2	3	4	5	6
Чернігівська	3190,3	2060,4	1455,9	1271,7	184,2
Усього по країні	60354,9	41329,0	32698,5	27699,3	4999,2

Джерело: складено за матеріалами [78]

Розглянемо потенціал класичних енергетичних культур, які доцільно вирощувати на території України. Такими культурами є верба та міскантус.

Теоретичний потенціал розраховується, виходячи з площі насадження певної культури та її врожайності. Технічно досяжний потенціал визначається, відповідно, через коефіцієнт технічної доступності (0,85) [67, 72, 73].

Припускається, що під енергетичні культури можливо відвести половину вільної площі ріллі, яка планується засаджувати вербою та міскантусом порівну. У табл. 1.18 наведено дані, які характеризують поточний теоретичний та технічний потенціал енергетичної верби в Україні за областями за умови використання 25 % всієї вільної площі ріллі.

Найбільший поточний технічний потенціал енергетичної верби зосереджено у Донецькій – 13 %, Луганській – 9 %, Херсонській – 7,7 %, Запорізькій – 4,6 %, Одеській – 4,3 %, Чернігівській – 3,7 % та Дніпропетровській – 3,5 % областях. У цих областях зосереджено близько 46 % сукупного енергетичного потенціалу енергетичної верби в Україні.

У табл. 1.19 наведено дані, які характеризують поточний технічний потенціал міскантусу в Україні за областями за умови використання 25 % всієї вільної площі ріллі.

Найбільший поточний технічний потенціал міскантусу зосереджено у Донецькій – 1,2 млн т н.е., Луганській – 0,82 млн т н.е., Херсонській – 0,7 млн т н.е., Запорізькій – 0,42 млн т н.е., Одеській – 0,4 млн т н.е., Чернігівській – 0,34 млн т н.е. та Дніпропетровській – 0,32 млн т н.е. областях. У цих областях зосереджено близько 46 % сукупного енергетичного потенціалу енергетичної верби в Україні.

Таблиця 1.18

Технічний потенціал енергетичної верби за областями у 2022 р.

Область	25 % вільної площі ріллі, га	Теоретичний потенціал			Технічний потенціал		
		тис. т/рік	ТДж	тис. т н.е.	тис. т / рік	ТДж	тис. т н.е.
1	2	3	4	5	6	7	8
АР Крим	–	–	–	–	–	–	–
Вінницька	26425	343,53	6355,21	151,79	292,00	5401,93	129,02
Волинська	23750	308,75	5711,88	136,43	262,44	4855,09	115,96
Дніпропетровська	43525	565,83	10467,76	250,02	480,95	8897,60	212,52
Донецька	162600	2113,80	39105,30	934,01	1796,73	33239,51	793,91
Житомирська	25425	330,53	6114,71	146,05	280,95	5197,51	124,14
Закарпатська	2750	35,75	661,38	15,80	30,39	562,17	13,43
Запорізька	57100	742,30	13732,55	328,00	630,96	11672,67	278,80
Івано-Франківська	4950	64,35	1190,48	28,43	54,70	1011,90	24,17
Кіївська	32550	423,15	7828,27	186,98	359,68	6654,03	158,93
Кіровоградська	16525	214,83	3974,26	94,92	182,60	3378,12	80,69
Луганська	112500	1462,50	27056,25	646,23	1243,13	22997,81	549,29
Львівська	24000	312,00	5772,00	137,86	265,20	4906,20	117,18
Миколаївська	35900	466,70	8633,95	206,22	396,70	7338,86	175,29
Одеська	54150	703,95	13023,08	311,05	598,36	11069,61	264,39

Закінчення табл. 1.18

1	2	3	4	5	6	7	8
Полтавська	24550	319,15	5904,28	141,02	271,28	5018,63	119,87
Рівненська	20975	272,68	5044,49	120,49	231,77	4287,81	102,41
Сумська	18025	234,33	4335,01	103,54	199,18	3684,76	88,01
Тернопільська	3025	39,32	727,51	17,38	33,43	618,39	14,77
Харківська	36050	468,65	8670,03	207,08	398,35	7369,52	176,02
Херсонська	95950	1247,35	23075,98	551,16	1060,25	19614,58	468,49
Хмельницька	35000	455,00	8417,50	201,05	386,75	7154,88	170,89
Черкаська	21175	275,28	5092,59	121,63	233,98	4328,70	103,39
Чернівецька	5850	76,05	1406,93	33,60	64,64	1195,89	28,56
Чернігівська	46050	598,65	11075,03	264,52	508,85	9413,77	224,84
Усього по країні	1249800	16247,4	300576,9	7179,2	13810,3	255490,4	6102,28

Джерело: власна розробка

Таблиця 1.19

Технічний енергетичний потенціал міскантусу за областями у 2022 р.

Область	25 % вільної площі ріллі, га	Теоретичний потенціал				Технічний потенціал			
		тис. т/ рік	ТДж	тис. т н.е.	тис. т/ рік	ТДж	тис. т н.е.	8	тис. т н.е.
1	2	3	4	5	6	7	8		
АР Крим	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Вінницька	26425	528,5	9513,0	227,21	449,2	8086,1	193,13		
Волинська	23750	475,0	8550,0	204,21	403,8	7267,5	173,58		
Дніпропетровська	43525	870,5	15669,0	374,25	739,9	13318,7	318,11		
Донецька	162600	3252,0	58536,0	1398,11	2764,2	49755,6	1188,39		
Житомирська	25425	508,5	9153,0	218,62	432,2	7780,1	185,82		
Закарпатська	2750	55,0	990,0	23,65	46,8	841,5	20,10		
Запорізька	57100	1142,0	20556,0	490,97	970,7	17472,6	417,33		
Івано-Франківська	4950	99,0	1782,0	42,56	84,2	1514,7	36,18		
Київська	32550	651,0	11718,0	279,88	553,3	9960,3	237,90		
Кіровоградська	16525	330,5	5949,0	142,09	280,9	5056,6	120,78		
Луганська	112500	2250,0	40500,0	967,33	1912,5	34425,0	822,23		
Львівська	24000	480,0	8640,0	206,36	408,0	7344,0	175,41		
Миколаївська	35900	718,0	12924,0	308,68	610,3	10985,4	262,38		
Одеська	54150	1083,0	19494,0	465,61	920,6	16569,9	395,77		

Закінчення табл. 1.19

1	2	3	4	5	6	7	8
Полтавська	24550	491,0	8838,0	211,09	417,4	7512,3	179,43
Рівненська	20975	419,5	7551,0	180,35	356,6	6418,4	153,30
Сумська	18025	360,5	6489,0	154,99	306,4	5515,6	131,74
Тернопільська	3025	60,5	1089,0	26,01	51,4	925,6	22,11
Харківська	36050	721,0	12978,0	309,97	612,9	11031,3	263,48
Херсонська	95950	1919,0	34542,0	825,02	1631,2	29360,7	701,27
Хмельницька	35000	700,0	12600,0	300,95	595,0	10710,0	255,80
Черкаська	21175	423,5	7623,0	182,07	360,0	6479,6	154,76
Чернівецька	5850	117,0	2106,0	50,30	99,5	1790,1	42,76
Чернігівська	46050	921,0	16578,0	395,96	782,9	14091,3	336,56
Усього по країні	1249800	24996,0	449928,0	10746,35	21246,6	382438,8	9134,39

Джерело: власна розробка

Зведені дані, які характеризують поточний технічний енергетичних потенціал рослинних ресурсів в Україні за видами, представлено у табл. 1.20.

Таблиця 1.20

Поточний технічний енергетичних потенціал рослинної біомаси
за видами у 2022 р., млн. т н.е.

Вид ресурсу	Енергетичний потенціал	
	теоретичний потенціал	технічний потенціал
Солома пшениці	7,48	3,71
Солома ячменю	1,61	0,80
Солома інших зернобобових	0,53	0,26
Солома ріпаку	2,38	1,67
Відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, листя, стрижні початків)	14,07	9,85
Відходи виробництва сояшника (стебла, кошики)	8,11	5,43
Всього первинні відходи с/ г	34,13	21,73
Жом цукрового буряка	0,32	0,28
Лушпиння сояшника	00,61	0,41
Всього вторинні відходи с / г	0,93	0,69
Залишок деревини на лісосіках, W 50 ... 60%	0,14	0,13
Первинні (W 40 ... 45%) і вторинні (W 25 ... 30%) відходи деревообробки	0,56	0,56
Дрова, що вивозяться з лісосіки, W 40 ... 45%	1,00	0,70
Всього відходи лісового господарства	1,71	1,39
Відновлювальний торф	0,52	0,31
Енергетична верба	7,18	6,10
Міскантус	10,75	9,13
Енергетичні культури	17,93	15,23
Всі джерела разом	55,22	39,35

Джерело: власна розробка

Дані, які характеризують поточний технічний енергопотенціал біомаси рослинного походження за видами та областями представлено у табл. 1.21.

Таблиця 1.21

Поточний технічний енергопотенціал рослинної біомаси
за видами та областями у 2022 р., тис. т н. е.

Область	Відходи сільського господар- ства	Відходи лісового господар- ства	Від- новлю- вальний торф	Енерге- тична верба	Міскан- тус	Всього
1	2	3	4	5	6	7
Вінницька	1616,42	60,71	4,81	129,02	193,13	2004,09
Волинська	463,24	126,97	66,79	115,96	173,58	946,54
Дніпропетровська	1479,90	8,43	0,02	212,52	318,11	2018,98
Донецька	236,71	1,62	0,26	793,91	1188,39	2220,88
Житомирська	834,65	222,57	18,23	124,14	185,82	1385,41
Закарпатська	99,20	72,39	0,01	13,43	20,10	205,12
Запорізька	286,19	0,22	0,16	278,80	417,33	982,71
Івано-Франківська	328,15	75,77	1,52	24,17	36,18	465,79
Київська	1229,73	115,33	27,42	158,93	237,90	1769,31
Кіровоградська	1812,06	21,93	0,62	80,69	120,78	2036,08
Луганська	119,16	3,20	0,01	549,29	822,23	1493,89
Львівська	660,14	114,05	25,94	117,18	175,41	1092,72
Миколаївська	839,76	3,00	0,12	175,29	262,38	1280,55
Одеська	1035,31	7,70	0,00	264,39	395,77	1703,18
Полтавська	2313,81	31,08	15,83	119,87	179,43	2660,02
Рівненська	498,49	131,42	60,49	102,41	153,30	946,11
Сумська	1560,56	75,80	18,03	88,01	131,74	1874,13
Тернопільська	1033,27	25,49	8,36	14,77	22,11	1104,00
Харківська	942,00	23,96	0,84	176,02	263,48	1406,30

Закінчення табл. 1.21

1	2	3	4	5	6	7
Херсонська	45,38	0,87	0,66	468,49	701,27	1216,67
Хмельницька	1465,84	69,58	9,70	170,89	255,80	1971,81
Черкаська	1561,79	75,32	7,76	103,39	154,76	1903,02
Чернівецька	245,45	45,60	0,00	28,56	42,76	362,37
Чернігівська	1694,25	101,09	44,35	224,84	336,56	2401,09
Усього по країні	22418,05	1393,00	314,74	6102,28	9134,39	39362,46

Джерело: власна розробка

Найбільший технічний енергопотенціал мають рослинні відходи сільського господарства. Їх частка у структурі технічного енергопотенціалу рослинної біомаси становить 56,7 %. Другим у структурі енергетичного потенціалу твердого біопалива став міскантус – 23,2 %. Частка енергетичної верби склала 15,5 %. Поточний енергетичний потенціал твердого біопалива в Україні оцінюється на рівні 39,35 млн. т н. е.

Найбільший поточний технічний потенціал твердого біопалива зосереджено у Полтавській – 6,76 %, Чернігівській – 6,1 %, Донецькій – 5,64 %, Кропивницькій – 5,17 %, Дніпровській – 5,13 %, Вінницькій – 6,11 %, Хмельницькій – 5,01 %, Черкаській – 4,83 % та Сумській – 4,76 % областях. У цих областях зосереджено близько 49 % сукупного енергетичного потенціалу твердого біопалива України.

Висновки до розділу 1

1. Розроблено науково-аналітичне забезпечення із структурної декомпозиції балансу твердого біопалива у енергетичних потоках національного господарства, що, на відміну від існуючих, визначає напрямки його забезпечення та використання та забезпечує визначення проблем його розвитку за сферами господарювання. За результатами дослідження сформульовано проблему, що тверде біопалива недооцінено в енергетичних потоках національного господарства:

- глибина проникнення твердого біопалива в загальний енергетичний потік національного господарства склала 4 %;
- енергетичний потік твердого біопалива є профіцитним, внутрішнє виробництво в якому перевищує на 3,5 % його потреби;
- у структурі енергокористування твердого біопалива переважають кінцеві споживачі із часткою 58,7 %, тоді як сектором енергоперетворення використовується лише 41,3 % твердого біопалива від загальних його обсягів споживання.

2. Аналіз чинної системи нормативно-правового регулювання виробництва і використання біопалива в Україні виявив недооцінену увагу держави до розв'язання проблеми розвитку його виробництва та використання як найбільш пріоритеного джерела низьковуглецевого розвитку:

- стратегічною метою було забезпечення у 2020 р. частки відновлюваних джерел енергії на рівні 9 %, у т.ч. біопалива – 4,9 %. Однак, у фактичному енергобалансі 2020 р. їх частки склали склала 6,6 % та 4,8 % відповідно. Відтак, можна стверджувати про недосягнення цієї мети.
- в Україні залишилися не впроваджені ряд норм Директив 2009/28/ЄС, міжнародні стандарти сертифікації біопалива, а державна підтримки виробників та споживачів була недостатньою.

3. У роботі на основі аналізу наукових праць зарубіжних і вітчизняних вчених із застосуванням системно-логічного аналізу набула подальшого розвитку сутність поняття «енергетичного потенціалу твердого біопалива». Під поняттям енергетичний потенціал твердого біопалива – розуміється сукупний теоретичний потенціал відновлюваних ресурсів з урахуванням досягнення максимального значення коефіцієнту перетворення такого палива в готові тверді продукти.

У дослідженні було визначено високий енергетичний потенціал твердого біопалива в Україні та виявлено проблему недостатності його використання. У 2022 р. теоретичний рівень енергопотенціалу твердого біопалива склав

55,22 млн т н.е., а технічний склав – 39,35 млн т н.е., тоді як його використано було лише 2,4 % від технічного рівня.

Список джерел до розділу 1

1. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>
2. Паливно-енергетичні ресурси України : стат. зб. Київ : Державна служба статистики України, 2021. 177 с.
3. Енергетичний баланс України за 2020 р. // Державна служба статистики України. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/energ/En_bal/Bal_2020_ue.xls
4. Енергетичний баланс України (продуктовий) за 2020 р. // Державна служба статистики України. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/energ/En_bal_prod/Bal_prod_2020_ue.xls
5. Сапронов Ю. А., Костенко Д. М. Аналіз ринку нафти в Україні. *Проблеми економіки*. 2012. № 4. С. 56–67.
6. Сапронов Ю. А., Костенко Д. М. Аналіз ринку нафтопродуктів в Україні. *Моделювання регіональної економіки*. 2012. № 2. С. 292–306.
7. BP Statistical Review of World Energy 2023 / British Petroleum. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>
8. BP Statistical Review of World Energy 2023 / British Petroleum. URL: https://www.energyinst.org/__data/assets/excel_doc/0007/1055545/EI-stats-review-all-data.xlsx
9. U. S. Energy Information Administration. URL: <https://www.eia.gov/international/data/world>
10. OPEC Annual Statistical Bulletin 2023 // The Organization of the Petroleum Exporting Countries. URL: <https://asb.opec.org/index.php/data-download>

11. Костенко Д. М. Зменшення енерго- та газоемності ВВП України як крок до сталого соціально-економічного розвитку України // Соціально-економічний розвиток України та її регіонів: проблеми науки та практики : тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 23–24 трав. 2013 р.). Харків : ФОП Александрова К. М., 2013. С. 167–171.

12. Костенко Д. М. Ринок природного газу України: стан та перспективи // Конкурентоспроможність та інновації: проблеми науки та практики : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 14–15 листоп. 2013 р.). Харків : ФОП Лібуркіна Л. М., 2013. С. 308–312.

13. Energy balance. Eurostat. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/38154/4956218/Energy-Balances-April-2020-edition.zip/69da6e9f-bf8f-cd8e-f4ad-50b52f8ce616>

14. Зовнішня торгівля окремими видами товарів за країнами світу // Державна служба статистики України. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2020/zd/e_iovt/arh_iovt2020.htm

15. Костенко Д. М. Аналіз ринку рідкого біопалива в Україні. *Моделювання регіональної економіки*. 2017. № 2 (30). С. 334–348

16. Костенко Д. М. Структурний аналіз енергетичного балансу твердого палива в Україні // Конкурентоспроможність та інновації: проблеми науки та практики : тези доп. Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Харків, 13 листоп. 2020 р.). Харків : ФОП Лібуркіна Л. М., 2020. С. 308–313.

17. Про енергозбереження : Закон України від 01.07.1994 № 74/94-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80/ed20201016#Text>

18. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 № 555-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/555-15#Text>

19. Про альтернативні види палива : Закон України від 14.01.2000 № 1391-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/1391-14#Text>

20. Угода про партнерство і співробітництво між Україною і Європейськими Співтовариствами та їх державами-членами. URL: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/998_012

21. Про Загальнодержавну програму адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу : Закон України від 18.03.2014 № 1629-IV. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1629-15>

22. Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства : Закон України від 15.12.2010 № 2787-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2787-17#Text>

23. Договір про заснування Енергетичного Співтовариства від 25.10.2005 № 994_926. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_926#Text

24. Decision on the implementation of Directive 2009/28/EC and amending Article 20 of the Energy Community Treaty: Decision of the Ministerial Council of the Energy Community from 18/10/2012 # D/2012/04/MC-EnC. URL: https://www.energy-community.org/dam/jcr:f2d4b3b8-de85-41b2-aa28-142854b65903/Decision_2012_04_MC_RE.pdf

25. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:en:PDF>

26. Співробітництво з ЄС // Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <https://saee.gov.ua/uk/activity/mizhnarodne-spivrobitnytstvo/eu-integration>

27. Про затвердження плану заходів з імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС. Дорожня карта з розвитку ринку твердого біопалива України : Розпорядження КМУ від 03.09.2014 № 791. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791-2014-%D1%80#Text>

28. Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року : План Держенергоефективності України від 25.11.2015. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15/paran2#n2>

29. Кабінет Міністрів України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/>

30. Міністерство розвитку громад та територій України. URL: <https://www.minregion.gov.ua/>

31. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/>

32. Міністерство енергетики України URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/>

33. Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України. URL: <https://agro.me.gov.ua/ua>

34. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <https://saee.gov.ua/>

35. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: <http://www.nerc.gov.ua/>

36. Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010–2021 роки : Постанова Кабінету Міністрів України від 01.03.2010 № 243-2010-п. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/243-2010-%D0%BF#Text>

37. Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного і місцевих бюджетів : Постанова Кабінету Міністрів України від 10.09.2014 № 453. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/453-2014-%D0%BF#Text>

38. Про стимулювання заміщення природного газу у сфері теплопостачання : Постанова Кабінету Міністрів України від 09.07.2014 № 293. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/293-2014-%D0%BF#Text>

39. Про порядок видачі свідоцтва про належність палива до альтернативного : Постанова Кабінету Міністрів України від 05.10.2004 № 1307. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1307-2004-%D0%BF#Text>

40. Про затвердження Плану коротко- та середньострокових заходів щодо скорочення обсягу споживання природного газу на період до 2017 року : Постанова Кабінету Міністрів України від 16.10.2014 № 1014. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1014-2014-%D1%80#Text>

41. Енергетична стратегія до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 № 145-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#Text>

42. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» : Розпорядження Кабінету Міністрів від 18.08.2017 № 605-2017-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>

43. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року : Розпорядження Кабінету Міністрів від 01.10.2014 № 902-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80#Text>

44. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>

45. Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії : Закон України від 04.06.2015 № 514-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/514-19#Text>

46. Кизим М. О., Котляров Є. І. Аналіз діючого порядку обґрунтування тарифів на виробництво, постачання та споживання теплової енергії. *Бізнес Інформ*. 2020. № 3. С. 373–381.

DOI: 10.32983/2222-4459-2020-3-373-381

47. Кизим М. О., Лелюк О. В., Костенко Д. М. Оцінка і діагностика розвитку розподіленої енергетики в Україні. *Проблеми економіки*. 2018. № 4 (38). С. 56–67.

48. ПрАТ «Національна енергетична компанія «Укренерго». URL: <https://ua.energy/>

49. Про ліцензування видів господарської діяльності : Закон України від 02.03.2015 № 222-VIII (із змінами). URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/222-19>

50. Документування найкращих практик застосування біоенергетичних технологій в муніципальному секторі в Україні. Проект UNDP, GEF, 2015. URL: http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/2a/3d/2a3da499-5057-4a5f-8e5b-565a52daf34c/dokumentuvannia_naikrashchikh_praktik_zast_bioenerget_tekhnologii.pdf

51. Про технічні регламенти та оцінку відповідності : Закон України від 15.01.2015 № 124-VIII. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/124-19>

52. Про стандартизацію : Закон України від 05.06.2014 № 1315-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18#Text>

53. ДСТУ 7124:2009 «Лушпиння соняшнику пресоване гранульоване. Технічні умови» уведено в дію 01.01.2012, внесено зміни у 2014 році. URL: http://auek.kpi.ua/Standarts_energy/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20EN%207124-2009.pdf

54. Економічне обґрунтування доцільності переходу на опалення твердим біопаливом. Гармонізація українських стандартів та стандартів ЄС : посібник. 2014 р. URL: [http://sae.gov.ua/documents/Posibnik_for-web-UUP-2014%20\(1\).pdf](http://sae.gov.ua/documents/Posibnik_for-web-UUP-2014%20(1).pdf)

55. Наказ ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» від 21.08.2015 № 101. URL: http://www.leonorm.lviv.ua/p/NL_DOC/UA/2015/Nak_101.htm

56. Гелету́ха Г. Г., Желєзна Т. А., Драгнев С. В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. Аналітична записка №20 Біоенергетичної асоціації України. 18 травня 2018. URL: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2018/05/position-paper-uabio-20-ua.pdf>

57. Система сертифікації ENplus. URL: <https://enplus-pellets.eu/en-in/>
58. Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements: ISO 17225-1:2014. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:17225:-1:ed-1:v1:en>
59. Коломийченко М. В. Дорожня карта розвитку ринку твердого біопалива України. Проект ПРООН/ГЕФ «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні». 18 листопада 2016. URL: http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia_karta_z_rozvitku_rinku_tverdogo_biopaliva_ukrayini.pdf
60. Гелету́ха Г. Г., Желе́зна Т. А., Драгне́в С. В. Аналіз можливостей виробництва і споживання паливних брикетів з біомаси сільськогосподарського походження в Україні. Частина 2. Теплофізика та теплоенергетика. 2019. Т. 41. № 1. С.67–73.
61. Energy Community Secretariat's Review of the National Energy Regulatory Authority of Ukraine. Energy Community Secretariat. URL: https://www.energy-community.org/dam/jcr:6eb10b22-ca6a-4c43-8c9f-f3614dab3c91/ECS_NEURC_reg_report_032018.pdf
62. Костенко Д. М. Законодавче та нормативно-правове забезпечення стимулювання використання та виробництва біопалива в Україні // Конкурентоспроможність та інновації: проблеми науки та практики : тези доп. Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Харків, 14 листоп. 2019 р.). Харків : ФОП Лібуркіна Л. М., 2019. С. 409–411.
63. Сучасний енциклопедичний словник. Київ : Ранок, 2017. 624 с.
64. Голубовська О. В. Сутність поняття «енергетичний потенціал». *Економіка АПК*. 2009. № 11. С. 44–46.
65. Базюк Т. М. Особливості оцінки енергетичного потенціалу та зміни енергетичного балансу регіону. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2013. Спецвипуск. С. 27–30.
66. Коваленко Т. О. Оцінка енергетичного потенціалу та напрямків його підвищення для Запорізької області. *Ефективна економіка*. 2013. № 3. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1870>

67. Сизонова І. В. Енергетичний потенціал як об'єкт аналізу використання та збереження енергії. *Вісник Сумського державного аграрно-го університету. Серія Економіка*. 2004. № 1. С. 160–166.

68. Єфімова Г. В. Оцінка економічної ефективності інвестицій в енергозбереження в промисловості (на прикладі машинобудування) : дис. ... канд. екон. наук : 08.07.01. Одеса, 2002. 185 с.

69. Кітченко О. М. Сутність та складові потенціалу енергозбереження промислового підприємства в умовах трансформації економіки. *Економіка та управління підприємствами*. 2012. № 2. С. 136–143.

70. Гелетука Г. Г., Железна Т. А., Жовмір М. М., Матвеев Ю. Б., Дроздова О. І. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 1. Відходи сільського господарства та деревна біомаса. 2010. Т. 32, № 5. С. 58–65.

71. Енергетичний потенціал біомаси в Україні / за ред. П. І. Лакида. Київ : Видав. центр НУБіП України, 2011. 28 с.

72. Костенко Д. М. Оценка энергетического потенциала биомассы в областях Украины // Соціально-економічний розвиток України та її регіонів: проблеми науки та практики : тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 22–23 трав. 2015 р.) Харків : ФОП Александрова К. М., 2015. С. 171–177.

73. Антоненко С. В., Костенко Д. М. Оцінка потенціалу місцевих енергетичних ресурсів регіону. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2015. Вип. 14. Ч. 1. С. 100–103.

74. Антоненко С. В., Костенко Д. М. Потенціал місцевих енергетичних ресурсів // Конкурентоспроможність та інновації: проблеми науки та практики : тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 18–19 листоп. 2015 р.). Харків : ПП Лібуркіна А. М., 2015. С. 318–322.

75. Костенко Д. М. Оцінка потенціалу виробництва біопалива в регіонах України. *Моделювання регіональної економіки*. 2017. № 1 (29). С. 279–292.

76. Статистичний щорічник України за 2022 рік / за ред. І. Є. Веренера. Київ : Державний комітет статистики України, 2023. 387 с.

77. Федірко М. М., Солтис Д. І., Овчарук О. В. Проблеми вирощування енергетичних культур в Україні // Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика : зб. тез доп. II Міжнар. наук. інтернет-конф. (м. Тернопіль, 20 листоп. 2020 р.). Тернопіль : ЗУНУ, 2020. С. 180–183.

2.1. Класифікація та характеристика енергетичних культур як сировинної бази виробництва твердого біопалива

Для України біоенергетика є одним зі стратегічних напрямів розвитку сектора відновлюваних джерел енергії [1]. Цей вид енергетики як енергоресурс використовує органічні речовини рослинного або тваринного походження (біомасу), котрі мають енергетичну цінність і можуть бути використані як паливо [2].

Джерелом палива є біомаса, до якої відносять усю рослинну та вироблену тваринами субстанцію. Під час використання біомаси в енергетичних цілях для виробництва тепла, електроенергії і палива розрізняють енергетичні рослини й органічні відходи. Органічні відходи виникають у сільському, лісовому, домашньому господарстві й промисловості, тобто відходи деревообробки, солома, трава, листя, гній, органічні відходи домашнього господарства тощо. Енергетичні рослини представляють швидкорослі сорти багаторічних дерев, кущів і трав, а також спеціальні однорічні рослини з високим вмістом сухої маси для використання як твердого, так і рідкого біопалива [3].

Зібрану біомасу використовують для виробництва теплової й електричної енергії, вона може бути сировиною для виробництва твердого біопалива як паливні гранули та брикети. Біомаса може бути перетворена на різноманітні енергоносії: тверде біопаливо, рідке біопаливо (біодизель і біоетанол), а також біогаз [4].

Однорічні та багаторічні трав'яні рослини, дерева здавна використовують як промислову сировину, а нещодавно – і як енергетичні культури, а органічні рештки (гній, солома, рідкі органічні відходи, компост) – для виробництва біоенергії [5]. Нині відомо близько 20 видів

швидкорослих рослин, які можна вирощувати для одержання рослинної біомаси. Це евкаліпт, тополя, верба, міскантус тощо [4].

Сучасний тренд до декарбонізації обумовлює виникнення нового виду сільськогосподарської діяльності – вирощування енергетичних культур, які в подальшому можуть бути використані безпосередньо як паливо або для виробництва біопалива.

Однак сьогодні у світі не існує єдиної загальноприйнятої класифікації, що застосовується для таких культур. Енергетичні культури розрізняють за такими категоріями [6]:

- циклом вирощування: однорічні (напр. ріпак, соняшник) та багаторічні (верба, тополя);
- типом: деревоподібні (верба, тополя), трав'янисті (міскантус, просо прутоподібне);
- характеристикою та отримуваним кінцевим продуктом: олійні (ріпак / соняшник для виробництва біодизелю), крохмало- та цукровмісні (цукровий буряк / кукурудза для виробництва біоетанолу), лігноцелюлозні (верба / тополя для безпосереднього виробництва теплової та електричної енергії, виробництва твердих біопалив або отримання рідких біопалив 2-го покоління);
- походженням: класичні культури, призначені виключно для енергетичних цілей (міскантус, двокісточник тростиноподібний) та звичайні сільськогосподарські культури подвійного призначення, що можливо вирощувати як для отримання харчових продуктів, так і з метою виробництва біопалив (ріпак, цукровий буряк, кукурудза).

Для країн ЄС складено таблиці та карти із зазначенням культур, рекомендованих для різних кліматичних зон [7]. Для континентальної зони вважаються доцільними такі культури, як верба, тополя, міскантус, двокісточник тростиноподібний; для півночі середземномор'я – тополя, міскантус; для півдня середземномор'я – арундо тростинний, евкаліпт [8].

Державний реєстр сортів рослин в Україні відображає характеристики придатності сортів рослин для вирощування та напрямки їх використання. У чинному реєстрі (станом на 28.10.2020 р.) до сортів рослин біоенергетичного напрямку використання включено (табл. 2.1): 4 сорти міскантусу гігантського; 2 – міскантусу цукроквіткового; 2 – міскантусу китайського; 3 – проса прутоподібного; 8 – верби прутівидної; 4 – верби тритичинкової; 1 – верби білої; 4 – павловнії [9].

Таблиця 2.1

Перелік сортів рослин біоенергетичного напрямку використання в Україні

Назва сорту	Рік реєстрації	Рекомендована зона вирощування
1	2	3
Верба прутівидна <i>Salix viminalis</i> L.		
Катя / Katia	2019	СЛП
М1 / M1	2019	СЛП
Панфільська 2 / Panfyl's`ka 2	2014	ПЛ
Марцияна / Martsyiana	2013	П
Збруч / Zbruch	2018	СЛП
LINNEA / LINNEA	2014	ПЛС
Wilhelm / Wilhelm	2014	С
Євангеліна / Yevanhelina	2019	СЛП
Верба тритичинкова <i>Salix triandra</i> L.		
Панфільська / Panfyl's`ka	2014	ПЛ
Ярослава / Yaroslava	2018	ЛП
Верба біла <i>Salix alba</i> L.		
CORVINUS / Corvinus	2016	ПЛС
Міскантус гігантський <i>Miscanthus x giganteus</i> J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoiz		
Біотех / Biotekh	2017	СЛП
Гулівер / Huliver	2015	ПЛ
Осінній зорецвіт / Osinnii zoretsvit	2015	ЛП
Верум / Verum	2014	ПЛС

Закінчення табл. 2.1

1	2	3
Міскантус цукровітковий <i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim) Benth.		
Снігопад / Snihopad	2015	ПЛ
Снігова королева / Snihova koroleva	2015	ПЛ
Міскантус китайський <i>Miscanthussinensis</i> Anderss.		
Місячний промінь / Misiachnyi promin`	2015	ЛП
Велетень / Veleten	2017	ЛП
Просо прутоподібне <i>Panicum virgatum</i> L.		
Морозко / Morozko	2015	ЛП
Зоряне / Zoriane	2015	ЛП
Лядовське / Liadovske	2018	ЛП
Павловнія <i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.		
Квінерджи / Kvinerdzhy	2020	СЛП
Cotevisa 1 / Cotevisa 1	2019	СЛП
Лілов / Lilov	2020	СЛП
Cotevisa 2 / Cotevisa 2	2019	СЛП

Позначення: П – Полісся; Л – Лісостеп; С – Степ

Джерело: складено за матеріалами [9]

Серед швидкозростаючих деревних енергетичних культур найбільш поширеними в багатьох країнах Європи, в т. ч. і в Україні, є верба (*Salix*) та тополя (*Populus*). Існує також ряд інших швидкозростаючих культур, а саме: акація біла (*Robinia Pseudoacacia* L.), евкаліпт (*Eucalyptus*), вільха (*Alnus*), ясен (*Fraxinus*), береза (*Betula*), проте досвід їх вирощування для потреб енергетики наразі є слабо вивченим [10].

Порівняльну характеристику енергетичних рослин для виробництва твердого біопалива наведено в табл. 2.2.

Перспективні енергетичні культури для вирощування в Україні наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.2

**Порівняльна характеристика енергетичних рослин
для виробництва твердого біопалива**

Культура	Вихід сухої маси, т/га/рік	Нижча теплота згоряння, МДж/кг сух. м	Виробництво енергії, ГДж/га	Вміст води в момент збору врожаю, %	Зола, %
Міскантус	8-32	17,5	143-560	15	3,7
Світчграс	9-18	18	н/д	15	6,0
Верба	8-15	18,5	280-315	53	2,0
Тополя	9-16	18,7	170-300	49	1,5
Очерет	6-12	16,3	100-130	13	4,0
Коноплі	10-18	16,8	170-300	н/д	н/д
Тростина	15-35	16,3	245-570	5,0	5,0

Джерело: складено за матеріалами [11]

Таблиця 2.3

Перспективні енергетичні культури для вирощування в Україні

Енергетична культура	Вимоги до ґрунту, рН	Кількість опадів, мм/рік	Температура, °С	Життєвий цикл, років	Періодичність збору врожаю	Урожайність, т/рік
Верба	5-7	650-700	15-26	20-25	1 раз на 3 роки	12,4-22,7
Тополя	6	>600	15-25	20-25	1 раз на 2-3 роки	10-20
Міскантус	5,5-7,5	500-700	25-32	до 20	Щорічно	15-20
Просо прутноподібне	5,5-7	380-760	—	10-15	Щорічно	7-14
Сорго багаторічне	5-8,5	460-760	—	8-10	Щорічно	10-17

Джерело: складено за матеріалами [13]

Вибір енергетичної культури для промислового вирощування залежить від кількох природних чинників: типу ґрунту, вологості ґрунту / кількості опадів, виду ландшафту. Лише невелика кількість видів рос-

лин, які досліджувалися, визнані економічно доцільними для промислового вирощування на великих плантаціях [12].

Надалі надамо порівняльну характеристику вищезазначених енергетичних культур і визначимо, які найбільш придатні для вирощування в Україні.

1. Верб – рід дерев, кущів або напівкущів родини вербових, до якого відносять загалом близько 400 видів. Для потреб енергетики зазвичай вирощують швидкозростаючий сорт верби прутувидної (*Salix Viminalis*) [14].

Енергетична верба – екологічно чиста сировина, використовується як відновлюване тверде біопаливо органічного походження, яке при згорянні в котлах не порушує баланс вуглецю в атмосфері. Цей різновид твердого біопалива є придатним для промислового вирощування з метою виробництва біопалива та виробництва з нього теплової та електричної енергії за ціною, удвічі меншою порівняно з використанням газу [15].

Верб (*Salix spp.*) – деревоподібна культура, що дає змогу створювати високопродуктивні плантації з тривалим терміном експлуатації. Представляє кущ або кущоподібне дерево висотою до 6–8 м. У природі кущоподібну форму такої верби часто можна зустріти берегами річок, переважно в північній та західній частині України. Для комерційного вирощування використовують селекційні сорти верби, що характеризуються більш швидкими темпами щорічного приросту біомаси на 1 га, підвищеною стійкістю до шкідників і збудників хвороб рослини, морозостійкістю та мінімальними вимогами до ґрунтів. Енергетична верба дозволяє створювати високопродуктивні плантації з продуктивним терміном до 25–30 років. Зазвичай енергетична верба росте густо, має велику кількість пагонів, якими досить легко розмножується. Культура характеризується високими показниками приросту довжини стебла – до 3–5 см на день, у середньому – 1,5 м за рік. Насадження верби залишаються продуктивними 20–30 років, а врожай протягом цього періоду можна збирати кожні 2–3 роки. Середній урожай верби становить 15–20 т сухої маси з 1 га за рік, а за особливо сприятливих умов

може досягати 30–40 т/га за рік. Ступінь виснаження землі вербою у 3–5 разів нижче, ніж зерновими культурами, до того ж близько 60–80 % поживних речовин повертаються у землю разом із опалим листям [16]. А також верба ідеально підходить для рекультивациі забруднених і малопродуктивних земель, виводить із ґрунту важкі метали, пестициди та ефективно застосовується в протиерозійних заходах для зміцнення ґрунтів [17]. Збір верби проводять після завершення вегетаційного періоду, з жовтня–листопада до березня–квітня, однак переважно це проводиться у зимовий період. Протягом перших двох років зібрану вербу використовують у виді садивного матеріалу, а далі – як біомасу. Діаметр стовбура верби перебуває в межах 10–12 мм. Перший збір проводять через 3–4 роки з моменту висадки, коли рослина досягає 5–6 м у висоту. Наступного року після збирання верба відростає ще раз. Збір урожаю верби проводиться з використанням звичайних силосозбиральних комбайнів, потім її подрібнюють і виготовляють паливні брикети (пелети) [18]. Особливістю культури є те, що вона може випаровувати з ґрунту велику кількість води, тим самим вирішити проблему осушення ґрунтів із великим обсягом підземних вод і захистити землю від заболочування. Під час згоряння верба не виділяє жодних шкідливих продуктів, а також має високу тепловіддачу: 1 т рослин замінює понад 500 м³ природного газу або 700 кг бурого вугілля [19].

Енергетична верба позитивно впливає на екологію та довкілля: 1 га плантації поглинає з повітря понад 200 т CO₂ за 3 роки. Плантації енергетичної верби є природними фільтрами для видалення відходів агропромислового виробництва, використовуються як буферні зони в місцях накопичення біологічних відходів фермерських господарств та очищення ґрунтів від пестицидів. Рослина підходить для засадження на забруднених і малопродуктивних землях й ефективно застосовується в протиерозійних заходах для укріплення ґрунтів. Навколо плантацій збільшується біологічне різноманіття флори та фауни. Верба – дуже вологолюбна рослина, тому клімат на півночі України сприятливий для її вирощування [16–20].

2. Міскантус – багаторічна трав'яниста рослина сімейства злакових. Міскантус – багаторічна злакова культура, яку впродовж бага-

тьох років вирощують в Америці та Західній Європі як джерело біоенергії. У дикому стані він росте і використовується для опалення на території майже всієї Південно-Східної Азії і Центральної Америки. У Європу міскантус уперше потрапив у XVI ст. з Китаю, де використовувався як протирозійна рослина. Спочатку вважався декоративною рослиною, і лише в 1935 р. датський науковець А. Ольсен привіз японський клон міскантусу, який став вихідним пунктом для селекції рослин, що зараз використовуються для промислового вирощування у всій Європі. Ґрунтова селекційна робота в цьому напрямку розпочалася в 1983 р. на станції селекції рослин у Данії. Це стало відправною точкою для інтенсивного дослідження рослини в багатьох країнах Європи: Німеччині, Великій Британії, Італії, Франції, Іспанії, Польщі [21]. У природному середовищі ці рослини досягають заввишки 6 м, діаметр стебла – 6 см, а вегетація може тривати 30 років. Міскантус гігантський (*Miscanthus Giganteus*), який зараз найбільше використовується в Україні та інших європейських країнах, – щорічно відновлювана сировина рослинного походження з високою теплотворною здатністю (стебла містять 57 % целюлози). Це багаторічна культура – тривалість використання плантації – до 25 років без додаткових витрат. Продуктивність плантації практично не залежить від зовнішніх умов, це пов'язано з мінімальними аграрними ризиками, рослина успішно культивується на малопродуктивних землях. Висаджувати міскантус можна навіть на низькопродуктивних, забруднених важкими металами й відходами ґрунтах. Рослина невимоглива до якості ґрунту та зимостійка. Міскантус потребує в 10 разів менше витрат на отримання 1 т біомаси, ніж солома [22]. За рахунок високої врожайності сухої біомаси (до 25 т/га), високої теплотворної здатності (5 кВт*год/кг, або 18 МДж/кг), низької природної вологості стебел на час збирання (до 25 %) міскантус є найефективнішою порівняно з іншими сільськогосподарськими культурами рослиною для виробництва твердого біопалива: 1 тонна сухої маси міскантусу еквівалентна 400 кг сирової нафти, 1,7 т деревини, 515 м³ природного газу або 620 кг кам'яного вугілля. За підрахунками, 500 тис. га міскантусу відповідають 6,5 млн т вугілля [17]. Стебла міскантусу можуть бути заввишки до 4 м і містять 64–

71 % целюлози, що зумовлює його високу енергетичну цінність [23]. Міскантус не потрібно досушувати, він засихає на корені й не замокає під час осінніх злив. Листя обпадає й удобрює ґрунт, воно золисте, а тому в ньому багато азоту й інших речовин. За 4 роки вона накопичує до 10 т органічної речовини в ґрунті [17]. Біомасу можна збирати щорічно за допомогою звичайних кормозбиральних комбайнів, а отримана маса може йти безпосередньо на вироблення тепла або перероблятися у паливні брикети чи гранули [17; 21-23].

За даними Черкаського центру метрології та стандартизації, міскантус має ще одну надзвичайно корисну і ще не вивчену до кінця властивість: рослина здатна зменшувати радіаційне забруднення ґрунту. Із землі радіація зникає, а в рослині не накопичується. У зоні радіоактивного забруднення обмежене вирощування продовольчих культур, а отже, є можливість замінити їх культурами енергетичними [24].

Міскантус, на відміну від інших видів енергетичних культур, має ширше коло застосування. Окрім енергетичних потреб, він може використовуватися в хімічній галузі як компонент для експлуатаційних матеріалів і споживчих хімічних речовин. Волокна міскантусу використовуються для виробництва ДВП/МДФ-плит, картону, паперу та целюлози, біокомпозитів і біопластиків та як компонент «зеленого» біобетону. Для генерації тепла та електроенергії міскантус використовують у виді соломи, підсушених гранул, пелет і тріски [21].

3. Світчграс (*Panicum virgatum*), або **просо прутоподібне**, є новою перспективною енергетичною культурою для України, що належить до багаторічних злакових культур. Світчграс є прямостоячою теплолюбивою багаторічною рослиною, що росте у преріях і подібна до кущового злаку. Протягом довгого часу в Африці та Америці світчграс застосовувався для консервації земель та у виді кормової культури. Сьогодні його вирощують з метою попередження ерозії ґрунтів та для сталості природних умов. У Європі – з декоративною метою. Світчграс може рости на всіх типах ґрунтів, він невимогливий до вмісту води та поживних речовин у ґрунті, стійкий до шкідників та хвороб. Корінь світчграсу добре розвинений і може сягати до 3 м у глибину.

Є посухостійкою культурою, добре переносить спеку в літні місяці. Багаторічна трав'яниста рослина може рости на одному місці протягом 10–15 років. Висота рослини залежно від сорту та кліматичних умов і становить 180–250 см. Продуктивність коливається у межах від 15 до 20 т сухої речовини. Порівняно з міскантусом ця культура є менш продуктивною, але її перевага полягає у посухостійкості, тому вона ідеально підійде для вирощування у південних областях України [25].

Існують два основних екотипи світчграсу: низовинні та височинні. Низовинні види вирощуються на вологих ґрунтах – вони мають високі, товсті, грубі стебла, які ростуть кущами. Височинний тип адаптований до сухого клімату і має тонші стебла, ніж низовинні, та більшу їх кількість [26].

Він може розмножуватися як кореневищем, так і насінням. До переваг світчграсу необхідно віднести [7]:

- незначну потребу у використанні пестицидів - високий показник стійкості рослин до хвороб і шкідників;
- перешкоджання утворенню ерозії ґрунтів - величина використання пестицидів і ерозія на 90 % та 95 %, відповідно;
- збереження природних умов - є можливість використовувати земельні угіддя, що непридатні для ведення сільського господарства;
- покращення якості ґрунтів;
- низька собівартість.

Отже, незначні ризики при вирощуванні вимагають незначних капіталовкладень, при цьому дає високу врожайність біомаси навіть на непродуктивних землях. При сівбі добрі результати отримують при загортанні насіння на глибину 0,5–1,0 см. Вимагає доброго вологозабезпечення в період проростання насіння. В перший рік після посіву дуже чутливий до забур'яненості (особливо сходи), потребує інтенсивного захисту. Врожайність світчграсу в перший рік невисока та збільшується поступово з 5–6 т/га в перший рік до 10–12 т/га у другому та 18–20 т/га третьому роках вирощування. Невисокий вміст золи (4,1 %)

в сухій біомасі робить культуру перспективною для створення низькозольної паливної продукції. Світчграс володіє складовими, типовими для біопаливної біомаси: близько 6 % водню, 43 % кисню та 50 % вуглецю. Відносно низький вміст натрію та калію разом із підвищеною кількістю магнію та кальцію у біомасі дозволяють отримати вищу температуру згоряння, що, своєю чергою, знижує ймовірність шлакування в процесі спалювання [7].

Світчграс може рости на різних типах ґрунтів, він є невибагливим до кількості поживних речовин і вологи в ґрунті та володіє позитивним впливом на навколишнє середовище. Світчграс позитивно впливає на збереження родючості ґрунту, використовується для виробництва твердого палива у вигляді брикетів і гранул, а також виробництва волокна, етанолу та бутанолу, а також може бути використаний для годівлі тварин. Основними шляхами використання світчграсу є виробництво електроенергії через газифікацію, комбіноване спалювання на вугільних заводах, виробництво етанолу для пального та виробництва паливних гранул [27].

4. Тополя (*Populus*) – швидкоросле світлолюбне дерево, деякі екземпляри ростуть по 120–150 років. Нараховується близько 150 видів, з яких в Україні придатними до вирощування є 11. Найбільш поширеними є: осика або тополя тремтяча (*P. tremula* L.), осокір або тополя чорна (*P. nigra* L.), тополя бальзамічна (*P. balsamifera* L.), тополя пірамідальна (*P. pyramidalis* Moench), тополя біла (*P. alba* L.), тополя канадська або дельтолиста (*P. deltoides* Marsh.) [28].

Тополі широко застосовуються при озелененні міст і у парках. Деревина тополі є м'якою, легкою, білою, її використовують у будівництві, при виробництві паперу, сірників, фанери, штучного шовку. Тополя є близьким родичем верби (родина вербові (*Salicaceae*)). Аналогічно до верби, у Західній Європі її вирощують на паливо. У наших кліматичних умовах порівняно із іншими породами дерев тополя має найбільший приріст. Для росту тополі потрібна велика кількість вологи та світла. У зв'язку з цим найбільшим виходом біомаси будуть мати

земельні угіддя у долинах річок. Вимогливість тополі до кислотності ґрунту подібна до такого ж показника для верби, тобто оптимальний рівень $pH=6,5-7,2$ [28].

Тополю досить давно використовують як енергокультуру з огляду на її швидкий ріст і стійкість до шкідників і можливість вирощування на бідних ґрунтах. Здебільшого вона не потребує застосування пестицидів і добрив. Виявлена можливість її вирощування на забруднених землях. Останнім часом у зв'язку з порівняно швидким ростом та утворенням біомаси, насадження тополі все активніше використовують як регенеративне джерело енергії для виробництва біопалива. Її деревина досить легка, широко використовується в технічних цілях [28]. Чотири кубометри деревини замінюють 1000 м^3 газу, шкідливі викиди, порівняно з дизельним паливом, скоротяться на 90 %. Тополя вбирає в себе велику кількість вуглекислого газу, завдяки їй можна отримати екологічно чисте паливо. Тополя стійка до шкідників, може рости на бідних ґрунтах і забруднених землях, однак вона менш морозостійка, ніж верба. Культура практично не вимагає застосування пестицидів і добрив. Із плантації енергетичної тополі можна отримувати біомасу в обсязі 8–15 сух. т/га в рік, а на хороших ґрунтах нові клони можуть давати до 16–20 сух. т/га в рік. Термін існування плантації енергетичної тополі – 15–20 років, а біомасу протягом цього періоду можна збирати через кожні три-шість років [11].

Подібно до інших енергетичних рослин, наприклад міскантусу та свічграсу, тополя також може рости на малородючих ґрунтах, непридатних для виробництва продуктів харчування, зводячи до мінімуму конкуренцію між біоенергетичними і продовольчими культурами [7].

Енергетична тополя належить до багаторічних деревовидних енергетичних культур. Технологія вирощування енергетичної тополі схожа до технології вирощування енергетичної верби. Агротехнологічні вимоги: густота посадки – до 9000 шт./га, а оптимальна довжина саджанця – 25 см [22].

5. Сильфій пронизанолистий – перспективна багаторічна енергетична культура, яка у природних умовах росте в американських пре-

ріях і в Канаді. В Європу її завезли у XVIII ст. як декоративну рослину. Сильфій вегетує без пересівання, не знижуючи врожаю біомаси близько 20 років. Урожайність зеленої маси – 100–120 т/га і більше. За екологічністю сильфій – найкраща з-поміж усіх рослин, відзначається цінними біологічними і господарськими властивостями, а саме: ефективно використовує сонячну радіацію майже однаково як влітку, так і весною та восени; забезпечує не тільки високі, але і сталі врожаї зеленої маси з великим вмістом протейну, вітамінів, амінокислот і мінеральних речовин. У фазі бутонізації урожайність зеленої маси становить 50–60 т/га, цвітіння – 70–80 і плодоношення – 90–110 т/га. При довготривалому використанні за 2 укоси, залежно від форми, формує врожай надземної маси 100–140 т/га, сухої речовини – 19–31 т/га [29].

В умовах України сильфій росте 2,3–3,0 м заввишки. Стебло пряме, добре олистнене, товсте, чотири- і шестигранне. Кількість продуктивних стебел у кущі становить від 6 до 12 шт. Листки темно-зеленого кольору, жорсткі, зазубрені, довжиною 30 см і шириною 13–15 см. Коренева система масивна, добре розвинута. Сходи з'являються весною при температурі +8...+10 °C і витримують заморозки до - 3...4 °C. Енергетична цінність отриманої біомаси з 1 га (10–12 т) оцінюється в 175–210 ГДж, що дорівнює 4,0–4,8 т дизпалива [19].

6. Пенсільванська мальва – вид Сіда, що належить до родини мальвових, охоплює декілька сотень видів однорічних рослин, багаторічних і кущів, що зростають в тропічних і субтропічних зонах земної кулі. Біомаса цієї культури є перспективним джерелом відновлюваної енергії [30]. За утворенням тепла при спалюванні стебла мальви поступаються лише буковій деревині (на 20–34 %). На прикладі форми листів можна спостерігати великий поліморфізм у пенсільванської мальви. Можна відокремити форми менш листяні, так звані стеблові, більш придатні до спалювання, і форми більш листяні, які більш підходять для виробництва біогазу. Пенсільванська мальва має сильну кореневу систему. У першому році вона розвивається повільно, але в наступних роках інтенсивно розростається. Головний корінь вже на третьому році вегетації сягає в глибину ґрунту понад 120 см. У горизонтальній площині корені поширюються на відстань 70–100 см.

Частина бічних коренів росте горизонтально під поверхнею ґрунту і на них, особливо в основній його частині, створюються зростові паростки, з яких весною виростають нові відростки. У місцевих умовах мальва може зростати на одному місці до 15–20 років. Завдяки довгій кореневій системі ця рослина стійка до періодичних посух, придатна для обробітку у всіх районах країни. Довговічність плантацій мальви, швидкокерованість її обробітку, а також високі адаптаційні можливості до різних ґрунтово-кліматичних умов вказують на потенційні можливості збільшення площ вирощування даної культури. Для цього можуть бути використані деградовані, засмічені території і промислові звалища. Пенсільванську мальву також можливо вирощувати на схилах і еродованих територіях, і загалом на ґрунтах, виключених із сільськогосподарського використання [31].

Найбільш перспективним напрямом подальшого використання мальви є застосування біомаси в енергетичних цілях. Стеблові форми найкраще підходять для спалювання, а листові форми – для виготовлення біогазу, хоча в останньому випадку є тільки теоретичні можливості, тому що на цей час майже відсутні дослідження в цьому напрямку. Восени при перших заморозках, мальва втрачає листки, стебла – вологість. Зібрані в цьому стані рослини придатні для спалювання, виробництва брикетів, а також пелет. Окрім спалювання, можливі і інші методи переробки пенсільванської мальви на енергію, наприклад, бродіння метанового силосу зі свіжих рослин. Мальва може використовуватись як біопаливо у формі пелет, брикетів, виготовлених із сухої біомаси. Із 1 гектару можна отримати 5,4 т сухої маси, або 234,8 Гдж енергії [11].

7. Павловнія – унікальне швидкозростаюче дерево – можна використовувати для виробництва паливних брикетів і пелет. Павловнія росте набагато швидше, ніж тополя і верба. Її щорічний приріст не має собі рівних – 3–5 м, а вже за 5 років висота досягає максимуму – 20 м. Павловнія має розгалужений стрижневий корінь, який досягає глибини 6–9 м, плоди – дерев'яні капсули довжиною 10 мм, порівняно гладку кору світло-сірого кольору. Діаметр стовбура 2-річного дерева має окружність до 14 см, 3–4-річного – до 20–24 см, діаметр дорослого

дерева (до 20 років) досягає 1 м. Батьківщиною більшості видів роду рослин сімейства павловнієвих (Paulowniaceae) є Східна Азія – Японія, Корея, Китай, Лаос, В'єтнам. Всі види павловнії, вирощені у комерційних цілях, є клонами, які ідентичні рослинам зі специфічними характеристиками: приміром, гібрид павловнії Fortunei має властивість швидко рости та високу якість деревини, а Tomentosa – відомий своєю стійкістю до морозів, також вирощують Paulownia Elongata і похідні гібриди, які також дають чудові результати [32]. Деревина придатна для виробництва пелет, енергетична цінність яких складає 4211,1 ккал/кг (2 кг гранул павловнії еквівалентно 1 л дизельного палива), з листя можна виробляти біогаз. Також павловнія може бути використана як сировина для виробництва біоетанолу: сьогодні є технології, які дозволяють отримати з 1 т сухої деревини до 0,5 т етанолу. Павловнія може бути корисною до 20–50 років. Павловнія досить добре пристосовується до глинисто-помірних вологих ґрунтів з достатньою родючістю і кислотністю ґрунтового розчину $pH = 5,5-8,5$ (оптимальний рівень – 6,5), росте на забруднених, але не на вологих ґрунтах [33].

Отже, вищенаведений аналіз енергетичних культур дозволив автору дійти такого висновку. Незважаючи на достатньо поширене використання енергетичних культур, нині у світі не існує єдиної загальноприйнятої класифікації. Тому, на думку автора, можна запропонувати таку класифікацію енергетичні культури за 4 ознаками (рис. 2.1):

- циклом вирощування: однорічні, багаторічні;
- типом: деревоподібні, трав'янисті, водорості;
- кінцевим продуктом: олійні, крохмальні, цукровомісні, лігноцелюлозні;
- призначенням: чисто енергетичні, сільськогосподарські.

Вибір енергетичних культур для вирощування в Україні обумовлюється рядом критеріїв: природно-кліматичними умовами місцевості (рівнем pH ґрунтів, кількістю опадів, температурою середовища), їх біологічними властивостями (життєвим циклом, урожайністю та періодичністю збору врожаю) та теплотворною здатністю (теплотою згоряння, виробництвом енергії на одиницю площі, вмістом вологи,

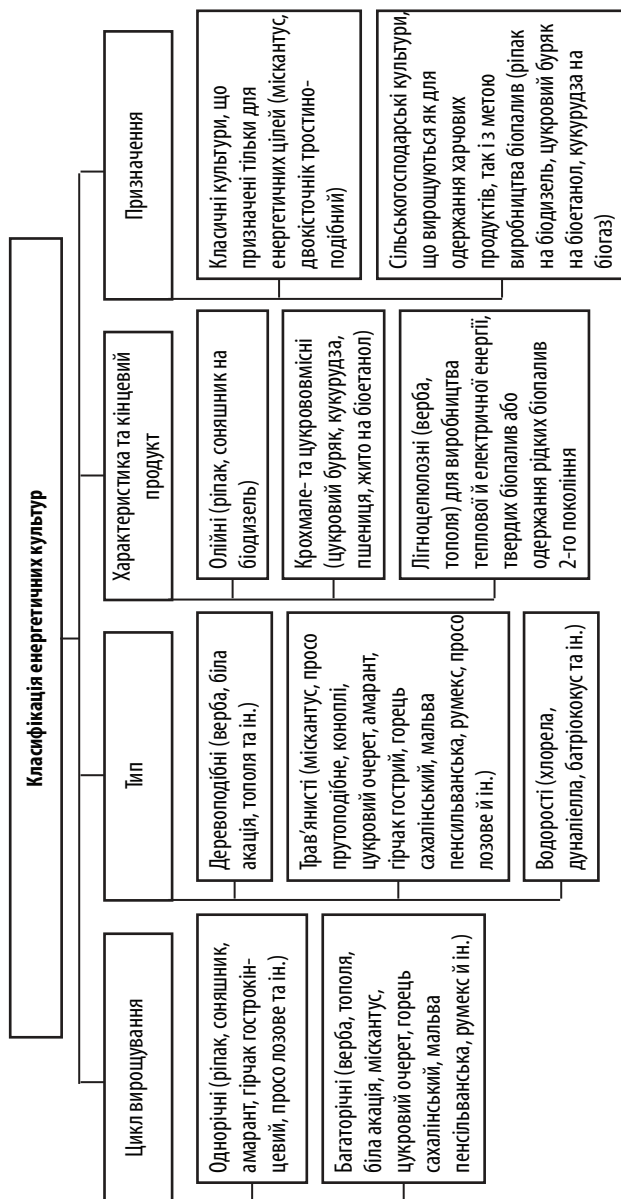


Рис. 2.1. Класифікація біоенергетичних культур

Джерело: складено авторами за матеріалами [1–33]

зольністю). Порівняння енергетичних культур за ознаками та критеріями дало змогу визначити доцільними для вирощування в Україні класичних багаторічних деревоподібних або трав'янистих лігноцелюлозних їх видів, серед яких найперспективнішими вважаються енергетична верба та міскантус.

2.2. Аналіз способів виробництва твердого біопалива з енергетичних культур

Домінуючою світовою тенденцією в енергетиці є заміщення традиційних викопних органічних продуктів відновлюваними аналогами рослинного походження, що, з одного боку, усуває залежність від перших, а з іншого – зменшує забруднення навколишнього середовища за рахунок других, створюючи нові напрями використання рослинної біомаси [34]. Отже, виробництво біопалив та отримання енергії з них є одним із перспективних шляхів заощадження традиційних енергоносіїв і підвищення енергетичної безпеки країни.

Біомасу як енергоресурси широко використовують у багатьох країнах світу, зокрема, біомасу саме енергетичних культур. Біомаса – невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у виді продуктів, відходів і залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу [37]. Це визначення біомаси в українському законодавстві було приведено у відповідність до визначення, встановленого Директивами ЄС (RED і RED II) [35; 36].

Пріоритетність використання біомаси серед відновлюваних джерел енергії обґрунтовується тим, що біоенергетика є єдиним джерелом відновлюваної енергії, здатним гарантовано забезпечити три основні види енергетичних потреб (потребу в теплі, світлі та русі), необхідні як окремим особам, так і підприємствам: біотепло / охолодження, біоенергія та біопаливо.

Загалом біомаса представляє найдавніше джерело енергії, однак її використання зводилося до прямого спалювання в енергокотлах із низьким коефіцієнтом корисної дії. Основним джерелом отримання твердого біопалива була біомаса лісового походження. У цей час у світі існує дефіцит деревини, спричинений постійним збільшенням її використання для потреб будівництва та виготовлення меблів. Сучасне обладнання та технології дозволяють максимально обробляти деревину, майже не залишаючи відходів, які можна використовувати як дрова для опалення.

Зменшення кількості сировини та постійне збільшення обсягу споживання, своєю чергою, підвищує її вартість, що робить економічно недоцільним використання біомаси лісового походження для виробництва твердого біопалива [37].

Сировиною для виробництва твердого біопалива здебільшого є відходи деревообробної промисловості (тирса, тріска), сільського господарства (солома зернових і зернобобових культур, соняшникове лушпиння тощо), а також спеціально вирощувані енергетичні культури (рис. 2.2).

Надходження сировини перших двох груп є нестабільним і носить сезонний характер, що негативно впливає на ефективності роботи заводів з виробництва твердого біопалива. Тому на особливу увагу заслуговує напрям, пов'язаний із забезпеченням сировиною виробників твердого біопалива за рахунок вирощування нових видів високопродуктивних багаторічних енергетичних культур (дерев і рослин), що дасть змогу щорічно отримувати задану кількість біомаси необхідної якості [38].

Обов'язковою передумовою для успішного переходу на тверде біопаливо та розвитку біоенергетики загалом є наявність місцевих ресурсів на конкретній території. У деяких західноєвропейських країнах, зокрема в країнах Скандинавії, Польщі та Данії, знайшли ефективний заміник твердої біомаси лісового походження – енергетичні культури, деревні (верба, тополя, павловнія, інші) та трав'яністі (міскантус, свічграс, інші) [22].

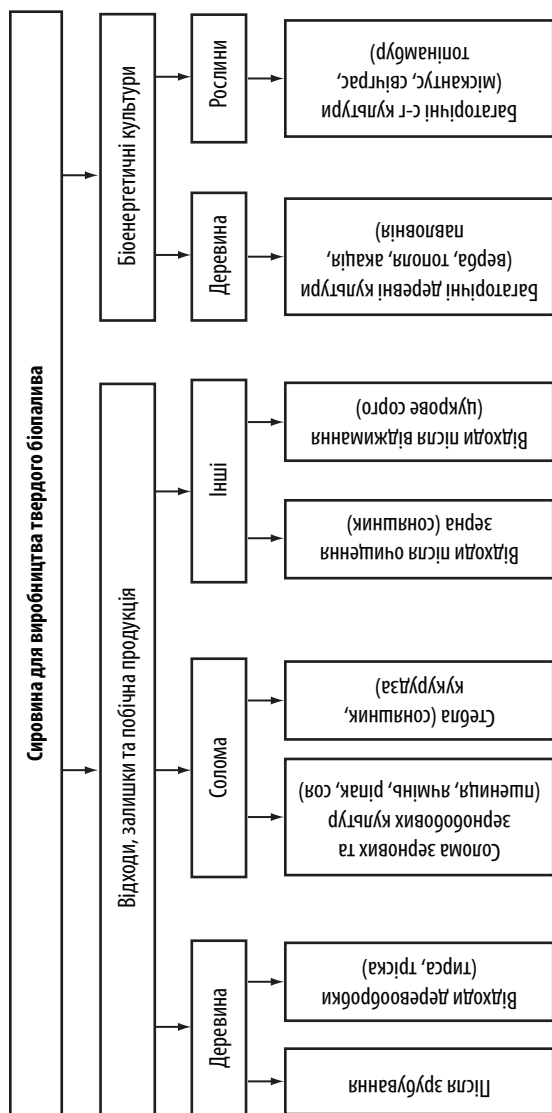


Рис. 2.2. Класифікація сировини для виробництва твердого біопалива

Джерело: складено за матеріалами [39]

Вирощування такої сировини залежить лише від природних умов – якості ґрунту та клімату [40].

Біомаса за своїм складом може бути вуглецемісткою (рослинний матеріал, деревна тріска, тирса, морські водорості, зерно, папір, пакувальна тара) або цукромісткою (цукровий буряк, цукровий очерет, сорго) [41]. Біомасу можна використовувати в енергетичних цілях шляхом безпосереднього спалювання, а також у переробленому виді рідкого (ефіри ріпакової олії, спирти, рідкі продукти піролізу) або газоподібних біопалив (біогаз із відходів сільського господарства та рослинництва, осаду стічних вод, твердих побутових відходів, продукти газифікації твердих палив) [42].

Конверсія біомаси в інші види енергоносіїв або кінцеву енергію (теплову або електричну) може відбуватись фізичними, хімічними і біохімічними методами [42].

Узагальнено способи виробництва енергії з біомаси систематизовано на *рис. 2.3*.

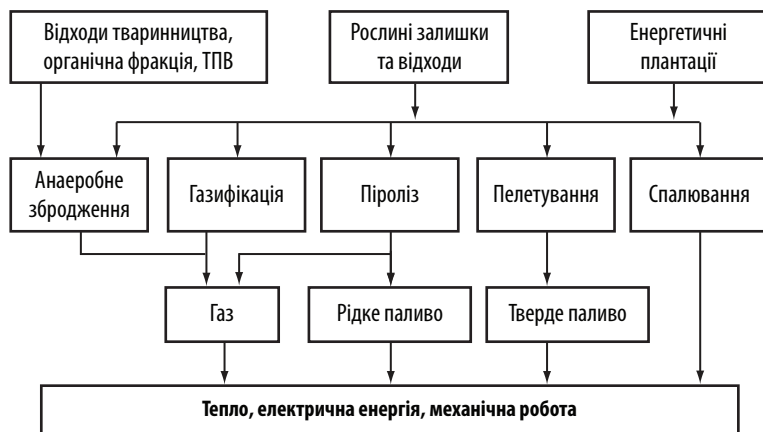


Рис. 2.3. Способи виробництва енергії з біомаси

Джерело: складено за матеріалами [42]

Узагальнення джерел [32; 39; 42; 43] дозволяє визначити головні переваги біомаси як енергетичного джерела:

- біомаса є місцевим видом палива, що дозволяє розвивати розподілену енергетику. Для виробництва енергії з біомаси використовуються місцевий енергопотенціал території, її матеріальні та трудові ресурси. Означене призводить до розвитку місцевої економіки; сприяє розвитку сільських територій, зростанню доходів їх жителів;
- біомаса є відновлюваним і, при раціональному використанні, невичерпним джерелом енергії, використання якого сприяє сталому розвитку територій та становленню циркулярної економіки;
- біомаса є екологічно безпечним видом паливом порівняно із викопними її аналогами. Зазвичай біопаливо має низький вміст сполучень сірки, а її спалювання призводить до незначних викидів оксидів азоту. Крім того, використання відбувається у замкненому енергетичному циклі: спалювання, поглинання, зберігання та вивільнення парникових газів;
- виробництво теплової та електричної енергії із біомаси або біопалива є дешевшим у перерахунку на енергетичний еквівалент порівняно із викопними енергоресурсами;
- у деяких випадках використання біомаси має утилізаційну функцію, зменшує кількість відходів і сміття у містах, утилізує небезпечні відходи з полігонів твердих побутових відходів, сприяючи очищенню засмічених територій, поверненню біорізноманіття, загальному покращенню екології;
- нові підходи до використання біомаси, виробництва та використання біопалива з неї забезпечує інноваційний напрямок розвитку енергетики та економіки в цілому, сприяючи залученню сучасних, передових технічних рішень, розвитку виробництва нового обладнання, оновленню технологічних парків [39; 42; 43].

Додаткові аргументи, що підтверджують ефективність і пріоритетність розвитку біоенергетики, наводяться у працях [41; 43]. З-поміж цих аргументів особливо важливими є:

- використання рослинної біомаси (за умови її безперервного відновлення) не приводить до збільшення концентрації CO_2 в атмосфері;
- надлишки, мало- та низькопродуктивні землі можуть бути використані під енергетичні плантації;
- енергетичне використання відновлюваних відходів (сільськогосподарських, промислових і побутових) є напрямом вирішення екологічних проблем;
- новітні технології дозволяють підвищити корисний вихід енергії із біомаси [41; 43].

Надалі розглянемо більш детально способи виробництва твердого біопалива та енергії з біомаси енергетичних культур.

Біомасу різних видів енергетичних культур можливо використовувати в різному виді. До основних способів виробництва твердого біопалива з біомаси енергетичних культур у праці [44] відносять:

- без перетворення або пряме спалювання, тобто не підготовлена біомаса енергетичних культур – біомаса використовується одразу після збору. Спалювання біомаси є найбільш старим і простим способом отримання енергії, однак цей спосіб вважають економічно недоцільним з точки зору хімічного складу та фізичних властивостей, що викликає певні труднощі як у процесі спалювання, так і емісії компонентів, які є побічними продуктами процесу [39];
- виробництво енергетичної тріски (щепи) – відбувається подрібнення біомаси за певною формою і розміром механічним способом гострими ріжучими інструментами. Надалі тріска може використовуватися як паливо або є продуктом 1-го переділу для виробництва паливних гранул (пелет) і брикетів, або газифікації та ін. Паливна тріска та продукти її перероблення використовуються для генерації теплової та електричної енергії, при виробництві біогазу, синтетичного рідкого палива, хімічних продуктів та ін.;
- виробництво паливних брикетів – спресовані вироби циліндричної, прямокутної або будь-якої іншої форми, довжиною 100–

300 мм, яка не повинна перевищувати уп'ятеро їх діаметр, який більший за 25 мм та зазвичай становить у межах від 60 до 75 мм;

- виробництво паливних гранул (пелет). Пелети є найбільш високопродуктивним видом біопалива, виробленим у результаті переробки методом пресування біомаси під тиском у спеціальній матриці. Означене призводить до зростання енергетичної щільності біопалива, що у підсумку призводить до зростання енергоефективності її використання. Окрім того, паливні гранули мають відповідні параметри, що робить процес спалювання стабільним [44].

Як правило, виробництво енергетичної тріски є кінцевим товарним продуктом процесів вирощуванні енергетичних культур, що використовується для спалювання в енергетичних системах, хоча існують і альтернативні способи її використання (наприклад, у целюлозно-паперовій промисловості, для виробництва рідкого палива за технологією термічної трансформації BtL тощо).

Важливим чинником якості твердого біопалива є технологія приготування біомаси до спалювання, що зумовлює конструктивно-технологічне особливості теплотехнічного обладнання, істотно впливає на економічні показники його роботи та визначає величину капітальних витрат [45].

Вологомісткість спалюваної сировини знижує теплоту згоряння, впливаючи на теплоефективність процесу горіння. Спалювання біомаси енергетичних культур в непідготовленому виді через нерівномірний вміст води, велику кількість попелу, низьку щільність і значний вміст летких складових зумовлене рядом технічних ускладнень: зокрема, низькою питомою теплотою згоряння на одиницю маси; значними коливаннями фізико-хімічних властивостей; складнощами контролю швидкості горіння та забезпечення постійного дозування; великою площею складування та проблемами транспортування; значною емісією токсичних елементів [42].

Процес спалювання потребує забезпечення доступу кисню (повітря), кількість якого залежить від маси та властивостей сировини, що

спалюється. Подрібнення біомаси дозволяє покращити контакт кисню із паливними компонентами, що сприяє кращому спалюванню [39].

За допомогою механічних, хімічних, термічних, біологічних або комплексних технологічних процесів біомасу в сучасних умовах трансформують у газове (біогаз), рідке (дизельне біопаливо і біоетанол) чи тверде (паливні брикети, гранули із соломи тощо) біопаливо [46]. Найбільш поширеними біоенергетичними технологіями переробки біомаси в тверді енергетичні продукти є пряме спалювання, піроліз і газифікація [47].

Енергетичні продукти, які можуть бути отримані при використанні різних біоенергетичних технологій, наведені в *табл. 2.4*, з якої видно, що основними технологіями виробництва твердого біопалива є пресування та брикетування.

Таблиця 2.4

Розподіл енергетичних продуктів за біоенергетичними технологіями перетворення сухої біомаси

Технологічний процес	Біоенергетичні продукти
Спалювання	Тепло й електрична енергія
Газифікація	Горючі гази (метанол)
Піроліз	Горючі гази, смоли, деревне вугілля (напівкокс)
Піроліз і дистиляція	Етиловий спирт
Пресування	Паливні гранули (пелети)
Брикетування	Паливні брикети

Джерело: складено за матеріалами [41]

У *табл. 2.5* наведені дані щодо енергетичних характеристик органічних видів палива, як окремо для біомаси енергетичних культур, так і твердого біопалива з неї, з якої видно, що перетворення біомаси на біопаливо підвищує її енергетичні показники.

Як видно з *табл. 2.5*, найвищі значення теплоти згоряння серед біопалив мають паливні гранули та брикети, що становить відповідно 18 та 17 МДж/кг, або 4500 та 4040 ккал/кг, при цьому витрати пали-

Таблиця 2.5

Енергетичні характеристики органічних видів палива

№	Вид палива	Характеристика палива				Насипна щільність, γ укг/м³	Витрати палива для виробництва 1 Гкал тепла	Коефіцієнт переведення натурального палива в умовне
		Вологість, %	Теплота згорання					
			МДж/кг	Ккал/кг				
Біомаса енергетичних культур								
1	Енергетична верба	30-40	14	3330	650	353	0,475	
2	Міскантус	20-30	15,93	3805	200	309	0,543	
3	Світчграс	10-20	15,70	3570	120	314	0,535	
4	Солома зернових культур	10-20	11,5	2740	55	429	0,391	
5	Стебла соняшнику та кукурудзи	10-20	14,65	3500	40-45	336	0,5	
Тверде біопаливо								
1	Тріска (щепа) енергетичних культур	30-40	6-9	1400-2150	450	840-547	0,8-0,307	
2	Паливні гранули (пелети)	10	18	4500	600	261	0,642	
3	Брикети	10	17	4040	550	281	0,577	

Джерело: складено за матеріалами [41]

ва для виробництва 1 Гкал тепла мають найнижчі значення і сягають 261 та 281 кг відповідно, що доводить доцільність проведення етапів підготовки рослинної біомаси (брикетування та гранулювання) при виробництві біоенергетичних продуктів (паливних гранул, паливних брикетів).

Вихідним стимулом для впровадження біоенергетичних технологій є можливість швидкого заміщення природного газу для виробництва енергії з найнижчими інвестиційними витратами і найкоротшими термінами окупності, Тому їх потрібно розпочинати із вибору сучасного обладнання для виготовлення біопалива - тріски, гранул і брикетів [42]. Основу технології виробництва біопалива складає подрібнення біомаси енергетичних культур (виробництво енергетичної) на спеціальній техніці. Наразі налічується кілька десятків виробників обладнання для її виробництва, найбільш відомі Morbark, Brucks, Peterson, Farmi та інші [49].

Для отримання максимальної економічної віддачі при використанні рослинної біомаси необхідно забезпечити підвищення теплотворної здатності (питомої теплоти згоряння) твердого біопалива та зручність транспортування (подачі) до теплових установок (котлів), керованість процесом горіння [47]. Переробку біомаси енергетичних культур здійснюють шляхом гранулювання або брикетування, внаслідок цього отримують кінцевий продукт:

- паливні гранули – це спресовані частинки рослинного походження, що мають форму циліндрів максимального діаметра до 25 мм і завдовжки від 10 до 50 мм, паливні гранули можуть бути виготовлені з деревини, торфу, трави, лушпиння, соломи, вугільного пилу і багатьох інших видів рослинної сировини, а також їх сумішей [47];
- паливні брикети – спресовані вироби циліндричної, прямокутної або будь-якої іншої форми, завдовжки 100–300 мм, яка не повинна перевищувати у п'ятеро їх діаметр, який більший за 25 мм та зазвичай становить у межах від 60 до 75 мм. Для збільшення ефективності логістичних операцій та розширення можливості

енергетичного використання біомасу енергетичних культур гра-
нулюють для отримання пелет [47].

Сьогодні в Україні існують дві моделі виробництва твердого біо-
палива. Це стаціонарна (традиційна) та мобільна, яка є повністю ін-
новаційною та тільки починає виходити на ринок твердого біопалива
[44]. Мобільні лінії з виробництва мають низку переваг порівняно зі
стаціонарними виробництвами [44]:

- 1) вирішується проблема із забезпечення виробництва необхід-
ною кількістю сировини – мобільні комплекси пристосовані
для роботи саме в місцях локації сировини;
- 2) немає необхідності відводити окремі земельні ділянки під ви-
робництво;
- 3) немає необхідності підключення до стаціонарної інфраструк-
тури – мобільні комплекси не потребують підключень електро-
енергії та води. Приводи на обладнання здійснюються від дви-
гунів автомобілів, на шасі яких розташоване обладнання;
- 4) їх компактність забезпечується через оптимізацію виробничих
процесів [44].

На основі аналітичного огляду джерел [37; 39; 41–44; 47–49] та
вивчення елементів технології виробництва твердого біопалива з біо-
маси енергетичних культур було визначено основні технологічні опе-
рації з виробництва твердого біопалива (паливних гранул) з рослинної
біомаси енергетичних культур за такою схемою: велике подрібнення,
сушка, дрібне подрібнення, зволоження, пресування, охолодження,
фасування. Функціональну схему отримання паливних гранул із біо-
сировини наведено на *рис. 2.4*.

Розстановка устаткування на кожному підприємстві може бути
різна. Однак принципи – загальні з моменту виникнення технологія
виробництва пелет в 1947 р. Процес гранулювання, пелетизації, відбу-
вається в спеціальних кільцевих штампах (прес-формах) обертовими
роторними вальцями, які упресовують у численні отвори – фільтри
прес-форми, активізувати парою подрібнену деревну сировину, після

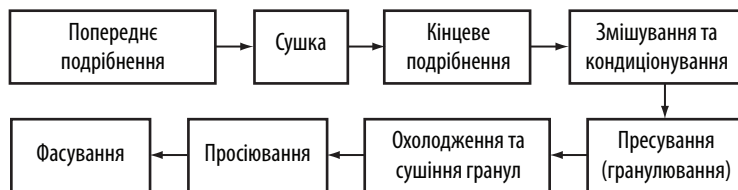


Рис. 2.4. Функціональна схема виробництва гранул із біомаси енергетичних культур

Джерело: складено автором на основі [37; 39; 41–44; 47–48]

чого зрізані з зовнішньої сторони штампа спеціальним ножем гранули мають бути охолоджені та відділені від дрібних частинок [48].

Розглянемо детально основні елементи технології виробництва паливних гранул із біомаси.

1. *Попереднє (велике) подрібнення.* З метою подальшого переробки непідготовлену біомасу енергетичних культур укладають на планчасті рухомі транспортери та подають їх у міру завантаження до дробарки. Великі дробарки подрібнюють сировину для подальшого сушіння. Процес подрібнення передбачає досягнення розміру часток до 10 мм. Велике подрібнення дозволяє швидко і якісно підготувати сировину для сушки та до подальшого подрібнення в дрібній дробарці. Найкраще для зниження енерговитрат на сушіння подрібнювати до більш дрібної фракції [48].
2. *Сушка.* Біомасу енергетичних культур зберігають у кагатах безпосередньо на полі, однак під дією атмосферного впливу початкові значення вологості біомаси можуть змінюватися, що негативно впливатиме на процес її подрібнення. Відходи з вологістю більше 15 % погано пресуються, особливо пресами з круглими матрицями. Крім цього, виготовлені паливні гранули з підвищеною вологістю не мають відповідних параметрів якості. Тому сировина перед пресуванням повинна мати вологість у межах від 8 % до 12 %. Для отримання якісного продукту вологість має складати 10 ± 1 %. Для доведення вологості сировини до нор-

мативних значень використовують сушарки барабанного або стрічкового типу [47]. За типом вживаного сушильного агента вони поділяються на сушарки на топкових газах, гарячому повітрі і водяній парі. Вибір типу сушарки визначається видом сировини, вимогами до якості продукції і джерелом одержуваної теплової енергії. В технологічному процесі виробництва твердого біопалива сушка є найбільш енергоємним процесом [49].

3. *Дрібне подрібнення.* Згідно з технологічними вимогами для пресування сировина повинна надходити фракціями з розмірами частинок до 4 мм, тому з використанням дробарок досягають подрібнення сировини до необхідних розмірів. Для якісного продукту насипна вага після подрібнення повинна складати $150 \text{ кг/м}^3 \pm 5 \%$, а основний розмір часток не повинен перевищувати 1,5 мм. Здебільшого для подрібнення сировини використовують молоткові дробарки, оскільки вони найбільше відповідають вимогам процесу подрібнення біомаси енергетичних культур [48].
4. *Зволоження.* Сировина з вологістю менше 8 % погано піддається «склеюванню» під час пресування, а готова продукція (паливні гранули) в процесі подальшого механічного впливу (фасування, навантаження, транспортування та ін.) втрачає початкові габаритні розміри, подрібнюється, та утворюються пилоподібні частини, що негативно впливає на її якість [47]. Саме тому занадто суха сировина має бути зволожена до нормативних значень вологості необхідних для пресування. Для проведення зволоження сировини використовують установку дозування води. Для проведення процесу зволоження сировини використовують шнекові змішувачі, в яких вбудовані входи для подачі води або пари [50].
5. *Пресування.* Процес пресування (гранулювання) може здійснюватися на пресах різних конструкцій з плоскою або циліндричною матрицею. При цьому діаметр матриці може бути більше метра, а потужність преса – до 500 кВт, залежно від заданої про-

дуктивності обладнання. На продуктивність преса в межах 20 % впливає розмір одержуваних паливних гранул. Паливні гранули діаметром до 6 мм виготовляють для приватного споживання, а до 10 мм – для промислового. Речовиною, що пов'язує подрібнений матеріал у паливних виробках, є лігнін – аморфний полімер, який виділяється під дією тиску та температури і міститься у клітинах біомаси [49].

Важливо витримувати пресовану сировину у формуючій порожнині під тиском протягом певного часу, щоб відбулася релаксація напруження, а також міцна плівка на поверхні паливних гранул. Найбільшої міцності набуває біомаса, що пресується за температури понад 150 °C [47]. Верхньою межею температури пресування є 250 °C, коли розпочинається реакція піролізу, тобто відбувається часткове розкладання біомаси [49].

6. *Охолодження.* Процес охолодження готової продукції забезпечує отримання якісного кінцевого продукту. Під час охолодження паливні гранули, нагріті після пресування до 70 ... 90 °C, втрачають зайву вологу. Після охолодження паливних гранул, з метою видалення пилоподібних частин сировини, їх просіюють, а утворений пил направляють на повторне гранулювання [47].

7. *Фасування.* Після охолодження паливні гранули зберігаються в бункерах і транспортуються насипом. Розфасовка і упаковка паливних гранул залежить від того, яка система зберігання існує у споживача: у вільному виді – насипом; у мішках біг-бег – від 500 кг до 1200 кг; у дрібній розфасовці – від 10 кг до 20 кг. Однак для виключення втрати в якості рекомендується проводити їх фасування у великі мішки (біг-беги) місткістю 1000 кг. Для приватного споживання паливні гранули фасують у поліетиленові мішки місткістю 15–35 кг [24].

Технологія пелетування має істотні переваги порівняно з іншими технологіями виробництва біопалива [47]:

- для їх виробництва витрачається близько 3 % енергії, при цьому під час виробництва нафти ці енерговитрати становлять близько

10 %, а при виробництві електроенергії – 60 %, їх теплотворна здатність становить у межах від 4,5 до 5,0 кВт/кг, що в 1,5 разу більше, ніж у звичайної деревини і вугілля. При спалюванні 2000 кг паливних гранул виділяється стільки ж теплової енергії, як і при спалюванні: 3200 кг деревини, 957 м³ газу, 1000 л дизельного палива, 1370 л мазуту. Горіння паливних гранул у топці котла відбувається більш ефективно – кількість залишків (золи) не перевищує між від 0,5 до 1,0 % від загального об'єму використаного палива [47];

- зниження шкідливих викидів в атмосферу: біопаливо з енергетичних культур визнано екологічно нейтральним, тобто при його спалюванні кількість вуглекислого газу, що виділяється в атмосферу, не перевищує обсяг викидів, який би утворився шляхом природного розкладання деревини [48];
- велика теплотворна здатність – енергомісткість 1 кг гранул відповідає 0,5 л рідкого дизельного палива; гранули не поступають за теплотворної здатності ні вугіллю, ні мазуту [48];
- низька вартість порівняно з дизпаливом і опаленням електроенергією та природним газом;
- чистота приміщення, в якому встановлений котел [48];
- можливість автоматизації котелень [47].

Паливні брикети – інший вид товарної продукції, що може бути вироблений із рослинної біомаси. Паливні брикети являють собою спресовані матеріали циліндричної, прямокутної або будь-якої іншої форми з поперечним розміром не менше 25 мм (типовий діаметр 60–75 мм) і завдовжки 100–400 мм (довжина зазвичай не перевищує 5 величин діаметра). Стандартних розмірів у цього виду продукту немає [48].

В основі технології виробництва паливних брикетів лежить процес пресування шнеком дрібно подрібненої біомаси енергетичних культур під високим тиском, а в ряді випадків – і при нагріванні від 250 до 350 °С. Одержувані паливні брикети не включають в себе ніяких зв'язувальних речовин, крім одного натурального – лігніну, що

міститься в клітинах енергетичних культур. Температура пресування сприяє оплавленню поверхні брикетів, яка завдяки цьому стає більш міцною, що важливо для транспортування брикет [51].

Технологія виробництва брикетів схожа з технологією гранулювання, але більш проста. Брикети бувають різних форм – у виді цегли, циліндра або шестикутника з отвором всередині [49]. Виробництво брикетів із біомаси простіше та потребує менше первинних інвестицій в обладнання порівняно з пелетами. Його також розміщують локально поблизу джерел або ж місць концентрації сировини.

Незважаючи на це, паливні брикети в Україні виробляються у менших обсягах, ніж пелети, у тому числі з огляду на складності з організацією їх автоматичної подачі. Загалом виділяють три типи паливних брикетів: NESTRO, RUF та Pini&Kaу (ці назви походять від назв фірм, які виробляють найбільш популярні преси для отримання цих типів брикетів) [52-54]:

- *циліндричні брикети – NESTRO або NIELSEN* – довгі циліндричної форми або многокутного перерізу брикети, переважно без внутрішнього отвору, отримані за рахунок застосування високого тиску. Брикети NESTRO виробляють на гідравлічних пресах, а NIELSEN – на ударно-механічних пресах. Брикети цього типу мають нескінченну довжину і можуть бути розділені як на шайби, так і на поліна. Форму брикету визначає покупець. Виробничий процес характеризується невисокими вимогами до кваліфікації персоналу і до організації виробництва. Мають дуже високу щільність, користуються великою популярністю в Європі. Ці брикети охоче купують такі країни, як Німеччина, Данія, Велика Британія, Норвегія, Швеція, Італія. На внутрішньому ринку найчастіше використовують кускові брикети як паливо для твердопаливних котлів. Їх переваги: невисока собівартість, достатньо висока щільність (1,0–1,15 т/м³). Недолік: низька вологостійкість брикетів (необхідна хороша упаковка) [52];
- *пресовані куби-цеглини – RUF (брикети у вигляді цеглинки)*, які виробляють на гідравлічних пресах за рахунок високого тиску.

Розміри брикету залежать від пухкості вихідної сировини та прикладеного тиску. Гідравлічні преси вважаються найбільш надійним видом обладнання для брикетування, але мають високу вартість. Виробничий процес характеризується мінімальними вимогами до персоналу і до організації виробництва. Вони добре використовуються на внутрішньому ринку і також відмінно купуються всіма європейськими країнами. Перевагою RUF-брикетів є низька собівартість виготовлення. Недоліки: сама низька щільність порівняно з іншими типами брикетів (0,75–0,80 т/м³); брикет є нестійким до вологи (потрібна хороша упаковка), а також до механічних пошкоджень, що негативно впливає на його стан після тривалого транспортування [53];

- *екструдерні брикети* – *Pini&Kaу* – брикети, які мають циліндричну або багатогранну форму з наскрізним отвором всередині. Наявність такого отвору забезпечує кращий рух повітря при горінні брикету. Брикети Pini&Kaу виробляються екструдерним способом на механічних (шнекових) пресах шляхом поєднання високого тиску і термічної обробки (випалювання). Висока температура пресування (250...350 °C) сприяє оплавленню і зміцненню поверхні брикетів, що є важливим для транспортування брикетів без пошкоджень. Виробничий процес характеризується жорсткими вимогами до вологості сировини (< 8 %), необхідністю подрібнення сировини до дрібної фракції, значною енергоємністю та потребою у висококваліфікованому персоналі. Такі брикети закладаються вручну в топку котла чи в грубку, вони користуються попитом у Прибалтиці. Переваги цього типу паливних брикетів: стійкість до механічних пошкоджень, висока вологостійкість, сама висока щільність порівняно з іншими типами брикетів (1,1–1,4 т/м³). Недолік: висока собівартість [54].

Типова технологічна схема виробництва паливних брикетів з біомаси складається з 7 операцій (рис. 2.5).

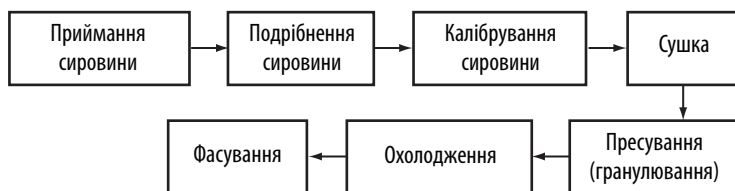


Рис. 2.5. Функціональна схема виробництва паливних брикетів із біомаси енергетичних культур

Джерело: складено автором на основі [51-54]

1. *Приймання сировини.* Ця операція проводиться на майданчику, розміри якого повинні давати можливість накопичувати як мінімум добовий запас біомаси для забезпечення її своєчасної і безперешкодної подачі для подальшої переробки. Якщо брикетувальна лінія має невелику потужність і розташована неподалік джерела сировини, то сировина може доставлятися у виді необробленої біомаси енергетичних культур [51].
2. *Подрібнення сировини.* На стадії підготовки виконується подрібнення сировини до фракції, що відповідає вимогам певного брикетувального обладнання. Також необхідно забезпечити відсутність сторонніх включень у сировині (металеві домішки, каміння, пісок) [54].
3. *Калібрування сировини.* Потрібне для відділення сировини з необхідним розміром фракційного складу. Для реалізації цієї технологічної операції використовуються барабанні калібратори з отворами сит до 5–6 мм. Деякі виробники використовують подрібнювачі із ситами, що виконують функцію калібрування біомаси [43].
4. *Сушіння подрібненої сировини.* Подрібнена сировина по матеріалопроводу потрапляє в камеру сушильного агрегату. Відбір зайвої вологи здійснюється гарячим повітрям, виробленим теплогенератором, який може працювати як на самій біомасі, так і на природному газі. Зазвичай сировину необхідно висушити

до вологості 8–14 %. Існують прес-брикетувальники з можливістю використання біомаси вологістю до 30 %, яка може бути досягнута при належному зберіганні біомаси, а тому відпадає необхідність в операції сушіння [43]. Далі подрібнений і висушений матеріал пневмотранспортом поступає в батареїний циклон, де відбувається його розділення із теплоносієм. Відпрацьований теплоносій викидається в атмосферу, а висушений матеріал подається на живильний пристрій прес-брикетувальника [51].

5. *Пресування сировини у брикети.* Формування з подрібненої рослинної маси міцного брикету забезпечується як фізико-механічними властивостями матеріалу, так і умовами протікання самого процесу брикетування. При цьому є певні вимоги до якості брикету, які необхідно виконати. Це щільність брикету ($0,8\text{--}1,3\text{ т/м}^3$), його вологість, розміри (діаметр, довжина), а також правильність форми. Процес брикетування – це процес стискування матеріалу під високим тиском, з виділенням температури від сили тертя. За рахунок цього впливу в деревині відбувається виділення лігніну, який є сполучною речовиною для формування брикету [51].

Для виробництва брикетів з енергетичних культур застосовують поршневі і шнекові преси [51].

Поршневий прес працює циклічно – при кожному ході поршня продавлюється певна кількість матеріалу через конічне сопло, на брикетах чітко помітні відповідні циклам шари. У приводі завжди застосовується маховик, який дозволяє вирівняти навантаження двигуна. Знос поршня невеликий, оскільки відносно переміщення між пресованих матеріалом і поршнем мало, швидко зношується сопло. Поршневі преси відносно дешеві, а тому широко поширені [48].

Шнековий прес легше поршневого, оскільки відсутні масивні поршні та маховики. Продукція виходить безперервно, тому її можна розрізати на потрібні шматки. Щільність вище, ніж у поршневих пресів. Шнекові преси менш галасливі, завдяки відсутності ударних наванта-

жень. До недоліків можна віднести високі витрати енергії і швидкий знос шнека [48].

6. *Охолодження.* У процесі пресування сировина досягає температури понад 70 °С. Чим вище зусилля пресування, тим більша температура брикетів і краща їх якість. Охолодження необхідне для остаточного затвердіння готових брикетів, що робить їх придатними для зберігання і транспортування. У деяких пресів брикет після виходу із формоутворюючої насадки рухається по довгій направляючій, при цьому охолоджуючись [43; 51].

7. *Фасування.* Надання виробленому продукту товарного вигляду – невід’ємна частина виробничого процесу, тому на завершальному етапі підготовки брикетів до реалізації їх фасують у мішки або поліетиленові пакети та складають на піддони [43].

Таким чином, при брикетуванні біомаси можуть використовуватися всі 7 технологічних операцій, а на деяких лініях – тільки 4: приймання сировини, її подрібнення, пресування у брикети та фасування готової продукції.

Паливні брикети мають широке застосування і можуть використовуватися для всіх видів топок, котлів центрального опалення та ін. Великою перевагою брикетів є сталість температури при горінні протягом 4 і більше годин [55].

Для кожного виду палива існує своя технологія спалювання, обґрунтована як технічно, так і економічно. Паливну гранулу можна спалювати на різному устаткуванні. Однак максимальної ефективності можна досягти лише за допомогою котлів і пальників, спеціально для цього призначених [56].

Отримання теплової енергії з гранул відбувається не в процесі їх горіння, а через тління. При цьому котел, вичерпавши паливо в контейнері, може продовжувати постачання теплом протягом 24 годин за рахунок малої швидкості протікання процесу [56].

Крім котелень на пелетах, існують також каміни на гранулах і брикетах. Подібні каміни працюють не як котли, а як повітрянагрівачі,

тому не вимагають системи трубопроводів. Найчастіше вони використовуються (як і традиційні каміни) як додаткові засоби обігріву [48].

На сьогодні на ринках країн СНД представлені й пальники для переобладнання рідко паливних котлів під гранулу, і котельне обладнання великої потужності, і промислові парогенератори на біопаливі, і малопотужні автоматизовані котли для приватних будинків, і кімнатні каміни для спалювання паливної гранули. Велика частина обладнання імпортується. Однак і цілий ряд вітчизняних підприємств пропонує обладнання, призначене для спалювання пелет [57].

Для кожного виду біопалива існує своя спеціальна і специфічна технологія. Котельні, призначені для біомаси вологістю менше 30 %, не будуть ефективні ні для спалювання вологого біопалива з утримання води близько 50 %, ні для рафінованого біопалива. Волога сировина не буде горіти через те, що їй необхідна дуже висока температура всередині котла. Деревні гранули (рафіноване біопаливо) будуть згоряти в такому котлі, але при цьому втратять економічну доцільність, оскільки вартість котла на гранулах нижче, ніж на вологій або сухій (до 35 %) біомасі – тирсі, трісці тощо [48].

Найбільш широко застосовують тверде біопаливо, виготовлене з твердих рослинних відходів у вигляді пелет та брикетів [54; 55]. Паливні пелети і брикети мають високу конкурентоспроможність порівняно з іншими видами традиційного палива. Так, для їх виробництва витрачається близько 3 % енергії, при цьому під час виробництва нафти ці енерговитрати становлять близько 10 %, а при виробництві електроенергії – 60 %. Їх теплотворна здатність в 1,5 разу більше, ніж у звичайної деревини і вугілля. При спалюванні 2000 кг пелет виділяється стільки ж теплової енергії, як і при спалюванні: 3200 кг деревини, 957 м³ газу, 1000 л дизельного палива, 1370 л мазуту. Горіння такого палива в топці котла відбувається більш ефективно – кількість золи не перевищує 0,5 ... 1,0 % від загального об'єму використаного палива [47].

Крім того, ціни на таке паливо не залежать від зростання цін на вичопні види палива і на підвищення екологічних податків. Підвищити

ефективність використання різних видів твердої біомаси енергетичних культур для виробництва біопалива можна шляхом попереднього їх змішування та приготування композитів, що включають інші види вуглецевмісних матеріалів. При цьому можна очікувати досягнення синергетичного ефекту внаслідок більш ефективного використання ресурсу біомаси та часткового зменшення негативного впливу на довкілля внаслідок утилізації відходів. Так, відоме сумісна переробка вугілля і біомаси, що охоплює такі види термохімічної переробки твердого палива: пряме сумісне спалювання вугілля і біомаси та газифікація біомаси з подальшим спалюванням генераторного газу у вугільних котлах [58].

Аналіз літературних джерел і критерії оцінки біопаливної продукції [34–58] показують, що найбільш важливими її характеристиками є: розміри (діаметр та середня довжина), теплотворна здатність, вміст вологи, зольність, питома та насипна густина, вміст хімічних елементів (хлор, азот, сірка тощо) та домішок. Для пелет прийняті жорсткіші вимоги до габаритних розмірів, ніж до брикетів. Це обумовлено їх застосуванням в енергетичних установках із автоматичною системою подачі (шнеками, транспортерами тощо). Найбільш поширеними є діаметри пелет 6 і 8 мм. Обумовлена більшістю стандартів теплота згоряння пелет становить 18 ± 1 МДж/кг [47], залежно від сировини, з якої вони виготовлені.

Для одержання максимальної економічної ефективності при використанні рослинної біомаси на енергетичні цілі необхідно забезпечити підвищення питомої теплоти згоряння твердого палива, зручність транспортування до енергетичних установок і керованість процесом горіння. Для цього необхідно дотримуватись вимог технології виготовлення продукції, використовувати якісну сировину, яка має відповідати встановленим вимогам, тобто створювати якісне стандартизоване паливо [42]. Дотепер ще не встановлено українського стандарту на біопаливні пелети, окрім проєкту ДСТУ «Брикети та гранули паливні. Технічні умови. Частина 1. Брикети та гранули паливні з деревинної сировини», розробленого в Національному університеті біоресурсів

і природокористування України [59]. Тому більшість виробників орієнтується на західноєвропейські стандарти.

Таким чином, основними видами твердого біопалива, яке виробляється з біомаси енергетичних культур, є енергетична тріска, пелети та брикети [60].

2.3. Аналіз сфери застосування твердого біопалива і його технологічного забезпечення

Використання відновлюваних джерел енергії є одним із важливих напрямів енергетичної політики України, спрямованої на заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів та поліпшення стану оточуючого природного середовища. Збільшення обсягів їх використання в енергетичному балансі країни дозволяє підвищувати ступінь диверсифікації енергоносіїв, що сприятиме зміцненню енергетичної незалежності держави [61].

Основним завданням розвитку ринку енергії з відновлюваних джерел є вирішення проблеми дисбалансу на сучасному світовому енергетичному ринку шляхом їх ліквідації та переорієнтації традиційного способу забезпечення енергією споживчого та промислового секторів. А також досягти такого рівня збереження енергії, отриманої з відновлюваних джерел, щоб подолати проблему континентального трансферу енергії та зменшити викиди CO₂ в атмосферу. Використання біомаси у світі – давно визнаний тренд, котрий дозволяє заміщувати використання дорогого газу, а також зменшувати обсяги викидів вуглекислого газу в атмосферу.

Біоенергетика є єдиним джерелом відновлюваної енергії, здатним забезпечити три основні джерела енергії, необхідні як окремим особам, так і підприємствам: біотепло / охолодження, біоенергія та біопаливо [37].

97 % ринку біопалива складає тверде біопаливо для виробництва теплової енергії з метою опалювання / охолодження приміщень та для виробництва електроенергії (63 %).

Тверде біопаливо виробляється у вигляді агро- та деревних пелет, брикет, сформованих із промислових енергетичних рослин (верба, міскантус та ін.), деревини, щіпки, кори, інших відходів с/г та лісового господарства та ін. (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Порівняльна характеристика різних способів використання біомаси

Біомаса			
Вид біомаси	Тверде біопаливо (97 %)	Рідке біопаливо (0,3 %)	Газоподібне біопаливо (2 %)
Сировинні галузі	Лісове господарство, сільське господарство, легка та харчова промисловість, тваринництво		
Приклад	Агро- та деревні пелети, брикети, дрова	Біоетанол, біодизель	Біогаз, біометан, синтез-газ
Виробництво енергії	Теплової, електроенергії, для транспорту		
Функції	Опалення/ охолодження приміщень, готування їжі, освітлення, зв'язок, пересування / мобільність		
Використання по галузях	Промисловість, транспорт, приватний сектор, послуги, с/г та рибальство та ін.		

Джерело: складено за матеріалами [62]

До твердого палива відносять: дрова та їх нові модифікації: паливні гранули та брикети, у тому числі пелети, що являють собою пресовані вироби з деревних відходів (тирси, тріски, кори, некондиційної деревини, порубкових залишків), соломи, відходів сільського господарства (лушпиння соняшника, горіхової шкаралупи, гною), біомаси енергетичних культур тощо.

Сьогодні біомаса переважно використовується у вигляді твердого палива (дров, тирси, тріски, паливних гранул і пелет), що заміщує вуглеводневе паливо в котлах котелень та електростанцій [63].

Відповідно до світової практики до твердого біопалива відносять пелети, брикети, продукти / відходи деревообробки та агрокультур (рис. 2.6).

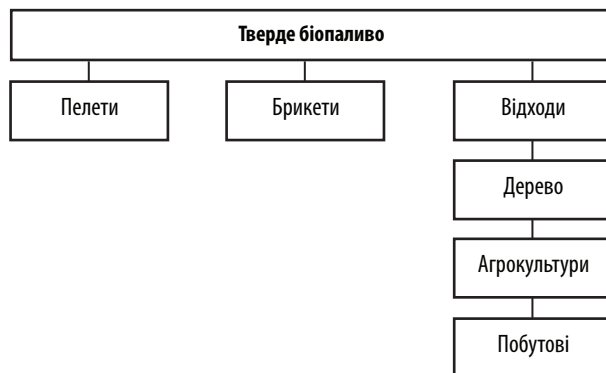


Рис. 2.6. Види твердого палива

Джерело: складено за матеріалами [63]

Порівняно з традиційними видами палива, біопаливо є екологічно безпечнішим – якщо воно вироблене за належними стандартами якості та сертифіковане. При його спалюванні знижуються викиди сірки, та утворюється менше золи. Остання до того ж при правильному використанні може бути застосована як добриво для агрокультур [64].

Структуру виробництва енергії з біомаси в Україні наведено в *табл. 2.7*.

Як видно з да них *табл. 2.7*, основними споживачами твердого біопалива в енергетиці є промислові об'єкти, які використовують тверде біопаливо для виробництва електроенергії, комунальні підприємства та приватний сектор, що використовує тверде біопаливо для отримання теплової енергії.

Технології, які використовуються, або можуть бути використані для виробництва електричної та теплової енергії з різних видів твердого біопалива включають: спалювання твердого біопалива, сумісне спалювання, газифікація, піроліз, комбіноване виробництво тепла та електроенергії [63].

Систематизовану характеристику технологій виробництва енергії з твердого біопалива наведено у *табл. 2.8*.

Таблиця 2.7

Структура виробництва енергії з біомаси в Україні

Постачання біомаси (основні джерела біомаси)	Переробники біомаси і постачальники обладнання	Виробники енергії з біомаси		
		Енергія для власного споживання	Теплова енергія для споживачів	Реалізація електроенергії (для ринку)
Постачання та логістика біомаси				
Лісові господарства Деревообробка Сільськогосподарські компанії Промислові енергетичні плантації Інше (напр., харчова промисловість)	Виробники пелет і брикетів	Промислові підприємства Рослинницькі і тваринницькі ферми Приватні користувачі	Приватні теплопостачальники Комунальні теплопостачальники	Виробництво електроенергії; тваринницькі ферми, що виробляють біогаз; компанії, що збирають біогаз на полігонах твердих відходів
	Виробники котельногообладнання			Постачання електроенергії в мережу

Джерело: складено за матеріалами [65]

Таблиця 2.8

Характеристика технологій виробництва енергії твердого біопалива

Технологія перетво- рення	Вид палива	Основний продукт ви- робництва	Кінцевий продукт	Примітки
1	2	3	4	5
Спалюван- ня	Деревні коло- ди, тріска, гранули, інша тверда біома- са, підстилка	Тепло	Тепло та елек- троенергія (па- рова турбіна)	Теплова ефектив- ність >80 %; Електрична ефек- тивність >15–40 %

Закінчення табл. 2.8

1	2	3	4	5
Сумісне спалювання	Тверде біо-паливо, агро-, лісові відходи (солома, відходи)	Тепло- та електроенергія	Тепло- та електроенергія (парова турбіна)	Великий потенціал для використання різних типів біомаси, зниження викидів, низький рівень інвестиційних витрат. Існують певні технічні проблеми.
Газифікація	Деревна тріска, гранули та тверді відходи	Синтетичний газ	Тепло (котел), електроенергія (двигун, газова турбіна, комбінований цикл, моторні палива)	Хороші можливості для широкого використання різних типів біомаси для різних кінцевих споживачів
Піроліз	Деревна тріска, гранули та тверді відходи	Піролізні масла й продукти переробки	Тепло (котел), електроенергія (двигун)	Проблема забезпечення якості піролізних масел та відповідності кінцевому споживанню
Комбіноване виробництво тепла та електроенергії	Солома, лісові відходи, відходи, біогаз	Тепло- та електроенергія	Комбіноване виробництво тепла та електроенергії (спалювання та газифікація)	Політичні пріоритети, висока ефективність >90 %, потенціал для застосування в паливних елементах

Джерело: складено за матеріалами [62]

Котли великої потужності, встановлені на ТЕЦ та ТЕС, найменш вибагливі до якості палива, вмісту води чи золи. Як правило, на них спалюють деревне паливо, особливо тріску, та покращене біопаливо невисокої якості (індустріальні брикети та пелети). Здійснюється сумісне спалювання біопалива та вугілля. При цьому додавання твердого

біопалива до традиційного суттєво зменшує шкідливі викиди в атмосферу [57].

Порівняння різних технологій виробництва електроенергії з біомаси наведено в табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Порівняння різних технологій виробництва електроенергії з біомаси

Технологія	Ефективність, %	Потужність, МВт _е	Капітальні витрати, \$/кВт _е
Сумісне спалювання на вугільних блоках	35–40	10–50	50–1300
Біомасові ТЕС з паровим циклом	20–40	5–10	3000–5000
Біомасові ТЕЦ з паровим циклом	80–100	1–50	3085–3700
Комбінований цикл з внутрішньою газифікацією (IGCC)	30–40	10–30	2500–5500
ТЕЦ з газифікацією	25–30	0,2–1,0	3000–4000
ТЕЦ з двигуном Стірлінга	11–20	<0,1	5000–7000

Джерело: складено за матеріалами [66]

До технологій виробництва теплової енергії відносяться такі конструкційні рішення [67]: пряме спалювання, газифікація (не плутати з піролізом, процес якого має на виході деревне вугілля та піролізний газ), сумісне спалювання з вугіллям.

Одержання тепла з твердої біомаси відбувається в котельні на біопаливі, яка призначена для отримання теплової енергії та передачі її споживачеві за допомогою нагрітого теплоносія з метою опалення житлових, адміністративних і громадських будівель, а також виробничих і технологічних приміщень [64].

Принциповий склад обладнання котельної на біопаливі включає [64]:

- систему приймання, складування та подачі біопалива (паливний приймач, завантажувач, паливний склад);

- систему спалювання біопалива з виробництвом теплової енергії (водогрійний або паровий біопаливний котел, або декілька котлів);
- систему водопідготовки та насосну групу;
- систему аспірації димових газів (золоуловлювачі циклонного або касетного типу з димососом, димоходи, димові труби);
- систему золовидалення (встановлюється як опція на котли на біопаливі з високим відсотком зольності);
- систему контролю, управління (система автоматичного регулювання дозування подачі палива і управління процесами оптимального горіння і теплообміну в котлі), а також систему пожежогасіння.

Пряме спалювання біомаси в атмосфері повітря або кисню – один з найбільш старих методів отримання теплової енергії. Однак існує ряд проблем при його практичному використанні, головною з них є досягнення найбільш повного згоряння палива, в результаті якого утворюються діоксин вуглецю і вода, що не завдає шкоди довкіллю. До технічних пристроїв, які використовуються для прямого спалювання біомаси, відносяться печі, котли, топки, камери згоряння. Біомаса може використовуватися шляхом прямого спалювання в енергетичних установках у факелі, киплячому або ущільненому шарі з подальшим отриманням теплової та електричної енергії [68].

Іншою перспективною технологією енергетичного використання твердого біопалива є його *газифікація з отриманням паливного газу (синтез-газу)* як палива для енергетичних установок. Газифікація – процес спалювання біопалива за температури 800...1500 °С в присутності повітря або кисню і води з отриманням в результаті синтез-газу або генераторного газу з теплотою згоряння від 10000 до 16700 кДж/м³. Переваги цієї технології порівняно з технологією прямого згоряння біомаси полягають в отриманні газоподібного біопалива, використання якого не вимагає суттєвої реконструкції котельного обладнання. Отриманий паливний газ може також використовуватися як паливо для газових турбін і дизелів.

Основні недоліки – додаткові витрати на газогенерувальне обладнання, складність (через високу вартість обладнання) акумулювання газоподібного палива у великих обсягах, відносно низька теплотворна здатність. Застосування технологій газифікації твердого палива як складової біомаси дозволяє використовувати його для роботи будь-яких типів двигунів внутрішнього згоряння. При цьому при переході на газогенераторний газ потужність двигунів практично не змінюється, значно поліпшуються екологічні показники, на 40–50 % збільшується їх моторесурс. Заміна продуктів нафтопереробки та природного газу дешевим твердим біопаливом (відходи деревообробної промисловості, спеціально підготовлені відходи сільгоспвиробництва, біомаса енергетичних культур тощо) дозволяє в підсумку отримувати значний економічний ефект [69].

На цей час отримали поширення технології подвійного спалювання для отримання теплової енергії. Подвійне спалювання – технологія, яка передбачає спалювання майже 100 % твердого палива за рахунок конструкції печі та подачі вторинного кисню, що дозволяє зменшити кількість викидів CO_2 в атмосферу і забезпечити більший ККД генеруючого обладнання. Така технологія є обов'язковою для ТЕС в ЄС, устаткування спалює будь-яке тверде біопаливо (тріска, деревина, пелети, тирса, целюлозні відходи, кора), що є дуже важливим для українських виробників, адже існує ринок збуту твердого палива [70].

Деревні паливні брикети мають досить високу теплотворну здатність (4–4,5 тис. Ккал/кг) і можуть використовуватися як паливо в теплогенеруючих установках різної потужності.

Промислові технології енергетичного використання деревини постійно вдосконалюються. Велике значення при цьому має те, що деревина за хімічним складом не містить сірки та має дуже низький зміст азоту, у продуктах її згоряння, як правило, міститься мала кількість золи. Тим самим вона є більш екологічним видом палива, ніж нафта, вугілля чи навіть природний газ, особливо в умовах системного вирощування та використання енергетичних плантацій, коли виключається накопичення CO_2 в атмосфері.

Однією з проблем ефективного використання біомаси в енергетичних цілях є підвищена вологість біосировини. Такі характерні види біопалива, як торф або відходи лісорозчистки, у початковому стані мають теплотворну здатність близько 10,5 МДж/кг ($1 \text{ Дж} \approx 0,238846 \text{ ккал}$). Попередня сушка цих продуктів підвищує їх теплотворну здатність до 19,5 МДж/кг (4660,6 ккал/кг). Як правило, тверді комунальні (побутові) відходи (ТКВ) і осади стічних вод (ОСВ), що вимагають утилізації та знешкодження, при характерній початковій вологості близько 40 % мають теплотворну здатність близько 6,5 МДж/кг (1553,54 ккал/кг). У результаті сушіння їх калорійність може збільшитися у понад 2 рази, що істотно підвищує ефективність спалювання при високих температурах (1100 ... 1200 °C), з відповідними руйнуваннями діоксидів [63].

Сучасною біотехнологією є теплоелектроцентральною, яка працює на біопаливі, показники ефективності якої зрівняні з аналогічними показниками традиційної ТЕЦ, що використовує викопні види палива. Електростанції, які працюють на біомасі, потужністю 10–50 МВт забезпечують ККД 18–33 %, що є дещо нижчими від аналогічного ККД електростанцій на викопних енергоносіях [63].

Широкий розвиток у світовій практиці одержало використання біомаси (біопалива) для виробництва електричної та теплової енергії, як на ТЕС, так і в системах централізованого тепlopостачання.

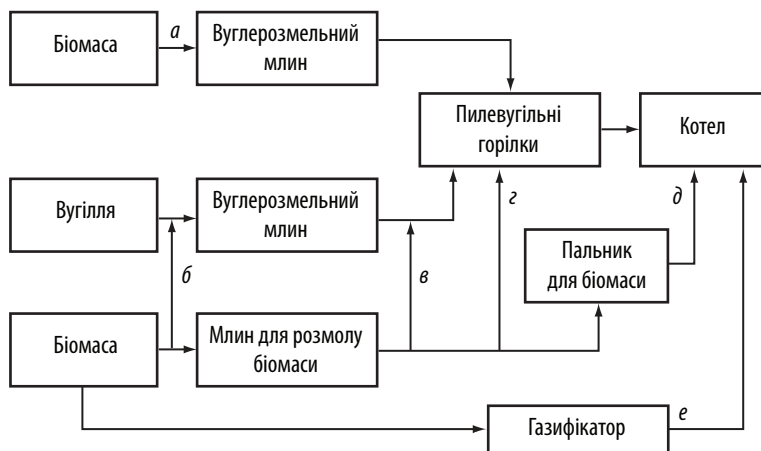
Заміщення дорогого привозного палива на вугільних ТЕС біомасою сприяє підвищенню рівня енергоефективності, а також істотному поліпшенню екологічних показників при впровадженні сучасних енергоефективних технологій спільного спалювання вугілля та біопалива [71].

Спільне спалювання. Найпростіший спосіб використання біопалива – це додавання відповідної його частки до традиційного викопного палива, з адаптацією обладнання діючих енергоблоків електростанцій до спільного спалювання. Таке рішення потребує установки додаткового обладнання та відповідної модернізації енергоблоку, але практика показує, що окремі варіанти модернізації під спільне спалювання

традиційного палива та біомаси відносно недорогі. Відносно просто вирішується проблема часткового заміщення (4–5 %) вугілля біопаливом у разі наявності резервної продуктивності (потужності) млинів і котлів електростанції. Аналіз основних характеристик біомаси як палива показує основну її відмінність від традиційно спалюваного вугілля. Біомаса, як правило, має більший вихід летючих речовин, ніж вугілля, і містить більше кисню. Низький вміст золи в біомасі (близько 1 %) сприяє зменшенню викидів твердих частинок, а більший розмір золових частинок і їх схильність до агломерації забезпечують підвищення ефективності фільтрів. Досвід спільного спалювання вугілля та біомаси показав скорочення емісії NO_x, що пов'язано з більш низьким вмістом азоту в біомасі, а також більш раннім виходом і запаленням летючих речовин у початковій зоні факела [72]. При спалюванні високоякісного вугілля навіть у топках з твердим шлаковидаленням при додаванні біомаси відбувається зниження максимальної температури факела та, відповідно, зменшення емісії термічних NO_x. Крім того, біопаливо містить менше сірки, ніж більшість використовуваних в енергетиці видів вугілля. До того ж вона відрізняється високим вмістом лужних елементів. Внаслідок цього від 5 % до 10 % оксидів сірки, що утворюються, вловлюються лужними елементами, що сприяє додатковому зниженню викидів SO₂. Таким чином, для будь-якої вугільної теплоелектростанції зазначені властивості біопалива сприяють значному поліпшенню екологічних характеристик порівняно з традиційним спалюванням вугілля. Водночас додавання біопалива до основного палива певною мірою знижує ККД котлоустановки. Ступінь зниження ефективності залежить від характеристик біопалива та конструктивних параметрів енергоблоку. Основні причини зниження ефективності – більш високий вміст вологи та співвідношення водень / вуглець у біомасі порівняно з вугіллям. Встановлено, що з цих причин при додаванні 20 % біопалива по масі ККД котла знижується приблизно на 2 % [69].

Технології спалювання біомаси на ТЕС. У світовій практиці широко використовують три основні схеми спільного спалювання біопалива та вугілля на ТЕС – пряме, непряме та паралельне. Кожна схема має

свої переваги та недоліки і передбачає часткове заміщення біопалива відповідним обсягом більш дорогого вугілля (рис. 2.7).



Умовні позначення:

- a* – розмелювання біомаси в модифікованих вуглерозмельних млинах;
- б* – попереднє змішання біомаси з вугіллям і подальше розмелювання і спалювання суміші палив в існуючих пилувугільних пальниках;
- в* – пряме вдування попередньо розмеленої біомаси в існуючі пилопроводи;
- г* – пряме вдування попередньо розмеленої біомаси через модифіковані пилувугільні пальники або безпосередньо в топку;
- д* – пряме вдування попередньо розмеленої біомаси через спеціалізовані пальники для біомаси;
- е* – газифікація біомаси з наступним спалюванням отриманого газу в котлі

Рис. 2.7. Принципові схеми прямого та непрямого спільного спалювання вугілля та біопалива

Джерело: складено за матеріалами [73]

Пряме спільне спалювання (рис. 2.7а–2.7д) – простий та відносно недорогий варіант. Вважається, як правило, основним при прийнятті проектного рішення з реконструкції ТЕС. Розмелювання пелет у вуглерозмельних млинах і подальше їх спалювання в існуючих пилувугільних пальниках має ряд особливостей, зокрема [73]:

- необхідна відносно невелика модернізація млина для запобігання застою подрібнюваного матеріалу при його помолі. Біомаса має високий вихід летючих речовин, що починають виділятися у значних обсягах за більш низької температури (близько 180 °C), ніж в умовах спалювання кам'яного та навіть бурого вугілля, що потребує підвищеного температурного контролю на вході в млин для запобігання вибуху або пожежі;
- модернізація помольних елементів млинів не потрібна;
- при реконструкції млина для помолу біомаси ефективність сепаратора має бути знижена для запобігання зайвій циркуляції розмеленої маси в млині;
- при переведенні млина з вугілля на біомасу його продуктивність зазвичай знижується приблизно на 20–50 % через вологість розмелювального палива [43].

Схема з попереднім змішуванням біопалива з вугіллям і помолом суміші палив. Такий варіант більш прийнятий при запровадженні на вугільних ТЕС технології спільного спалювання біопалива з вугіллям, особливо в умовах можливих ризиків щодо надійності постачання біопалива. При впровадженні цієї схеми необхідні відносно помірні капітальні витрати, перш за все, для облаштування систем прийому, зберігання та подавання біопалива. Зазначена схема має такі особливості [74]:

- при спільному розмелюванні вугілля та біопалива збільшується споживання електроенергії млином;
- спільне розмелювання вологого біопалива може знизити сушильну продуктивність млина.

Схема з прямим вдуванням біопалива. Біопаливо має бути попередньо розмелене в паливному цеху ТЕС або в спеціальному цеху на території електростанції.

Системи з прямим вдуванням і спільним спалюванням біопалив з вугіллям вимагають створення системи пневмотранспортування розмеленого біопалива до котельного цеху [75].

Існують три основні варіанти реалізації прямого вдування біопалива [75]:

- пряме вдування в топку котла без підведення повітря для горіння;
- використання нових, спеціалізованих пальників для спалювання біопалива;
- вдування біопалива в існуючі пилепроводи або через модифіковані пальники. Додаткові спеціалізовані пальники для біопалива необхідні в тому випадку, коли при експлуатації вже досягнута максимальна потужність пиловугільних пальників.

Як вважається, схема з прямим вдуванням пилоподібного палива в діючі пилопроводи з точки зору реалізації – відносно проста та мало-затратна. Використання цієї схеми має свої особливості [58]:

- витрати вугілля та повітря, що надходять в млин, можуть бути знижені відповідно до обсягу транспортування біопалива та його теплоти згорання;
- як млини, так і пальники можна експлуатувати в звичайному діапазоні режимів роботи по заданій теплоті та обсягах подачі первинного повітря;
- у пальниках можна спалювати 100 % біопалива при установці двох систем прямого вдування на одну групу млинів. Як правило, варіант з прямим спільним спалюванням допускає використання до 10 % біопалива без істотних змін обладнання або систем управління. Остаточний вибір схеми прямого спільного спалювання залежить від обсягу та виду біопалива.

Непряме спільне спалювання (рис. 2.7е). Для непрямого спільного спалювання необхідна газифікація або піроліз біомаси з послідовним поданням підготовленого газоподібного палива в топку котла. Позитивною стороною непрямого спільного спалювання є те, що при цьому не забруднюється зола, яка використовується для продажу, і виключаються окалиноутворення та забруднення екранних труб [73].

Технологія паралельного спільного спалювання потребує створення окремого котла, що повністю працює на біомасі, пара від якого

надходить у загальний колектор. Такий підхід потребує відповідних інвестицій в дублювання топкового обладнання та системи паливopідготовки [73].

Системи централізованого теплопостачання з розширенням використання поновлюваних і біопаливних ресурсів є одним з ефективних і перспективних напрямів забезпечення тепловою енергією населення та інших споживачів теплової енергії в країнах із перехідною економікою та європейських країнах. Це обумовлено такими основними його особливостями [73]:

- відсутність залежності від одного виду палива, особливо природного газу;
- використання як палива біопалива, муніципальних, промислових та інших твердих побутових відходів, а також теплової енергії стічних вод;
- можливість комбінованого вироблення теплової та електричної енергії;
- виробництво теплової енергії за самих низьких викидів в атмосферу.

У системах централізованого теплопостачання використовуються різні первинні енергоресурси: викопні види палива (нафта, газ і вугілля); скидне тепло промислових підприємств; тепло, що отримується при спалюванні побутових і промислових відходів; біомаса (у тому числі деревина, солома, тваринні жири); біогаз від фермерських господарств і відходів фермерського виробництва; геотермальне тепло; сонячна енергія та інші поновлювані джерела енергії. Найбільш екологічно ефективним є використання муніципальних твердих відходів (MSW) для виробництва теплової та електричної енергії. Необхідність у цьому зростає у багатьох країнах світу у міру того, як переполюються звалища для зберігання побутових відходів. Додатковою мотивацією для використання MSW є викиди метану (парникового газу) на полігонах для зберігання відходів [68].

Важливим напрямом виробництва електро- та теплоенергії в Європі вважається спільне спалювання біомаси та викопного палива

на традиційних теплоелектроцентралях. Перевагою такого процесу є можливість використання існуючого обладнання та широкого спектра палив, а також досягнення високої ефективності виробництва електро- та теплоенергії у режимі когенерації. Спільне спалювання успішно розвивається внаслідок простоти та відносно невисокої витратності технологій при використанні існуючої інфраструктури ТЕЦ, при одночасному витісненні відповідної частки вугілля з енергобалансу та відповідному зниженні негативного впливу на навколишнє середовище [76; 77].

Головною технологічною характеристикою твердого біопалива є його теплотворна здатність, що використовується шляхом прямого спалювання, газифікації / піролізу твердого біопалива з метою отримання тепла для опалення чи постачання гарячої води [65].

У сфері комунального господарства та побутового сектора основним напрямом використання твердого біопалива є виробництво тепла за допомогою твердопаливних котлів. Твердопаливні котли є пристроями для обігріву та, якщо передбачено конструкцією, подачі гарячої води, що безпосередньо здійснюють процес спалювання та газифікації/ піролізу в результаті спалювання твердого палива. Вони працюють на дровах, деревних брикетах, гранулах, вугіллі, коксі, агровідходах тощо. Деякі котли можуть поєднувати всі перераховані види палива (комбіновані, мультипаливні), а деякі працювати лише на одному з них. Крім того, існують моделі твердопаливних котлів, які здатні переключатися на рідке паливо або газ [65].

Із технологічної точки зору твердопаливні котли розділяють на котли прямого спалювання та піролізні, що відрізняються способом перетворення палива в корисну теплову енергію [65]. Систематизовану класифікацію твердопаливних котлів наведено на *рис. 2.8*.

У котлах прямого спалювання відбувається природний і майже неконтрольований процес горіння обраного палива. Процес горіння палива – це сукупність хімічних реакцій окислення його горючих елементів, що супроводжується значним виділенням тепла і світла. Недоліком таких котлів є невисокий ККД, відповідно велика витрата палива

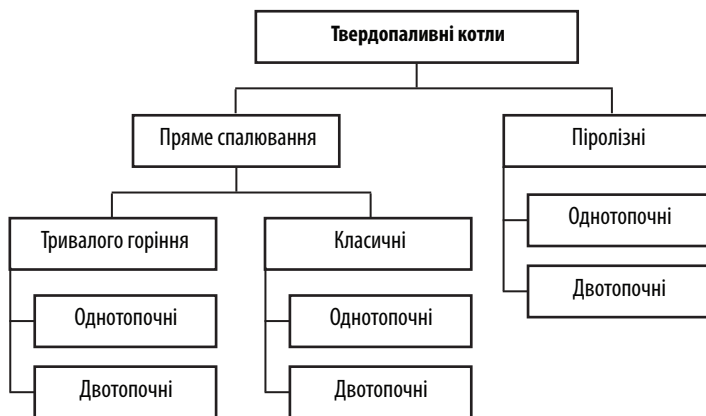


Рис. 2.8. Класифікація твердопаливних котлів

Джерело: складено за матеріалами [64; 65]

і, як наслідок, необхідність частої його закладки – приблизно раз на 4–8 годин. Оскільки звичайні котли мають просту конструкцію, їх вартість невисока [65].

Окремим різновидом котлів з прямим спалюванням палива є так звані твердопаливні котли тривалого горіння або твердопаливні котли тліючого типу. Їх відрізняє вертикальна, як правило циліндрична форма, і велика висота у 1,5–2 метри. Принцип роботи цих твердопаливних котлів дуже простий – паливо горить (тліє) зверху вниз як свічка, тобто, на відміну від класичних котлів, де партія палива підпалюється відразу, паливо в котлах тривалого горіння згорає пошарово, що дозволяє максимально відтягнути момент повторної закладки палива, навіть до 30–36 годин [79].

Піролізні котли працюють за принципом газифікованого спалювання деревини. В середині котла знаходяться дві камери. У верхню камеру завантажують паливо і підпалюють його. Потім, в умовах нестачі кисню, відбувається нагрів палива до високої температури близько 450...600 °С, завдяки чому утворюється горючий піролізний газ. Під дією штучної тяги газ надходить у нижню камеру, змішується з по-

вітрям і згорає за температури 800...1200 °С, утворюючи набагато більшу кількість теплової енергії, ніж у випадку прямого спалювання палива. Піролізні котли мають високий ККД 80–95 % і тривалий час горіння – від 6–12 годин до доби і більше. За рахунок повного спалювання деревини при роботі піролізного котла утворюється мінімальна кількість сажі та золи [64].

Важливою перевагою брикетів як палива є сталість температури при горінні протягом кількох годин. Брикети з біомаси можливо спалювати у побутових і невеликих твердопаливних котлах з ручним завантаженням (до ~100–150 кВт), що часто вже наявні у закладах бюджетної або соціальної сфери та у населення. Також на ринку представлені автоматизовані котли з бункером (до ~240 кВт), які пристосовані для використання брикетів із біомаси. Брикети меншої щільності (тобто «м'якші» за рахунок пресування вологішої сировини) можна використовувати у потужних котлах із шнековою подачею [53].

Проекти виробництва електроенергії досить рідко зустрічаються в Україні. Їх реалізація потребує великих початкових інвестицій в обладнання, додаткових інвестицій в електромережу, значних витрат на експлуатацію. Слід враховувати також можливість виникнення технічних ризиків і нестабільність регулювання зеленого тарифу. Крім того, спалювання твердого біопалива разом з іншими видами палива не відповідає вимогам пільгового тарифу, який застосовується до постачання електроенергії з відновних джерел [79].

Енергія, що виділилася при згорянні палива, в двигуні виробляє механічну роботу та теплоту. Механічна робота на валу двигуна використовується для вироблення електроенергії генератором електричного струму. Теплова енергія, що виробляється когенераційними установками, може використовуватися для опалення, отримання пари і для отримання холоду. Холод виробляється абсорбційним модулем, який може функціонувати завдяки гарячій воді, парі або гарячим газам.

На сьогодні когенерація є найбільш ефективною з усіх існуючих технологій енергозабезпечення і є провідною у світі. Найбільш важ-

ливими рисами слід зазначити високу ефективність використання палива, більш ніж задовільні екологічні параметри, а також автономність систем когенерації. Устаткування по екологічним нормам можна використовувати навіть у природоохоронних зонах.

Таким чином, біоТЕЦ надають можливості вибору найбільш ефективного шляху вирішення проблеми енергопостачання за рахунок широкого діапазону режимів експлуатації, великого вибору допоміжного устаткування і систем, різних варіантів компоновок, що дозволяє точно й оптимально пристосувати установку до роботи в будь-яких умовах застосування. За невисоких капітальних і експлуатаційних витрат ці електростанції забезпечують максимальну ефективність інвестицій за рахунок виробництва електроенергії і тепла з вельми конкурентними цінами [62].

Котельні установки на твердому паливі використовуються як постійне або резервне джерело опалення, для постачання приватного житла або господарських промислових будівель гарячою водою. Основною перевагою котелень на твердому біопаливі є автономний тип систем. На основі твердопаливної котельні виробляють (незалежно від громадських, комунальних систем) індивідуальне гаряче водопостачання і обігрів житла. Також організація опалення з природним типом циркуляції теплоносія не вимагає додаткового підключення електричних приладів. БіоТЕС вирішує проблему в районах з нестабільною подачею тепlopостачання, при сучасній нестабільності вирішальним фактором використання твердопаливного обігріву є економічний фактор. Для території України твердопаливні котельні – оптимальне рішення з обігріву для районів, де основний вид палива – дрова та відходи деревопереробки, що створює умови для виробництва деревних пелет [62]

Підвищити ефективність використання різних видів твердих рослинних відходів для виробництва біопалива можна шляхом попереднього їх змішування та приготування композитів, що включають інші види вуглецевмісних матеріалів, наприклад, побутові відходи поліетилентерефталату (ПЕТФ), місцеві види палива. При цьому можна очіку-

вати досягнення синергетичного ефекту внаслідок більш ефективного використання ресурсу біомаси та часткового зменшення негативного впливу на довкілля внаслідок утилізації відходів. Так, відома сумісна переробка вугілля і біомаси, що охоплює такі види термохімічної переробки твердого палива: пряме сумісне спалювання вугілля і біомаси та газифікація біомаси з подальшим спалюванням генераторного газу у вугільних котлах [58].

Для кожного виду палива існує своя технологія спалювання, обґрунтована як технічно, так і економічно. Для кожного виду біопалива існує своя спеціальна і специфічна технологія. Котельні, призначені для біомаси вологістю менше 30 %, не будуть ефективні ні для спалювання вологого біопалива з утримання води близько 50 %, ні для рафінованого біопалива. Волога сировина не буде горіти через те, що їй необхідна дуже висока температура всередині котла. Деревні гранули (рафіноване біопаливо) будуть згоряти в такому котлі, але при цьому втратять економічну доцільність, оскільки вартість котла на гранулах нижче, ніж на вологій або сухій (до 35 %) біомасі – тирсі, трісці і т. д. [48]

Сумісне спалювання біомаси та вугілля має відповідні переваги перед їх роздільним спалюванням. Головними з них є [42]:

- використання біомаси замість основного палива практично не потребує переобладнання. Однак специфічні властивості біомаси в особливості їх шлаки і корозійні властивості змушують обмежити частку їх використання в суміші з вугіллям в одній установці. Більшістю зарубіжних дослідників встановлено розмір цієї частки не більше 10–20 %, а найбільш впевнено – 5–10 % (конкретна частка визначається залежно від характеристик біомаси, яка використовується, та від топкового пристрою), ці дані збігаються з вітчизняними дослідженнями;
- стабілізація процесу спалювання проходить за рахунок спалювання вугілля;
- зменшення емісії SO_2 , NO_x , CO_2 порівняно з викопними паливами;

- паливна еластичність котла і відсутність залежності виробництва електроенергії від доступності біомаси (логістичні проблеми), що вигідно для оператора енергетичної системи [42].

Використовуючи в таких технологіях гранульоване і брикетоване біопаливо, можна уникнути негативних сторін сумісного спалювання, які виникають при застосуванні їх у вигляді сипкої сировини, а саме [42]:

- невідповідна швидкість подачі біомаси і палива до камери спалювання;
- неоднорідний характер горіння у камері спалювання котла;
- нерівномірність теплових навантажень поверхонь опалювального котла;
- велика різниця у фізико-хімічних властивостях біомаси і вугілля (густина, вологість), що визначають вибір технологічних рішень по забезпеченню сушки біомаси, її розмелу та транспортування тощо.

Одним із раціональних способів підвищення ефективності одержання теплової енергії з твердого палива є його газифікація. Змінюючи склад композитів біомаси енергетичних культур або їх фракційність у пелетах або брикетах, можна виробляти синтез-газ у газогенераторах із покращеними характеристиками. Так, наприклад, використання пелет, виготовлених із суміші гранульованого вугілля і тирси з різною фракційністю, в процесі газифікації дозволяє збільшити вихід метану CH_4 та окису вуглецю CO , що збільшить теплоту згоряння виробленого синтез-газу [80; 81].

Провівши аналіз сфер застосування твердого біопалива, можна виділити три основні: виробництво електричної енергії, виробництво теплової енергії та споживання побутовим сектором для опалення.

Найбільш оптимальною технологією використання твердого біопалива є когенерація, тобто виробництво електричної та теплової енергії на промислових установках з сумісним використанням органічного та твердого біопалива. Така технологія дозволяє, не зменшуючи

ККД агрегатів виробляти максимально можливу кількість енергії, при цьому значно скоротити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Аналіз промислової бази дозволив розробити організаційну схему формування біоенергетичного циклу, який складається із трьох періодів, які узагальнено наведено на рис. 2.9.

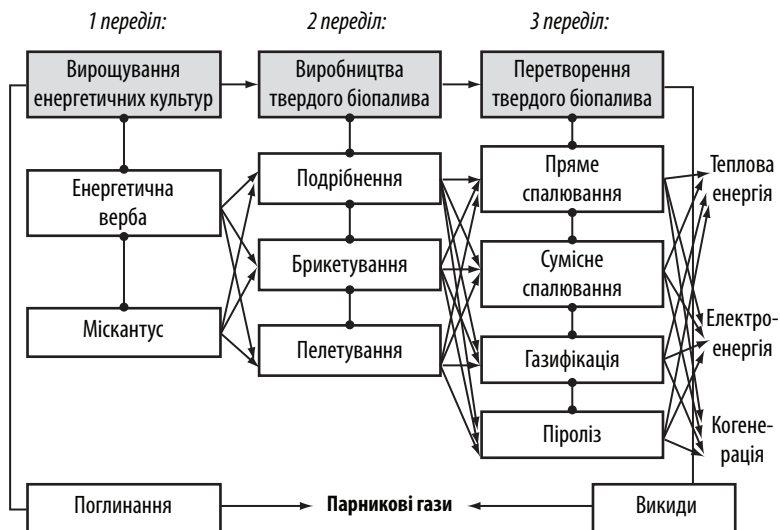


Рис. 2.9. Організаційна схема формування біоенергетичного циклу

Джерело: власна розробка

Виходячи із схеми, наведеної на рис. 2.9:

1 період – вирощування енергетичних культур;

2 період – виробництво твердого біопалива;

3 період – перетворення твердого біопалива.

Запропонована схема передбачає взаємоузгодження різних видів економічної діяльності: сільського господарства (вирощування енергетичних культур), деревообробної промисловості (виробництво твердого біопалива) та енергетики (перетворення твердого біопалива).

на кінцеву енергію: електричну, теплову або як біокомпонент для моторного палива).

Зазначеною схемою доводиться, що біоенергетичний цикл є екологічно нейтральним, оскільки вирощування енергетичних культур здатне поглинути викид парникових газів, спричинених спалюванням твердого біопалива.

Висновки до розділу 2

Виходячи з проведеного в розділі дослідження можуть бути сформувані такі основні висновки та результати:

1. На основі аналізу біотипів, біологічних і фізико-хімічних властивостей, умов вирощування та способів використання удосконалено класифікацію енергетичних культур, яка є методичною передумовою для визначення конкретних видів рослин для культивування. Класифікаційними ознаками енергетичні культур є: цикл вирощування (однорічні або багаторічні); тип (деревоподібні, трав'янисті, водорості), склад кінцевого продукту (олійні, крохмаловмісні, цукровмісні, лігноцелюлозні), походження (класичні енергетичні культури, сільськогосподарські культури). Найперспективнішими є класичні багаторічні енергетичні культури, такі як верба та міскантус.
2. До основних видів твердого біопалива з біомаси енергетичних культур відносять: непідготовлена біомаса енергетичних культур, енергетична тріска (щепа); паливні гранули (пелети), брикети. З точки зору хімічного складу та фізичних властивостей найбільш доцільним є виробництво тверде біопаливо з біомаси енергетичних культур у виді пелет, що дозволяє підвищити ефективність отримання енергії.
3. Аналіз досвіду застосування твердого біопалива дозволив виділити два основних напрями його використання, а саме: виробництво електричної та теплової енергії. Серед технологій його перетворення виділяють пряме спалювання, сумісне спалювання, газифікацію, піроліз, когенерацію. Найефективнішою техно-

логією перетворення твердого біопалива є когенерація шляхом сумісного використання традиційного органічного та твердого біологічного палива.

4. Аналіз способів культивування енергетичних культур, способів виробництва та використання твердого біопалива дозволив запропонувати організаційні положення з формування біоенергетичного циклу, який складається із 3 переділів: 1 – вирощування енергетичних культур; 2 – виробництво твердого біопалива; 3 – перетворення твердого біопалива, на кожному з яких я альтернативні варіанти формування.
5. Як рекомендації щодо розбудови біоенергетичного циклу в Україні можуть бути подані такі:
 - 1) вирощувати класичні енергетичні культури, а саме: енергетичну вербу та міскантус;
 - 2) організувати виробництва паливних пелет;
 - 3) розвивати комбіноване виробництво теплової та електричної енергії із сумісним спалюванням паливних пелет та вугілля.

Список джерел до розділу 2

1. Калетнік Г. М., Пришляк В. М. Біопалива: ефективність їх виробництва та споживання в АПК України : навч. посіб. Київ : Аграрна наука, 2010. 327 с.
2. Дубровін В. О., Корчемний М. О., Масло І. П. та ін. Біопалива (технологія, машини і обладнання). Київ : ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. 256 с.
3. Калетнік Г. М. Економічна ефективність розвитку ринку біопалив в Україні. *Проблеми науки*. 2008. № 12. С. 38–43.
4. Гументик М. Я. Атлас високопродуктивних біоенергетичних культур. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 6–7.
5. Мельничук М., Дубровін В.. Зелена енергія в Україні. *Агросектор*. 2007. № 2. С. 12–13.

6. Федірко М. М. Солтис Д. І., Овчарук О. В Проблеми вирощування енергетичних культур в Україні // Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика (м. Тернопіль, 20 листоп. 2020 р.). Тернопіль : ЗУНУ, 2020. С. 180–183.

7. Karampinis E., Vamvuka D., Sfakiotakis S. Comparative Study of Combustion Properties of Five Energy Crops and Greek Lignite. *Energy & Fuels*. 2012. No. 26 (2). P. 869–878. URL: http://www.researchgate.net/publication/224437353_A_Comparative_Study_of_Combustion_Properties_of_Five_Energy_Crops_and_Greek_Lignite

8. Alexopoulou E., Christou M., Eleftheriadis I. Role of 4F cropping in determining future biomass potentials, including sustainability and policy related issues. Biomass Department of CRES. 2010–2012. URL: http://www.biomassfutures.eu/public_docs/final_deliverables/WP3/D3.2%20Role%20of%204F%20crops.pdf

9. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Український інститут експертизи сортів рослин. URL: <https://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslin>

10. Dahl J., Obernberger I. Evaluation of the combustion characteristics of four perennial energy crops // 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection: proceedings (Rome, Italy, 10-14 May 2004) P. 1265–1270. URL: http://www.cres.gr/bioenergy_chains/files/pdf/Articles/10-Rome%20OE1_1.pdf

11. Хіврич О. Б., Квака В. М., Каськів В. В., Мамайсур В. В., Макаренко А. С. Енергетичні рослини як альтернатива традиційним видам палива. *Агробіологія*. 2011. Вип. 6. С. 153–157. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agr_2011_6_39

12. Allen B., Kretschmer B., Baldock D. Space for energy crops – assessing the potential contribution to Europe's energy future, 2014. URL: <http://www.eeb.org/EEB/?LinkServID=F6E6DA60-5056-B741-DBD250D05D441B53>

13. Трибой О. В., Драгнєв С. В. Як використати малопродуктивні землі для вирощування сталої біосировини для енергетики? *Екологія*

підприємства. 2018. № 7 (72). С. 55–63. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/tryboi-dragnev-marginal-lands-for-growing-sustainable-bioenergy-feedstock-forbio.pdf>

14. Роїк М. В., Гументик М. Я., Мамайсур В. В. Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва твердого біопалива. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 18–19.

15. Івахів В. Енергетична верба як рішення для малих міст України. *Українська енергетика*. 2012. URL: <http://ua-energy.org/post/27476>

16. Гелетуша Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В. Перспективи Вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Аналітична записка. № 10. Біоенергетична Асоціація України. URL: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paperuabio-10-ua.pdf>

17. Сокольникова К. А у нас замість вугілля, газу і дров – енергетичні культури // AgroPortal. 19.10.2016. URL: <https://agroportal.ua/ua/publishing/analitika/a-u-nas-vmesto-uglya-gaza-i-drov-energeticheskie-kultury/>

18. Енергетична верба – екологічно чисте біопаливо 21 століття. *Новини агротехніки компанії «Salix Energy»*. 2012. № 1. С. 26–28.

19. Аналітичний звіт та рекомендації щодо вирощування енергетичних культур в Україні. Проект «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій в муніципальному секторі в Україні». 22.02.2016. URL: http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/58/b4/58b45b61-d09d-43bf-bcb7-47e0235d39e0/otchet_po_verbe.pdf

20. Шевчук Р. Біоенергетичні культури для Полісся // Аграрний Тиждень. Україна : інформ.-аналіт. портал. URL: <https://a7d.com.ua/plants/13853-boenergetichn-kulturi-dlya-polssya.html>

21. Planting and growing miscanthus. Best practice guidelines. URL: <http://adlib.everysite.co.uk/resources/000/023/838/miscanthus-guide.pdf>

22. Воробей В., Мелех Я., Гудз Н. Використання біомаси енергетичних культур у північних областях України / Агенція економічного розвитку PPV Knowledge Networks. Львів 2018. URL: <https://www.>

ppv.net.ua/uploads/work_attachments/Studies_of_Forest-based_and_Energy_Crops_Biomass-for-Energy_Use_in_Northern_Oblasts_of_Ukraine_PPV_2018_UA.pdf

23. Роїк М. В., Ганженко О. М. Агропромислові енергетичні плантації – шлях до енергоне залежності України // Агропрофі : український тижневик ділової інформації 13.11.2015. URL: <http://www.agroprofi.com.ua/statti/1297-agropromislovi-energetichni-plantatsiji-shlyakhdo-energonezalezhnosti-ukrajini>

24. Погорелова І. Енергетичні рослини можуть замінити газ та очистити ґрунти. *Рідне Село*. URL: <http://ridneselo.com/node/6856>

25. Кравчук В., Новохацький М., Кожушко М., Думич В., Журба Г. На шляху до створення плантацій енергетичних культур. *Техніка і технології АПК*. 2013. № 2. С. 31–34. URL: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Titapk_2013_2_14.pdf

26. Wulschleger S. D., Sanderson M. A., McLaughlin S. B. Photosynthetic rates and ploidy levels among populations of switchgrass. *Crop Sci*. 1996. No. 36. P. 306–312.

27. Кулик М. І. Вплив умов вирощування на врожайність фітомаси свічграсу (*panicum virgatum*.) другого року вегетації. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 2. С. 30–34. URL: <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2013/02/30.pdf>

28. Фучило Я. Д., Сбитна М. В., Фучило О. Я., Літвін В. М. Досвід та перспективи вирощування тополі (*POPULUS SP.L.*) в південному степу України. *Наукові праці Лісової академії наук України*. 2009. Вип. 7. С. 66–69.

29. Можарівська І. А. Особливості вирощування *Silphium perfoliatum* L. в умовах радіоактивного забруднення Полісся України. *Агроекологічний журнал*. 2016. № 4. С. 153–158.

30. Альтернативна енергетика у нашому житті. URL: <https://wwf.ua/?232512/Renewables-in-our-life>

31. Можарівська І. А. Оцінка продуктивності сіди багаторічної залежно від застосування регуляторів росту. Органічне виробництво і продовольча безпека // III Міжнародна науково-практична конференція : тези допов. (м. Житомир, 23–24 квіт. 2015 р.). Житомир : ЖНАЕУ, 2015. С. 399–401.

32. Яковлева Н. Українські науковці пропонують вирощувати павловнію для виробництва біопалива // EcoTown. URL: <https://ecotown.com.ua/news/Ukrayinski-naukovtsi-proponuyut-vyroshchuvaty-pavlovniyu-dlya-vyrobnytstva-biopalyva/>

33. Зінченко В. О. Біогеоліоенергія – наше енергетичне майбутнє *Пропозиція*. 2006. № 8. С. 130–132.

34. Гуцол Т. Д., Розкош А. Енергетичний потенціал торефікованої біомаси // Розвиток біоенергетичного потенціалу в сільському господарстві : матеріали доповідей V-го Міжнар. наук.-практ. семінару (м. Київ., 7–8 лют. 2020 р.). Київ : Вид-во «Наукова столиця», 2020. С. 74–76.

35. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02009L0028-20151005>

36. Directive 2009/30/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EEC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1566910395281&uri=CELEX:32009L0030>

37. Перспективи розвитку ринку біомаси в ЄС і Україні. Вплив використання біомаси на зміну клімату / Український союз промисловців і підприємців. URL: <https://uspp.ua/assets/doc/uspp-biomass.pdf>

38. Біоенергетика. Кращі аграрні практики Вінниччини. URL: <http://apv.vn.ua/posts/bioenerhetyka>

39. Гайденок О. Правильна заготівля біомаси // Агробізнес сьогодні. 2014. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1063-pravylna-zahotivlia-biomasy.html>

40. Біомаса як сировина для біопалива: перспективи й економічні переваги // УКРБІО. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/11060/>

41. Дубровін В. О., Мельничук М. Д., Мироненко В. Г. Перспективи розвитку технологій енергетики в Україні // Біопаливо та відновлювані джерела енергії, проблеми і перспективи розвитку. Вінниця : ВДАУ, 2006. 103 с.

42. Клименко В. В., Кравченко В. І., Боков В. М., Гуцул В. І. Технологічні основи виготовлення біопалива з рослинних відходів та їх композитів : монографія. Кропивницький : ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. 162 с. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/6980/1/MonographyKlym.pdf>

43. Гелетука Г., Драгнев С., Кучерук П., Матвеев Ю. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України (для представників агропромислового комплексу). Проект ПРООН/ГЕФ «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні». 2017. URL: http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/f5/9c/f59c3f7f8eca-4b6d-94cd-ffda1150f3ae/biofin.pdf

44. Блюм Я. Б., Гелетука Г. Г., Григорюк І. П. Новітні технології біоенергоконверсії. Київ : Аграр Медіа Груп, 2010. 326 с.

45. Гайденок О. Доступне біопаливо // Агробізнес сьогодні. 2020. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/18776-dostupne-biopolyvo.html>

46. Роженко В. Твердопаливні котли на біомасі. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2016. № 20. С. 466–477. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar_2016_20_57

47. Гайденко О. Тверде біопаливо: технологічні вимоги, властивості компонентів та технологія виробництва // Агробізнес сьогодні. 2014. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8366-tverde-biopalyvo-tekhnologichni-vymohy-vlastyvosti-komponentiv-ta-tekhnolohiia-vyrobnytstva.html>

48. Технологія виробництва різних видів біопалива // УКРБІО. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/2344/>

49. Nikolaisen L., Nielsen C., Larsen M. G. Straw for energy production. Technology–Environment–Economy. The Centre for Biomass Technology. Denmark. 1998. 53 p. URL: <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/333919>

50. Serup H., Kofman P. D., Falster H., Gamborg Ch., Gundersen P., Hansen L., Heding N., Jakobsen H. H., Nikolaisen L., Thomsen I. M., O'Carroll J., Wood chips for energy production. Technology – Environment–Economy. Irish edition. COFORD, Dublin. 2005. 72 p. URL: http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/projectreports/wood_for_energy_production.pdf

51. Дубровін В. О., Мироненко В. Г., Лободко М. М., Лут М. Т., Сарана В. В., Гудзенко М. М., Грищенко О. М., Захарків Г. С. Технологічне забезпечення та технічне оснащення виробництва і використання біопалива для виробничих потреб і обігріву приміщень в АПК [Рекомендації для агропромислових підприємств України]. Київ : Холтех, 2009. 32 с.

52. Гелету́ха Г. Г. Желе́зна Т. А., Драгнев С. В. Аналіз можливостей виробництва і споживання паливних брикетів з біомаси сільськогосподарського походження в Україні. Частина 2. Теплофізика та теплогенеретикам 2019. Т. 41. № 1. С. 67–73.

53. Гелету́ха Г. Г. Желе́зна Т. А., Драгнев С. В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. Аналітична записка № 20 Біоенергетичної асоціації України. 18.05.2018. URL: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2018/05/position-paper-uabio-20-ua.pdf>

54. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні : посібник /

за ред. Г. Гелетути. Київ : «Поліграф плюс», 2015. 72 с. URL: <https://saee.gov.ua/sites/default/files/secbiomass-booklet-heat-production%20%281%29.pdf>

55. Гелетути Г. Г., Железная Т. А., Матвеев Ю. Б. Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні. *Промислова теплотехніка*. 2006. № 2. С. 85–93. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/61394/12-Geletukha.pdf?sequence=1>

56. Kowalczyk J., Zarajczyk J., Sobczak P. The usefulness of briquettes and pellets from selected plant materials for energy purposes. *Teka. Commission of motorization and energetics in agriculture*. 2012. Vol. 12. No. 2. P. 311–313.

57. Гелетути Г. Г., Железная Т. А., Тишаев С. В., Кобзарь С. Г. Развитие биоэнергетических технологий в Украине. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2002. № 3. С. 3–11.

58. Матвійчук А. С. Сумісне спалювання біомаси і вугілля // Енергетика майбутнього в Україні: Альтернативність, ефективність, безпека : тези допов. наук.-техн. конф. (сміт. Миколаївка, 11–13 жовт., 2013 р.). сміт Миколаївка. 2013, С. 64–65.

59. ДСТУ 8358:2015 Брикети та гранули паливні з деревинної сировини. Технічні умови. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73203

60. Кизим М. О. Оцінка наслідків членства України у світовій організації торгівлі : кол. моногр. / за ред. М. О. Кизима, І. Ю. Матюшенка ; авт. кол. Харків : Видавничий дім «ІНЖЕК», 2014. 212 с.

61. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 01.10.2014 № 902-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80#Text>

62. Коломийченко М. В. Дорожня карта розвитку ринку твердого біопалива України. Проект ПРООН/ГЕФ «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні». 18.11.2016. URL: http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/

b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia_karta_z_rozvitku_rinku_tverdogo_biopaliva_ukrayini.pdf

63. Зарубіжний досвід електро- та теплопостачання на основі впровадження екологоефективних біопаливних технологій. ПрАТ «Укренерпро» URL: https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/05/Biopalyvni_tehnologiyi.pdf

64. Економічне обґрунтування доцільності переходу на опалення твердим біопаливом. Гармонізація українських стандартів та стандартів ЄС. URL: [https://saee.gov.ua/documents/Posibnik_for-web-UUP-2014%20\(1\).pdf](https://saee.gov.ua/documents/Posibnik_for-web-UUP-2014%20(1).pdf)

65. Використання біомаси на котельнях централізованого теплопостачання, BioEnergy for Business. Horizon 2020. 2016. URL: http://energy.esco.agency/wp-content/uploads/2019/06/2019-2_art54.pdf

66. Данчук І. Документування найкращих практик застосування біоенергетичних технологій в муніципальному секторі України. Проект ПРООН/ГЕФ «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій в муніципальному секторі в Україні». Global Environment Facility, Investing in our Future, Biomass Energy, 2015. URL: http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/2a/3d/2a3da499-5057-4a5f-8e5b-565a52daf34c/dokumentuvannia_naikrashchikh_praktik_zast_bioenerget_tekhnologii.pdf

67. Daraban A. E., Jurcoane S., Voicea I., Voicu G. Miscanthus giganteus biomass for sustainable energy in small scale heating systems. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015. № 6 (2015). P. 538–544.

68. Серьогін О. О., Осьмак О. О., Башта А. В. Фізико-хімічні основи проектування обладнання для термохімічної конверсії сумішей біотехнічних відходів. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2014. № 52. С. 125–130.

69. Гелетука Г. Г. Железна Т. А., Гайдай О. І. Перспективи розвитку біоенергетики як інструменту заміщення природного газу в Україні. Аналітична записка БАУ №12. *Промислова теплотехніка*. 2015. Т. 37. № 6. С. 56–65. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/142233/07-Geletukha.pdf?sequence=1>

70. Тормосов Р. Виробництво теплової енергії з біомаси. Аналіз законодавства, регуляторних аспектів і податкової політики та рекомендації щодо необхідних змін у чинному законодавстві. Інститут місцевого розвитку. IMP в рамках реалізації Проекту USAID “Місцеві альтернативні джерела енергії: м. Миргород”. 2014.

71. Гелетука Г. Г. Железна Т. А., Баштовий А. І. Енергетичний та екологічний аналіз технологій виробництва електроенергії з твердої біомаси. Частина 1. *Промислова теплотехніка*. 2017. Т. 39. № 1. С. 58–64. URL: <http://uabio.org/img/files/news/pdf/energy-andecology-analysis-of-technologies-for-power-production-from-biomass-part1.pdf>

72. Сігал О. І., Падерно Д. Ю., Павлюк Н. Ю., Сафьянц А. С., Бикоріз Є. Й., Плашихин С. В. Скорочення споживання природного газу та зниження викидів шкідливих речовин з продуктами спалювання в комунальній теплоенергетиці. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2019. Т. 41. № 2. С. 54–63.

73. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні : практ. посіб. / за ред. Г. Гелетуки. Київ : Поліграф плюс, 2015. 72 с.

74. Басок Б. І., Новосельцев О. В., Дубовський С. В., Базеев Є. Т. Модернізація систем теплозабезпечення населених пунктів України (теплофізика, енергоефективність, енергоекономіка, екологія). Київ : Калита, 2018. 406 с.

75. Urbanovicova O., Kristof K., Findura P. Physical and mechanical properties of briquettes produced from energy plants. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2017. Vol. 65. P. 219–224. URL: https://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun_2017065010219.pdf

76. Матюшенко І. Ю., Костенко Д. М. Передові виробничі технології – ключ до якісної трансформації і зростання високотехнологічного експорту України до 2030 р. *Бізнес Інформ*. 2016. № 3. С. 32–43.

77. Матюшенко І. Ю., Костенко Д. М., Моїсеєнко Ю. М., Бунтов І. Ю. Перспективи розвитку високотехнологічного сектору

в умовах інтеграції України в ЄС і Митний Союз // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики : материалы XVIII Междунар. науч.-практ. конф. (м. Ялта, 30 верес. – 6 жовт. 2013 р.). Ялта, 2013. С. 175–183.

78. Котли на твердому паливі // УКРБІО. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/2314/>

79. Результати опитування IFC «Ринкові умови для впровадження проектів виробництва енергії з біомаси в Україні». 2015. URL: https://saee.gov.ua/sites/default/files/IFC_Survey.pdf

80. Karkania V., Fanara E., Zabaniotou A. Review of sustainable biomass pellets production – A study for agricultural residues pellets' market in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16. No. 3. P. 1426–1436.

81. Andriani D., Atmaja T. D. Alternative mixing scenarios and pretreatment manner to optimize wood fuel pellet // International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (Yogyakarta, Indonesia, 6–7 November 2012). P. 21–26.

3.1. Концептуальні положення з розвитку виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні

Наразі Україною розглядається новий вектор енергетичного розвитку, який окреслено у Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 р. [1]. Підґрунтям його вибору стало приєднання України до:

- а) Паризької угоди 2015 р. щодо посилення міжнародних зобов'язань держав-підписантів у реалізації кліматичної політики із зменшення викидів парникових газів [2];
- б) Енергетичної стратегії ЄС, так звана «Європейська Зелена Угода» (European Green Deal) у 2018 р. щодо перетворення Європи на кліматично нейтральний континент світу [3].

Так, European Green Deal містить 7 основних стратегічних складових [3], з якими погоджується Україна у своїй Концепції енергетичного переходу до 2050 р. [1]. Це максимізація енергоефективності; максимальне розгортання відновлюваних джерел енергії та електрифікації; перехід до екологічно чистого транспорту; запровадження «кругової» економіки (економіки замкнутого циклу); розробки «розумних» мереж і комунікацій; розширення біоенергетики та технологій природного поглинання вуглецю; поглинання решти викидів CO₂ за рахунок технологій поглинання, зберігання та повторного використання вуглецю (carbon capture, storage and utilisation) [1; 3].

Реалізація European Green Deal зумовить істотне пришвидшення енергетичних трансформацій в країнах Європи, що відобразатиметься на усіх сферах економіки, а також на співпраці з іншими країнами світу [3]. Ці трансформації стануть одночасно великим викликом і можли-

вістю для України як держави, що має надзвичайно амбітну Угоду про асоціацію з ЄС і є стороною Енергетичного Співтовариства [1].

Відповідно до Концепції [1] розвиток виробництва і використання енергетичних культур в Україні пов'язується із істотною трансформацією підходів до розвитку енергетики в світі у контексті її екологізації та декарбонізації з особливою увагою до проблем боротьби зі зміною клімату та досягнення глобальних Цілей сталого розвитку [4]. Україна визнає, що має залишатися й надалі активним учасником глобальної боротьби зі зміною клімату та адаптації до нього, визнаючи свою відповідальність за досягнення цілей Паризької угоди та керуючись національними інтересами та пріоритетами [1].

Водночас проблеми енергетичної складової суспільного господарювання в Україні пов'язані зі сферами поставки та використання енергії, які є нестійкими в економічному, екологічному та соціальному плані. Україна має вразливу з точки зору енергобезпеки систему генерації та постачання всіх видів енергії [5]. Пострадянська енергосистема має критичні недоліки та не відповідає сучасним технологіям і раціональному використанню ресурсів. Без рішучих дій, пов'язаних з енергетикою, викиди парникових газів будуть вищими у понад 2 рази до 2050 р., а збільшення попиту на нафту та газ посилить ризики безпеки їх постачань [6]. У таких умовах енергетичні технології з низьким рівнем викидів вуглецю будуть відігравати вирішальну роль в енергетичній революції. Для ефективного скорочення викидів парникових газів, енергоефективності, енергетичної безпеки доцільним вбачається залучення в енергетичний ланцюг багатьох видів відновлюваних джерел енергії, технологій уловлювання та зберігання вуглецю, ядерної енергетики та нових транспортних технологій. Україна має для цього великий потенціал в секторі відновлюваних джерел енергії [7]. Негайні заходи з впровадження сучасних технологій мають бути здійснені в кожному секторі економіки країни [8].

Для забезпечення якісного енергетичного переходу й досі залишається актуальним досягнення цілей, які зазначені у Національному плані дій з відновлюваної енергетики до 2020 р. [9]:

- 1) у секторі електроенергетики встановити 5,7 ГВт потужностей, що працюють на відновлюваних джерелах енергії (без урахування потужностей великих гідроелектростанцій), генерація на яких складе 11 % від загального обсягу споживання електроенергії;
- 2) у секторі теплоенергетики замінити 5,85 млн т н. е. традиційних паливно-енергетичних ресурсів енергією, виробленою з відновлюваних джерел. Зазначений обсяг виробництва теплоенергії з відновлюваних джерел має забезпечити 12,4 % від загального кінцевого споживання теплоенергії;
- 3) біоелектростанції на твердому біопаливі мають забезпечити 11,3 % (2950 проти 26000 ГВт*год) від загального виробництва електроенергії з відновлюваних джерел;
- 4) об'єкти біоенергетики, що працюють на твердому біопаливі та виробляють теплоенергію, мають забезпечити 83 % (4850 проти 5850 тис. т н. е.) від загального виробництва теплоенергії з відновлюваних джерел [9].

Реалізація цих цілей зсувається у часі, а не відміняється, про що свідчать цільові орієнтири, викладені у проєкті Концепції «зеленого» енергетичного переходу до 2050 р. [1].

Водночас в енергетичній галузі України сталися ключові зміни, що вимагають пришвидшення темпів розбудови відновлюваних джерел енергії. Все більшого значення набувають питання енергетичної безпеки країни, зменшення залежності від імпортованих енергоносіїв. Урядом України здійснюється поступове приведення до ринкових цін традиційних енергоносіїв у європейському просторі та скорочення субсидування окремих категорій споживачів, що збільшує їх зацікавленість у використанні локальних видів палива [10]. Означене обумовлює перспективність біоенергетики для трансформації енергетичної системи України.

Як наслідок, суттєво зростає популярність проєктів енергетичного використання твердого біопалива та заміщення викопних палив: дорогого природного газу та брудного вугілля. Найбільш динамічно роз-

вивається використання деревини у виді дров, відходів деревообробки, спалювання лушпиння соняшника. Поступово зростає інтерес до енергетичного використання соломи зернових і відходів і залишків кукурудзи. Ряд вітчизняних компаній вже опанували випуск котлів на біомасі як для побутових, так і промислових споживачів [11].

Особливого значення в цьому сенсі набувають проекти заміщення викопних палив у централізованому тепlopостачанні, оскільки саме вони є найбільш економічно доцільними, а інколи єдино можливим варіантом задушення твердого біопалива для опалення багатопверхової житлової забудови. Сировиною для виробництва твердого біопалива здебільшого є деревина, деревні відходи, солом зернових і зернобобових культур, соняшникове лушпиння та інші залишки, що утворюються в аграрному виробництві. Надходження такої сировини є нестабільним і носить сезонний характер, що негативно впливає на ефективність роботи заводів із виробництва твердого біопалива [12]. Альтернативним способом вважається забезпечення сировиною виробників твердого біопалива за рахунок вирощування енергетичних культур, що дасть змогу щорічну отримувати задану кількість біомаси необхідної якості [10; 12].

Тверде біопаливо, вироблене з біомаси енергетичних культур, може і має внести істотний внесок у забезпечення енергетичної безпеки і соціально-економічного розвитку, а також у скорочення викидів парникових газів у секторі теплогенерації та виробництві електроенергії. Для досягнення цієї мети необхідні сильні та збалансовані зусилля, щоб створити стабільне інвестиційне середовище та дозволити комерціалізацію передових технологій виробництва твердого біопалива, підвищення ефективності і подальшого скорочення витрат уздовж виробничого ланцюга різних видів твердого біопалива [10].

Водночас розвиток сфери вирощування енергетичних культур знаходиться на початковому етапі. В Україні реалізуються лише 3 пілотні проекти із розташування розсадників енергетичної верби: у с. Квасово (Закарпатська обл.), с. Козарі (Івано-Франківська обл.), с. Шилівка (Полтавська обл.), а також 4 пілотні проекти із упроваджен-

ня котлів на біопаливі у: м. Києві, м. Житомирі, м. Умань (Черкаської обл.), с. Черкаське (Донецької обл.). Як бачимо розвиток біоенергетики відбувається локаційно, відсутнє системне її бачення за складовими моделі біоенергетичного циклу.

Автори вважають, що забезпечення розвитку біоенергетичного циклу залежить від спорідненості його елементів, якими є його переділи: 1 – вирощування енергетичних культур (сільське господарство); 2 – виробництво твердого біопалива (деревообробна промисловість); 3 – перетворення твердого біопалива (енергетика).

Комплексне поєднання цих переділів на одній території дозволить досягти її збалансованого сталого розвитку, а також зможе локально розв'язати трилему розвитку енергетики щодо забезпечення екологічної сталості, енергетичної безпеки та соціально-економічної доступності енергії.

В основу дослідження закладено гіпотезу про те, що виробництво біопалива із енергетичних культур є економічно рентабельним, соціально доступним та екологічно прийнятним напрямом забезпечення енергетичних потреб національного господарства. Для доведення цієї гіпотези запропоновано концептуальні положення, які визначають економічні та технологічні цілі та основні заходи, яких зацікавлені сторони мають вжити для розширення виробництва і використання твердого біопалива на стійкій основі, а також для створення розвинутого ринку твердого біопалива. Їх основу складають визначення мети, принципів, напрямів, завдань і результатів, які в узагальненому виді наведені на *рис. 3.1*.

Представлені концептуальні положення з розвитку виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні побудовані на сучасних світових наукових знаннях і практиках, що дає змогу скоротити та нейтралізувати викиди парникових газів, наблизити Україну до кліматично нейтральної економіки з дотриманням принципу справедливості та у контексті досягнення Цілей сталого розвитку [8] і зусиль з викорінення бідності, як того вимагає стаття 4 Паризької угоди [2].

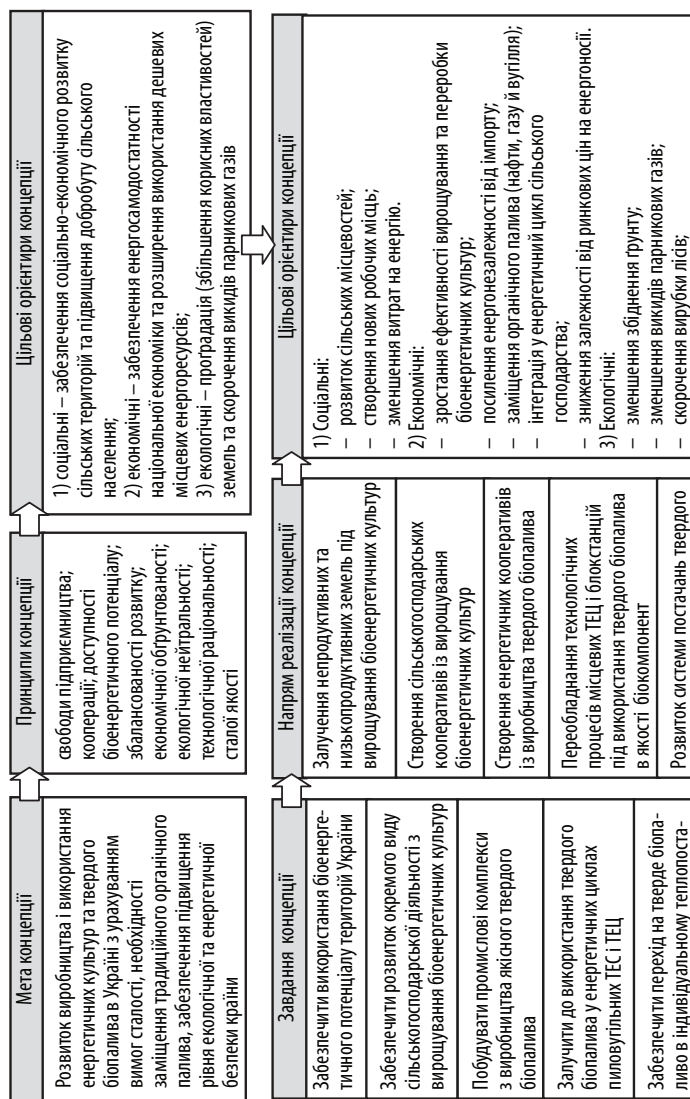


Рис. 3.1. Схема реалізації концептуальних положень з розвитку виробництва і використання енергетичних культур в Україні

Ажерело: власна розробка [8]

В основу концептуальних положень закладено комплексну мету, яка полягає у розвитку виробництва і використання енергетичних культур та твердого біопалива в Україні, з урахуванням вимог сталості, необхідності заміщення традиційного органічного палива, підвищуючи рівні екологічної та енергетичної безпеки країни.

Принципи розвитку виробництва і використання енергетичних культур складають основу його концептуальних положень. Такими принципами визначено наступні:

- *свободи підприємництва* – виробники енергетичних культур і біопалива вільні у праві прийняття рішень щодо напрямів здійснення підприємницької діяльності, самостійного планування, матеріально-технічного забезпечення своєї діяльності, вільні у праві найму працівників, встановлюють ринкові ціни на продукцію, визначають напрямки її реалізації;
- *кооперації* – учасники біоенергетичного циклу (виробники енергетичних культур, виробники біопалива та споживачі біопалива) співпрацюють у спільному напрямку щодо його розбудови;
- *доступності місцевого біоенергетичного потенціалу* – розвиток виробництва енергетичних культур та біопалива відбувається з урахуванням природно-кліматичних умов місцевості;
- *збалансованості розвитку* – розвиток біоенергетичного циклу передбачає досягнення балансу між енергетичною, екологічною та продовольчою безпекою. Біопаливо може забезпечити істотне скорочення: по-перше, імпорту традиційного палива та, по-друге, викидів парникових газів, але без шкоди для продовольчої безпеки, біорізноманіття або суспільства;
- *економічної обґрунтованості* – вирощування енергетичних культур є економічно рентабельним і використання біопалива відбувається на ринкових засадах господарювання;
- *екологічної нейтральності* – вирощування енергетичних культур здатне поглинути викиди парникових газів, спричинених виробництвом та використання продуктів їх перетворення, що знижує навантаження на навколишнє середовище;

- *технологічної раціональності* – біоенергетичний цикл має враховувати узгодження технологічних процесів із вирощування енергетичних культур, виробництва біопалива та його спалювання;
- *сталості* – гарантування параметрів якості, сталості та безпечності біомаси та твердого біопалива має життєво важливе значення [8].

Розбудова виробництва і використання енергетичних культур в Україні торкається трьох складових сталого розвитку, що обумовлює триєдинство очікуваних результатів реалізації концепції, серед яких є:

- *соціальні* – забезпечення соціально-економічного розвитку сільських територій та підвищення добробуту сільського населення;
- *економічні* – забезпечення енергосамодостатності національної економіки та розширення використання дешевих місцевих енергоресурсів;
- *екологічні* – проградація (збільшення корисних властивостей) земель і зменшення викидів парникових газів.

Очікувані результати розукрупнюються за цільовими орієнтирами. Цільовими орієнтирами реалізації концепції є:

екологічні:

- розширення використання низькопродуктивних і непродуктивних земель під вирощування. Як показано у 2-му розділі роботи, більшість із енергетичних культур добре ростуть на неродючих ґрунтах;
- зупинення збіднення ґрунту. На думку вчених [13–15], в Україні збіднення ґрунтів пов'язано із збором із посівних територій відходів сільського господарства, які йдуть на виробництво пелет. Доведено, якщо забирати солом у ґрунту (близько 4 млн т щорічно), з нього вилучається приблизно 168 кг/га діючої речовини – азоту, фосфору, калію – без належної компенсації. Щоб повернути їх у ґрунт, потрібно внести не менше 216 кг/га добрив у фізичній величині. Ґрунти засолюються і втрачають родючість

[16]. Тому вирощування енергетичних культур є перспективною альтернативою у виробництві біопалива. Пропонується використовувати замість соломи такі культури, як свічграс, міскантус і верба;

- зменшення викидів парникових газів. Енергетичні культури розглядаються як поглиначі викидів парникових газів із атмосфери;
- скорочення вирубки лісів. Нині лісистість України становить лише 15 %, тоді як у Польщі – 27 %, Фінляндії – 70 %. Для підвищення цього показника потрібно засадити 1,5 млн га вербою і тополею, а 0,5 млн га – зайняти міскантусом і свічграсом [17];
- поступове відновлення непродуктивних земель. Для біомаси використовуються тільки стебла рослин, листя опадає, перегниває і стає добривом. Наприклад, міскантус на одному місці може рости 10-20 років та удобрювати своїм листям неродючі ґрунти [18; 19];
- підвищення рівня екологічної та енергетичної безпеки передбачає збереження ресурсів органічного викопного палива, таких як нафта, природний газ й вугілля. Замість або в якості біокомпонент до них можна використовувати різні види біопалива;

соціальні:

- створення у селі нових робочих місць та підвищення рівня зайнятості та добробуту сільського населення;
- соціально-економічний розвиток у сільських місцевостях через ціннісно-орієнтований розвиток сільської інфраструктури;
- зменшення платежів за енергетичні товари та послуги. Використання дешевшої і доступнішої місцевої біоенергії дасть змогу скоротити енергетичні платежі населення;

економічні:

- ефективність вирощування та переробки. Високі показники виходу готової продукції (як за енергетичною щільністю, так виробництво одиниці енергії з 1 га) для всіх джерел одержання біопалива із біомаси енергетичних культур;

- здолання проблем енергодефіцитності. Так, 500 тис. га міскантусу відповідають 6,5 млн т вугілля [20]. Завод із виробництва біогазу може виробити до 2 МВт, яких достатньо для забезпечення енергопостачанням приватних господарств до 15 тис. осіб [17];
- створення замкнутого біоенергетичного циклу. Інтеграція у виробничий процес сільського господарства. Використання сільськогосподарських культур і органічних решток для виробництва енергії;
- зменшення витрат на логістику. Відбувається послаблення енергонезалежності населених пунктів та цілих регіонів від постачання зовнішніх енергоносіїв з виробництва теплової енергії, електроенергії;
- знижується залежність від ринкових цін на енергоносії. За рахунок використання власної сировинної бази [8].

Водночас реалізація концепції стикається із рядом викликів, що обумовляють необхідність ретельних досліджень [13]:

- ресурсної бази всіх регіонів України;
- створення біоенергетичних балансів як місцевих, так і регіональних, і державного;
- вдосконалення діючої системи моніторингу викидів парникових газів і джерел їх поглиначів;
- техніко-економічне обґрунтування та впровадження інноваційних технологій в біоенергетиці;
- визначення соціально-економічного впливу на розвиток громад сільських територій;
- розробка та запровадження програми збереження біорізноманіття, збереження та покращення якості ґрунтів, води та повітря;
- розробка та впровадження систем сертифікації/ підтвердження «due diligence» для бізнесу та державних підприємств-постачальників;
- боротьба з тінізацією та корупцією на кожному етапі розбудови виробництва та використання твердого біопалива [13].

У результаті визначення мети, принципів та очікуваних результатів можна визначити завдання та пов'язані з ними напрямки реалізації концепції.

Їх визначення спирається на загальну схему постачання продукту до кінцевого споживача, від закладання плантації енергетичної культури до перетворення отриманої біомаси на товарну енергію (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Загальна схема перетворення енергетичної культури на кінцевий продукт

Джерело: власна розробка [8; 21]

Виходячи з рис. 3.2 ланцюг постачання товарної енергії, виробленої з енергетичної культури, до кінцевого споживача складається з п'яти основних процесів.

- *процес закладання плантації.* На цьому етапі виконуються всі необхідні підготовчі роботи (обробіток ґрунту, внесення необхідних добрив, пестицидів та ін.) та безпосередньо висадка по-

садкового матеріалу, тобто саджанців енергетичних культур і формування плантації;

- *процес культивування.* На цьому етапі відбувається догляд за плантацією (обробіток насаджень, підживлення, обприскування та ін.) та збір врожаю (біомаси);
- *процес виробництва твердого біопалива.* Під час реалізації цього процесу відбувається постачання отриманої біомаси на промислові майданчики та виробництво на них готового твердого біопалива (тріски, пелет, брикетів);
- *процес виробництва товарної енергії.* Отримана біомаса або вироблене тверде біопаливо надходить до промислових виробників, де відбувається перетворення отриманої сировини на товарну енергію (електричну енергію, теплову енергію або холод);
- *процес постачання кінцевому споживачу.* На цьому етапі відбувається безпосередній відпуск отриманої енергії кінцевим споживачам. Має місце й дещо інша схема, коли кінцевим споживачам відвантажуються безпосередньо тверде біопаливо, яке потім перетворюється на енергію та споживається на місці безпосередньо кінцевими споживачами [21].

Відповідно до схеми, наведеної на рис. 3.2, визначаються завдання та напрямки їх реалізації:

- 1) забезпечити використання біоенергетичного потенціалу територій України через розбудову непродуктивних і низькопродуктивних земель;
- 2) забезпечити розвиток окремого виду сільськогосподарської діяльності з вирощування енергетичних культур за рахунок створення сільськогосподарських кооперативів із вирощування енергетичних культур;
- 3) побудувати промислові комплекси з виробництва якісного твердого біопалива шляхом створення енергетичних кооперативів із виробництва твердого біопалива;
- 4) залучити до використання твердого біопалива в енергетичних циклах пиловугільних ТЕС і ТЕЦ через переобладнання техно-

логічних процесів локальних ТЕЦ та блок-станцій ТЕС під використання твердого біопалива;

- 5) замінити споживання вугілля та природного газу у індивідуальному теплопостачанні побутових споживачів на основі розвитку системи постачань твердого біопалива побутовим споживачам.

Таким чином, біоенергетика на основі твердого біопалива із енергетичних культур представляє гідний вектор сталого розвитку, необхідність для бізнесу та населення, виробничий потенціал розвитку сільських територій, енергетичний потенціал забезпечення самодостатності, екологічний потенціал скорочення (поглинання) викидів парникових газів. Із 32 млн га сільськогосподарських земель близько 4 млн га малородючих, які можна задіяти для вирощування саме енергетичних культур (міскантусу гігантського, світчграссу, енергетичної верби, топінамбура, тополі тощо).

Ґрунтово-кліматичні умови більшості регіонів України є сприятливими для вирощування багаторічних енергетичних рослин, здатних інтенсивно трансформувати енергію сонця в енергомістку біомасу. Ці рослини не вимогливі до родючості ґрунтів, не потребують значного використання добрив і пестицидів, запобігають ерозії ґрунту, сприяють збереженню та покращенню агроєкосистем і забезпечують низьку собівартість біомаси. Це дозволяє культивувати енергетичні рослини на малопродуктивних землях [19].

Наразі останнім часом популяризуються інші альтернативні напрямки розвитку біоенергетики, серед яких особливо активно засобами масової інформації наві'язується думка, що найбільш перспективною і дешевою сировиною для виробництва твердого біопалива в Україні є солома зернових культур. Це призвело до стрімкого зростання частки соломо'яних пелетів на ринку. Водночас встановлено, що із соломою з ґрунту виноситься значна кількість макро- та мікроелементів, що негативно впливає на його родючість. Для повернення в ґрунт поживних речовин, які були винесені 1 т соломи, необхідно внести 42 кг діючої речовини на гектар добрив [22].

Розвиток біоенергетики на основі вирощування енергетичних культур і виробництва з них твердого біопалива має ряд переваг порівняно із існуючими альтернативами [16; 22; 23]:

- вирощування багаторічних енергетичних культур забезпечує значне надходження органічних речовин у ґрунт кореневою системою та післязжнивними рештками, що сприяє підвищенню родючості ґрунту. Так, особливістю рослини міскантусу є те, що його стебла не накопичують зольних елементів і важких металів. За рахунок цього міскантус може протягом 20 років вирощуватися на одному полі, не зменшуючи його родючості. Біомаса зі стебел міскантусу, за рахунок високого вмісту целюлози та низького вмісту важких металів, ідеально підходить для виробництва твердого біопалива [23];
- за рахунок потужної кореневої системи вирощування багаторічних енергетичних культур сприяє зменшенню ерозійних процесів, що дозволяє вирощувати ці культури на схилах;
- енергетичні культури дають високі врожаї біомаси, яку можна було б використовувати на енергетичні цілі для виробництва біопалива;
- енергетичні рослини невибагливі до вирощування;
- виробництво біопалива є значно дешевшим, ніж вартість енергоносіїв, одержаних від традиційних джерел у перерахунку на еквівалент енергії;
- використання рослинної біомаси за умови її безперервного відновлення (оновлення довгострокових біоенергетичних активів) не приводить до збільшення концентрації діоксидів вуглецю в атмосфері. Вибір енергетичної культури залежить від багатьох факторів: типу ґрунтів, місцезнаходження ділянки й доступу до вологи, виду ландшафту тощо.

Проте поряд із безсумнівними вигодами вирощування енергетичних культур існує низка питань, які стримують, а інколи й перешкоджають розвитку цього напрямку господарювання. Серед них можна виділити такі:

- відсутність сприятливих фінансових механізмів у виді субсидій і пільг для виробників і покупців біоенергетичного обладнання;
- відсутність діючої державної і регіональних програм із розвитку біоенергетики та місцевих видів біопалива;
- перспективи сектора біоенергетики недостатньо враховані в Енергетичній стратегії України на період до 2035 р.;
- недостатньо розвинений ринок біомаси, біопалива й інфраструктури для зберігання та їх реалізації;
- несприятливі умови для залучення інвестицій, у тому числі зарубіжних (політична нестабільність, корупція й ін.);
- механізми розрахунку тарифів не стимулюють виробників тепла користуватися місцевими альтернативними видами біопалива;
- підбір і відведення земель, придатних для створення плантацій енергетичних культур;
- добір високопродуктивних видів і сортів енергетичних культур до конкретних умов вирощування;
- розроблення ефективних технологій створення та вирощування плантацій у різних ґрунтових умовах і на різних категоріях земель;
- потребує оцінка впливу такого типу насаджень на навколишнє середовище, зокрема – на ґрунт;
- невизначені особливості проведення рекультивациі земель після закінчення терміну експлуатації насаджень.

На думку К. А. Сокольникової, для здолання можна рекомендувати таке [16]:

- адаптувати українське законодавство до вимог ЄС і забезпечити функціонування нормативно-правових актів на належному рівні – удосконалити законодавчу базу створенням державних і місцевих програм збільшення енергоефективності й переходу на альтернативні джерела енергії;
- створити розсадники (маточники) деяких багаторічних енергетичних культур (наприклад, міскантусу) в усіх областях України.

Створення розсадників дасть змогу розвивати приватні господарства, які вирощуватимуть такі енергетичні культури, що знизить собівартість саджанців, які фермери закуповують за кордоном, і собівартість виробленого біопалива. Це також забезпечить захист від вітру та сонячного світла, сформує природний мікроклімат поблизу місць проживання людей, поліпшить біологічну різноманітність флори та фауни, сприятиме збагаченню ґрунтів і відновленню забруднених та малопродуктивних земель;

- врегулювати систему ринкових інструментів для забезпечення ефективної економічної діяльності у сфері виробництва, продажу й використання енергетичних культур;
- розширити список енергетичних культур у класифікаторі сільгоспкультур;
- стимулювати малий і середній бізнес субсидіюванням їхньої діяльності;
- забезпечити часткове відшкодування державою відсоткових ставок комерційних банків для фермерів, які вирощують енергетичні культури;
- субсидіювати внутрішні ціни на газ для населення і ЖКГ;
- забезпечити державну підтримку наукових досліджень та інноваційної діяльності в галузі вдосконалення нових технологій вирощування, перероблення біосировини та розробки науково обґрунтованої стратегії розвитку сектора біоенергетики, яка б враховувала всі фактори енергетичної безпеки;
- провести дослідження впливу вирощування енергетичних культур, зокрема верби, тополі, міскантусу, кукурудзи та ін., на якість ґрунтів і проаналізувати динаміку їх виснаження – збільшити частку використання відновлюваних джерел енергії та біопалива в Україні з 1 % до 10 % до 2022 р.;
- надати під вирощування енергетичних культур землі сільськогосподарського призначення, не розширюючи культури на території, які мають бути повноцінно заліснені й на залишки природ-

них степових ділянок, тобто не зашкоджуючи відновленню природного середовища та створенню екологічної мережі України;

- забезпечити якісну переробку деревини, що уможливить ефективніше використовувати потенціал на енергоресурси України.

Таким чином, для України, яка є членом СОТ та асоційованим членом в енергетичній сфері ЄС, розвиток вирощування енергетичних культур і виробництва з нього твердого біопалива стає складовою моделі низьковуглецевого розвитку, що буде прийнята та схвалена європейським Енергетичним Співтовариством. Також із позиції національної безпеки (як її енергетичної, так і екологічної, а також соціальної складових) – це один із ключових факторів зміцнення її енергетичної незалежності від імпортованих традиційних енергоресурсів, поліпшення екологічної ситуації, підвищення ефективності виробництва та захисту населення від енергетичних шоків, спричинених стрімким зростанням тарифів.

3.2. Обґрунтування техніко-економічних характеристик промислового комплексу з вирощування енергетичних культур і виробництва твердого біопалива

Дослідження напрямів розвитку біоенергетики набули особливої актуальності в умовах «зеленого» енергетичного переходу. Наукові проблеми впровадження та використання відновлюваних джерел енергії описано в працях П. Кендрі [24; 25], М. Роїка [13; 14], Я. Блюма, І. Григорюка [11] та ін. Перспективи їх впровадження в Україні розглядаються в роботах В. Геєця [7], М. Кизима [5; 6; 26], В. Микитенко [27; 28], Р. Подолця [22], В. Рудики [5; 6; 10] та ін. Вагомий внесок у розробку теоретичних засад розвитку сфери вирощування енергетичних культур та виробництва з них біопалива зробили такі вчені, як: Г. Гелетука [11; 18; 29], Т. Желєзна [18], О. Трибой [18; 31], М. Гументик [13], П. Кучерук [29] та ін.

У більшості наукових досліджень зосереджено увагу на загальнонаціональних і регіональних особливостях впровадження відновлюва-

них джерел енергії та визначенні способів їх використання. Водночас питання оцінки їх економічної доцільності залишається неоднозначним. Важливим елементом галузі відновлюваної енергетики є вирощування енергетичних культур і виробництво твердого біопалива з отриманої біомаси. Тому поряд із вивченням характеристик енергетичних культур існує необхідність обґрунтування техніко-економічних характеристик та економічної доцільності закладання плантацій і виробництва твердого біопалива з отриманої біомаси [21].

Наведений у розділі 2 аналіз дозволив сформулювати інформаційну базу розробки системи основних техніко-економічних характеристик (ОТЕХ) промислового комплексу з вирощування енергетичних культур і виробництва твердого палива з отриманої біомаси.

Обґрунтування основних техніко-економічних характеристик галузі проводилось в такому порядку:

- 1) визначення можливих обсягів виробництва в Україні;
- 2) системний аналіз ресурсно-технологічного ланцюгу закладання плантації та виробництва твердого палива з біомаси енергетичних культур;
- 3) визначення виробничого ланцюгу для виробництва твердого палива (пелет) з біомаси енергетичних культур в Україні;
- 4) розроблення системи основних техніко-економічних та інвестиційних показників промислового комплексу з виробництва закладання плантації та вирощування енергетичних культур і виробництва твердого біопалива з отриманої біомаси.

Обґрунтування техніко-економічних характеристик виробництва твердого палива з біомаси енергетичних культур потребувало розробки методичних положень, зміст яких за етапами наведений на рис. 3.3.

Із рис. 3.3 видно, що, згідно з розробленими методичними положеннями, обґрунтування основних техніко-економічних характеристик енергетичних плантацій та виробництва твердого біопалива з біомаси енергетичних культур буде доцільно проводити у 5 етапів.



Рис. 3.3. Послідовність етапів планування техніко-економічних характеристик виробництва твердого біопалива з біомаси енергетичних культур

Джерело: власна розробка

На *першому етапі* на основі результатів порівняльного аналізу біологічних та фізико-хімічних властивостей різних культурних енергетичних рослин проводиться вибір енергетичної культури.

На *другому етапі* виходячи із площі плантації та фізичних та біологічних характеристик енергетичної культури оцінюються виробничі характеристики промислового комплексу з вирощування енергетичних культур і виробництва біопалива: максимально можливий обсяг виробництва біомаси та обсяг виробництва твердого біопалива з неї.

Третій етап пов'язаний з обґрунтуванням економічно доцільної технологічної схеми вирощування енергетичної культури та переробки отриманої біомаси у тверде біопаливо на основі проведеної порівняльної оцінки ефективності технологій її вирощування та перероблення його біомаси в тверде біопаливо.

Четвертий етап – калькулювання витрат господарської діяльності промислового комплексу з вирощування енергетичної культури та виробництва твердого біопалива з її біомаси, яка виконується на підставі розрахунків ключових статей (матеріальні витрати, заробітна плата, відрахування на соціальне страхування, амортизаційні відрахування, інші витрати) і величин, визначених за допомогою нормативного методу за низкою статей (транспортні, адміністративні й інші витрати).

На *п'ятому етапі* обґрунтовується необхідний обсяг річного чистого доходу й оптових цін на основний продукт промислового комплексу з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо (пелети).

На основі наведених вище обґрунтувань і розрахунків буде розроблено систему техніко-економічних нормативів енергетичних плантацій та виробництва твердого палива з біомаси енергетичних культур.

У пп. 2.1 було виявлено, що з огляду на природно-кліматичні умови на території України доцільно вирощувати класичні енергетичні культури. Такими культурами є верба та міскантус. Основні характеристики цих культур наведено в *табл. 3.1*.

Таблиця 3.1

Основні характеристики енергетичних культур

Назва	Мискантус (<i>Miscanthus giganteus</i>)	Верба енергетична <i>Salix Viminalis</i>
1	2	3
Опис	Багаторічна трав'яниста культура з добре розвиненою кореневою системою. Біомасу можна збирати щорічно, використовуючи кормозбиральні комбайни	Рід дерев, кущів або напівкущів родини вербових (<i>Salicaceae</i>). Збір врожаю виконується звичайним силосозбиральним комбайном із жаткою для верби
Стійкість до холодів	Стійка до морозів	Стійка до морозів
Висота	В перший рік вегетації рослини досягають 200 см, на другий рік – 350 см, а в наступні – 400–450 см. Стебло є дуже міцним, з волосками або без них, з добре видимими вузлами	Густо росла, виростає до 5–6 м заввишки і має велику кількість пагонів. Діаметр стебел рослин верби становить близько 10–12 мм. Середній приріст маси – 1,5 метра в рік
Ґрунт	Ґрунти під висів мискантусу обирати не кислі ($pH=6,5$), особливо впродовж перших двох років вирощування, з рівнем ґрунтових вод нижче 1 м. Для вирощування підходять ґрунти середньої щільності. Ґрунт має бути відпо-відним чином підготовлений – очищений від бур'янів і зораний для усунення ущільнень	Для верби – ґрунти слабо кислі та нейтральної реакції ґрунтового розчину (pH 4,6-6,0). Вимогливість до ґрунтів – ґрунти середньої якості з великою вологістю. Може рости на ґрунтах різного типу, навіть на непродуктивних землях, які потребують рекультивациі, тобто на землях, непридатних для ведення сільського господарства
Тривалість вирощування	Тривалість вирощування рослин на одному полі – до 25 років. На 1 га території висаджують 10–17 тис. живців	Насадження верби залишаються продуктивними до 25–30 років. На 1 га території висаджують 15 тис. живців

Продовження табл. 3.1

1	2	3
Споживання води	Споживання води на продукування 1 кг сухої маси досить невисоке (близько 250–300 кг), відповідно річній кількості опадів на рівні 600–650 мм	Потрібно багато вологи і світла. Кількість опадів 650–700 мм/рік
Сфери застосування	У хімічній галузі як компонент для експлуатаційних матеріалів і споживчих хімічних речовин. Для виробництва ДВП/МДФ-плит, картону, паперу та целюлози, біокомпозитів та біопластиків та як компонент «зеленого» біобетону. Для генерації тепла та електроенергії	Вербу використовують для виробництва паливних брикетів для спалювання в котлах (біопалива)
Хімічний склад	Вологість при збиранні 15–20 %. Вміст летучих речовин 78 %. Зольність 2,3–3,7 %. Температура плавлення золи 1300 °С	Вологість при збиранні 50–53 %. Вміст летучих речовин 79 %. Зольність 1,5–2,0 %. Температура плавлення золи 1500 °С
Урожайність	Врожайність сягає 20–35 т сухої речовини/га з високим вмістом целюлози. У перший рік після посадки міскантус не збирають, вважаючи на низьку врожайності. У другий рік врожайність піднімається до близько 20 тонн сухої речовини на гектар. Збір урожаю – кожний рік. Для переробки сировини на тверде паливо рослини збирають протягом зимового періоду до березня.	З 1 га плантації можна отримувати до 15 т сухої деревної маси щороку. За рік поле може давати до 30 т приросту біомаси. Урожай сирової біомаси 54,6 т/га за 3 роки. Урожай сухої біомаси 39 т/га. Збір урожаю – кожні 2–3 роки. Кількість циклів збору урожаю з однієї посадки – 7–8 разів. Збирають вербу після закінчення вегетації, тобто з жовтня-листопада по березень-квітень

Закінчення табл. 3.1

1	2	3
Нижча теплотворна здатність	17-19 МДж/кг сухої речовини	18,5 МДж/кг абсолютно сухої речовини
Вихід енергії	Енергетичний вихід 380–400 ГДж/га/рік (81 Гкал/га). Одна тонна сухої маси міскантусу еквівалентна 400 кг сирої нафти, 1,7 т деревини, 515 м ³ природного газу, або 620 кг кам'яного вугілля. Вихід біопалива з 1 тонни біомаси: гранул 1000 кг	Енергетичний вихід 240 ГДж/га/рік. Одна тонна верби вологістю 40 % забезпечує 1 Гкал тепла, тоді як така сама кількість сухої сировини за вологості 15 % дає 2 Гкал тепла. 1 т рослин замінює понад 500 м ³ природного газу або 700 кг бурого вугілля

Джерело: складено за матеріалами [16; 18; 23; 30–32]

Із табл. 3.1 видно, що за такими характеристиками, як стійкість до морозів, кількість необхідної води, тривалість вирощування на одній плантації, вимоги до ґрунту, нижча теплотворна здатність енергетичної верби та міскантусу демонструють практично однакові показники. Проте за такими показниками, як урожайність, хімічний склад та вихід енергії, міскантус має дещо кращі показники.

Наведені в табл. 3.1 характеристики найбільш пристосованих енергетичних культур для вирощування на території України дають змогу зробити висновок, що міскантус є більш перспективною енергетичною культурою. Таким чином, надалі апробація запропонованих методичних положень із обґрунтування основних техніко-економічних характеристик зроблена для енергетичної плантації міскантусу та виробництва твердого біопалива (пелет).

Основні техніко-економічні показники господарської діяльності промислового комплексу з вирощування міскантусу на енергетичній плантації і перероблення отриманої біомаси у тверде паливо (пелети) розроблено на основі таких допущень:

- обсяг виробництва біопалива у натуральному вимірі не повинен перевищувати максимальну виробничу потужність комплексу;
- обсяг витрат вихідної сировини розраховується на основі норм виходу з неї готових продуктів, взятих за характеристиками аналогічного виробництва;
- чистий дохід комплексу розраховується на основі прийнятих обсягів виробництва і оптових цін, які визначались на основі витратного методу із закладенням достатнього рівня рентабельності господарської діяльності;
- поточні (операційні) витрати господарської діяльності комплексу розраховуються за нормативами аналогового промислового виробництва біомаси з енергетичних культур і переробки її у тверде біопаливо [21].

Оцінку доцільності створення промислового комплексу з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо пропонується

провести на основі основних техніко-економічних показників його проекту для конкретної території, а саме на північ від с. П'ятницьке, Харківської області.

Це розташування плантації створює сприятливі умови для доступу до виробничих ресурсів, а саме трудових і води.

Організація промислового комплексу з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо передбачає створення двох комплексів: комплекс з закладання плантації та збору біомаси та комплекс перетворення отриманої біомаси на тверде біопаливо – пелети.

Таким чином, основними продуктами цього промислового комплексу є енергетична тріска та пелети відповідно [21].

Згідно з Державним стандартом, що визначає якість тріски – ДСТУ EN 15234-4:2013 Тверде біопаливо. Забезпечення якості. Частина 4. Тріски деревні для непромислового використання (EN 15234-4:2012, IDT) [33] – деревна тріска (wood chips) – це рублена деревна біомаса у формі шматків певного розміру часток, вироблена механічним обробленням гострими інструментами, такими як ножі. Деревні тріски мають прямокутну форму, зазвичай завдовжки від 5 мм до 50 мм, а за товшки менше за інші розміри [33].

Паливна тріска – тріска, яка використовується як паливо, або сировина для виробництва паливних гранул (пелет) та брикетів, для процесів газифікації та ін. Паливна тріска та продукти її перероблення використовуються у генерації теплової та електричної енергії, виробництві замінників природного газу, синтетичного рідкого палива, хімічних продуктів та ін [33].

Враховуючи вимоги Державного стандарту, що визначає якість пелет – ДСТУ 8358:2015. Брикети та гранули паливні з деревинної сировини. Технічні умови [34], стандарти європейських країн: DIN 51731 (ФРН); ONORM M 7135 (Австрія); SN 16600 (Швейцарія); SS 1871200 (Швеція), деревна пелета може бути представлена у виді гранули діаметром 6–10 мм та довжиною від 1 до 5 см. Теплотворна здатність деревної пелети: 4,5–5 кВт/кг, що забезпечується завдяки низькому вмісту вологи (8–10 %). При спалюванні пелет емісія вугле-

кислого газу в атмосферу в десятки разів нижча, ніж в інших викопних видах палива. Деревні гранули вважаються нейтральним паливом, оскільки під час горіння виділяється так ж кількість CO_2 , як і при гнитті деревини. Зольність пелет в 15–20 разів менша, ніж у вугілля [34].

Розраховані основні виробничі характеристики промислового комплексу з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Основні виробничі характеристики промислового комплексу з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо

№	Показник	Одиниця виміру	Величина
Виробництво енергетичної тріски			
1	Площа заготівлі плантації	га	100
2.1	Обсяг виробництва енергетичної тріски	куб. м	17094
2.2	Обсяг виробництва енергетичної тріски	тонна	2000
Виробництво твердого біопалива (пелет)			
3	Річний обсяг виробництва пелет	тонна	1900
4	Витрати/виробництво біомаси міскантусу 12 % вологості на виробництво пелет	тонна/тонна	1,05
5	Вихід пелет з одиниці біомаси міскантусу 12 % вологості	тонна/тонна	0,95

Джерело: власна розробка [21]

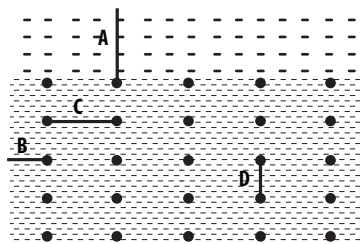
Наведені в табл. 3.2 дані свідчать, що обсяг виробництва основного продукту – пелет складе 1,9 тис. т на рік.

Для виробництва пелет на промисловому комплексі необхідно використовувати 2,0 тис. т сухої біомаси міскантусу (12 % вологості) на рік. Цю біомасу передбачається виробляти на цьому ж промисловому комплексі.

Промисловий комплекс з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо представляє комплексне виробництво, яке складається з біологічного та технологічного переділів. На першому переділі забезпечується закладання плантації, вирощування, збирання та по-

дрібнення біомаси міскантусу. На другому – виробництво твердого біопалива (пелет) з біомаси міскантусу, який представляє цех з підготовки сировини та пресування.

Перший переділ являє собою плантацію міскантусу, площею 100 га та кагату для зберігання біомаси, площею 0,4 га. Схему закладання плантації міскантусу наведено на *рис. 3.4*.



Умовні позначення:

А – ширина ділянки розвороту техніки (8 м);

В – ширина борту межевої ділянки (2 м);

С – відстань між рядами (0,75 м);

D – відстань між кущами в ряду (0,6 м)

Рис. 3.4. Європейська дворядна схема закладання плантації міскантусу

Джерело: складено за матеріалами [29]

Другий переділ являє собою окремі будівлі та споруди, які об'єднанні на одному промисловому майданчику. Характеристику будівель і споруд наведена в *табл. 3.3*.

Експлікація будівель і споруд забезпечує оптимальне розміщення об'єктів комплексного виробництва з урахуванням вимог екологічних, будівельних і виробничих нормативних нормативів.

Компактне розміщення будівель і споруд дозволяє обмежити загальну площу промислового майданчика в межах до 0,4 га.

Розміщення промислово-енергетичного устаткування між спорудами іншого призначення дозволяє максимально знизити рівень промислового шуму.

Таблиця 3.3

Експлікація будівель і споруд

№	Найменування	Кількість	Розміри, (Д х Ш)	Тип будівлі (споруди)
1	Склад тріски (на 2800 куб. м)	1	50 x 20	бетонований майданчик з навісом
2	Склад паливних пелет (на 750 куб. м)	1	25 x 20	бетонований майданчик з навісом
3	Ділянка з виробництва біомаси та паливних пелет	1	24 x 8	ангар з бетонною підлогою
4	Бункер технологічного запасу деревинної тріски (на 8 куб. м)	1	3 x 3	силос на бетонному фундаменті
5	Бункер технологічного запасу біомаси (тирси) (на 24 куб. м)	1	4 x 4	силос на бетонному фундаменті
6	Огорожа (з двома воротами)	1	довжина 145 м	опорно-сіткова конструкція висотою 2,5 метри

Джерело: власна розробка [21]

Виробничу схему вирощування міскантусу та вироблення пелет з отриманої біомаси наведено на *рис. 3.5*

Калькуляція витрат господарської діяльності комплексу з вирощування міскантусу та виробництва твердого біопалива з його біомаси виконана на підставі вищенаведених розрахунків ключових статей (матеріальні витрати, заробітна плата, відрахування на соціальне страхування, амортизаційні відрахування) і величин, визначених за допомогою нормативного методу за низкою статей (транспортні, адміністративні й інші витрати) на підставі даних про структуру собівартості аналогічних виробництв [35].

Розрахунок поточних (операційних) витрат на закладання плантації та виробництво біомаси міскантусу наведено у табл. В.1 Додатка В.

Структуру поточних (операційних) витрат на закладання плантації та виробництво біомаси міскантусу наведено на *рис. 3.6*.

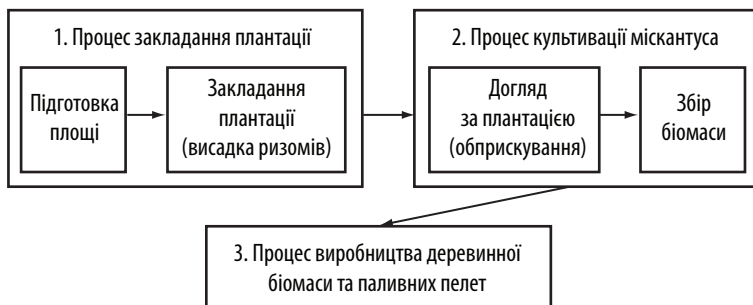
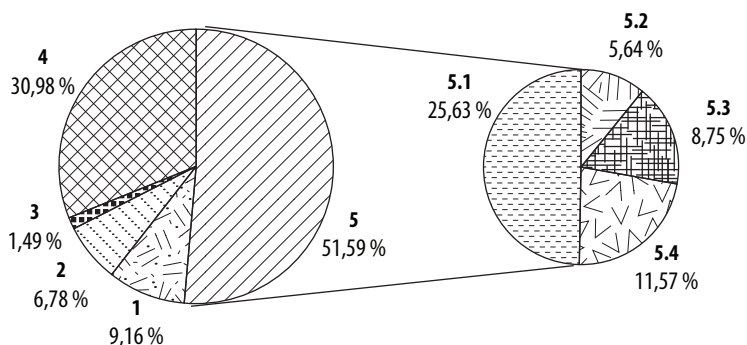


Рис. 3.5. Виробнича схема вирощування міскантусу та вироблення пелет з отриманої біомаси

Джерело: власна розробка [21]



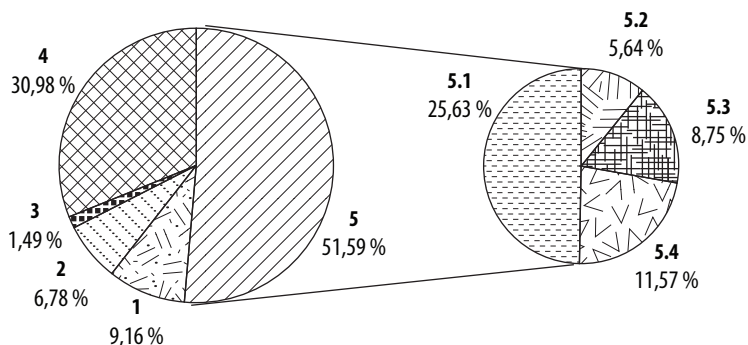
Умовні позначення:

1 – паливо; 2 – заробітна плата; 3 – відрахування на соціальне страхування;
4 – амортизація; 5 – загальногосподарські витрати; 5.1 – заробітна плата;
5.2 – відрахування на соціальне страхування; 5.3 – витрати на реалізацію продукції; 5.4 – інші

Рис. 3.6. Структура поточних (операційних) витрат на закладання плантації та виробництво біомаси міскантусу

Джерело: власні розрахунки [21]

Загальна величина поточних (операційних) витрат на закладання плантації та виробництво річного обсяг біомаси міскантусу склала 1326,76 тис. грн.



Умовні позначення:

1 – паливо; 2 – заробітна плата; 3 – відрахування на соціальне страхування;

4 – амортизація; 5 – загальногосподарські витрати; 5.1 – заробітна плата;

5.2 – відрахування на соціальне страхування; 5.3 – витрати на реалізацію продукції; 5.4 – інші

Рис. 3.6. Структура поточних (операційних) витрат на закладання плантації та виробництво біомаси міскантусу

Джерело: власні розрахунки [21]

Наведені на рис. 3.6 дані свідчать, що найбільшу частку у витратах на культивування міскантусу і виробництво біомаси з нього складають загальногосподарські витрати 684,42 тис. грн (51,6 %). Наступна найбільша величина витрат припадає на амортизацію 411,04 тис. грн (30,98 %).

Розрахунок чисельності персоналу, річного фонду заробітної плати та відрахувань на соціальне страхування персоналу, задіяного на першому переділі комплексу, наведено в табл. В.2 Додатка В.

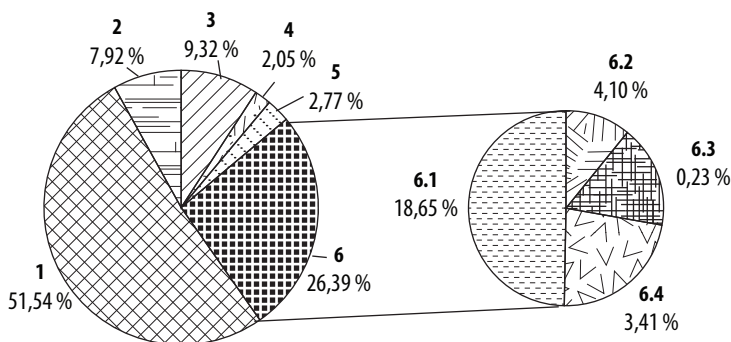
Із даних табл. В.2 Додатка В видно, що чисельність персоналу складає 5 осіб, з річним фондом заробітної плати, еквівалентної 430 тис. грн, що визначить відрахування до фондів обов'язкового державного соціального страхування у сумі, еквівалентній 94,6 тис. грн.

Розрахунок витрат палива на збирання та транспортування енергетичної тріски міскантусу наведено в табл. В.3 Додатка В.

Із табл. В.3 Додатка В видно, що при вартості палива 22,5 грн/л, за необхідної кількості палива в обсягу 5,4 тис. л, витрати на паливо склали 121,5 тис. грн.

Розрахунок поточних (операційних) витрат на виробництво твердого біопалива (пелет) з біомаси міскантусу виконано з урахуванням витрат попереднього виробничого переділу – культивування міскантусу наведено у табл. В.4 Додатка В.

Структуру поточних (операційних) витрат на виробництво твердого біопалива (пелет) з біомаси міскантусу наведено на рис. 3.7.



Умовні позначення:

1 – сировина (тріска міскантусу); 2 – електрична енергія; 3 – заробітна плата;
 4 – відрахування на соціальне страхування; 5 – амортизація;
 6 – загальногосподарські витрати; 6.1 – заробітна плата; 6.2 – відрахування на соціальне страхування; 6.3 – витрати на реалізацію продукції; 6.4 – інші

Рис. 3.7. Структура поточних (операційних) витрат на виробництво твердого біопалива (пелет) з біомаси міскантусу

Джерело: власні розрахунки [21]

Загальна величина поточних (операційних) витрат на виробництво річного обсягу твердого біопалива (пелет) з біомаси міскантусу склали 2574,0 тис. грн.

Наведені на рис. 3.7 дані свідчать, що найбільшу частку у витратах на виробництво твердого біопалива (пелет) з біомаси міскантусу скла-

дає сировина 1326,76 тис. грн (51,54 %). Наступна найбільша величина витрат припадає на загальногосподарські витрати – 679,29 тис. грн (26,39 %).

Розрахунок чисельності, річного фонду заробітної плати та відрахувань на соціальне страхування персоналу, задіяного на другому перетві комплексу, наведено в табл. В.5 Додатка В. Із табл. В.5 Додатка В видно, що чисельність персоналу – 6 осіб, з річним фондом заробітної плати еквівалентної 720 тис. грн, що визначить відрахування до фондів обов'язкового державного соціального страхування у сумі еквівалентній 158,4 тис. грн.

Розрахунок витрат електричної енергії на виробництво твердого біопалива (пелет) з енергетичної тріски міскантусу наведено в табл. В.6 Додатка В.

Із даних табл. В.6 Додатка В видно, що сума витрат на електричну енергію складе 121,5 тис. грн.

Тобто загальна величина витрат на виробництво твердого біопалива з біомаси міскантусу – 2574 тис грн, враховує і витрати на культивування міскантусу та виробництво тріски з нього – 1326,76 тис. грн.

Обґрунтування необхідного річного обсягу чистого доходу і оптимальних цін на основний продукт промислового комплексу з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо (пелети) наведено у табл. 3.4.

Для розрахунку цін на основні продукти комплексу застосовувався витратний метод. В основу розрахунку закладено вищенаведені витрати господарської діяльності комплексу і норму рентабельності на рівні 30 %.

Необхідні ціни на пелети комплексу з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо (пелети) значно нижчі за ціни на їх аналоги з іншої сировини, про що свідчать дані, наведені у табл. 3.5.

Із вищенаведених даних видно що ціни на тверде біопаливо (пелети), виготовленні з тріски міскантусу відстають від цін на аналогічні пелети, виготовленні з іншої сировини. Вартість пелет з міскантусу,

Розділ 3. Обґрунтування економічної доцільності виробництва твердого біопалива ...

порівняно з пелетами з лушпиння соняшника та соломи, нижча на 13,6 %, порівняно з пелетами хвойних порід на 70,34 %, а порівняно з пелетами з твердих порід деревини – на 146 %. Таким чином, порівнявши ціни на пелети-аналоги, можна встановити середню ціну на пелети з міскантусу на рівні 3000 грн/т.

Таблиця 3.4

Необхідний річний обсяг чистого доходу й оптові ціни на основний продукт промислового комплексу з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо (пелети)

№	Показник	Величина
1	Витрати господарської діяльності, тис. грн	2574
2	Норма прибутку (рентабельності) господарської діяльності, %	30
3	Обсяг чистого доходу, від реалізації пелет тис. грн	3346,2
4	Випуск готової продукції (пелет), всього, т	1900
5	Середня ціна біопалива, грн/т	1761,16

Джерело: власні розрахунки [21]

Таблиця 3.5

Фактичні ціни на пелети, виготовлені з іншої сировини

Вид палива	Середня ціна, грн/тонна
Пелети з лушпиння соняшника [36]	2000
Пелети з соломи [37]	2000
Пелети з хвойних порід дерева [38]	3000
Пелети з твердих порід дерева [39]	4500

Джерело: складено за матеріалами [36–39]

Розрахунок річного обсягу чистого доходу на основний продукт промислового комплексу з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо (пелети) наведено у табл. 3.6.

Наведені вище обґрунтування і розрахунки дозволили розробити систему основних техніко-економічних показників промислового

ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА ...

комплексу з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо (пелети), табл. 3.7.

Таблиця 3.6

Річний обсяг чистого доходу на основний продукт промислового комплексу з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо (пелети)

№	Показник	Величина
1	Витрати господарської діяльності, тис. грн	2574
2	Норма прибутку (рентабельності) господарської діяльності, %	121,45
3	Обсяг чистого доходу, від реалізації пелет тис. грн	5700
4	Випуск готової продукції (пелет), всього, т	1900
5	Середня ціна біопалива, грн/т	3000,0

Джерело: власні розрахунки [21]

Таблиця 3.7

Основні техніко-економічні показники промислового комплексу з вирощування і перероблення міскантусу у тверде біопаливо (пелети)

Показник	Значення
Площа плантації, га	100
Річний обсяг виробництва твердого біопалива (пелет), всього, т	1900
Виробництво біомаси міскантусу 12 % вологості, т	2000
Чистий дохід від реалізації продукції, тис. грн	5700
Поточні (операційні) витрати господарської діяльності, тис. грн	2574
Амортизація	482,43
Прибуток до оподаткування, тис. грн	3126
Рентабельність господарської діяльності, %	121,45
Податок на прибуток, тис. грн	562,68
Чистий прибуток, тис. грн	2563,32
Частка чистого грошового потоку у чистому доході, %	53,43

Джерело: власні розрахунки [21]

Наведені в табл. 3.7 дані свідчать про значну величину річного чистого доходу промислового комплексу з вирощування і перероблен-

ня міскантусу у тверде біопаливо (пелети) – 5700 тис. грн, у якому 3045,75 тис. грн, або 53,43 % складає чистий грошовий потік. Цей факт дозволяє зробити припущення про інвестиційну привабливість промислового комплексу, наявність перспективи швидкої окупності інвестицій в цей проєкт.

Таким чином, у результаті апробації запропонованих методичних положень щодо планування техніко-економічних показників промислового комплексу з виробництва твердого біопалива з енергокультур було доведено, що промисловий комплекс із виробництва паливних пелети із міскантусу буде економічно ефективним, а його продукція конкурентоспроможною порівняно із продуктами-аналогами на ринку твердого біопалива в Україні, собівартість виробництва якої складе 1355 грн/т, та, враховуючи її високу теплотворну здатність, можна встановити їх ринкову ціну на рівні 3000 грн/т.

Результати розрахунку техніко-економічних показників такого промислового комплексу засвідчили його високу продуктивність, яка склала 19 т/га, та високу рентабельність – 121,5 %. Водночас такі високі показники забезпечуються високою фондомісткістю виробництва, частка амортизаційних відрахувань у витратах комплексу складе 18,5 %.

3.3. Оцінка інвестиційної привабливості проєкту із виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні

Обґрунтування економічної доцільності створення промислового комплексу виробництва твердого біопалива із енергетичних культур необхідно запровадити методичний підхід до оцінки його інвестиційної привабливості, який враховуватиме специфіку вирощування енергетичних культур як напряму сільського господарства, так і виробництва біопалива як складової паливно-енергетичного комплексу. Враховуючи особливості господарювання кожного із видів економічної діяльності, пропонується такий методичний підхід, який складається із 5 етапів (рис. 3.8):

ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА ...

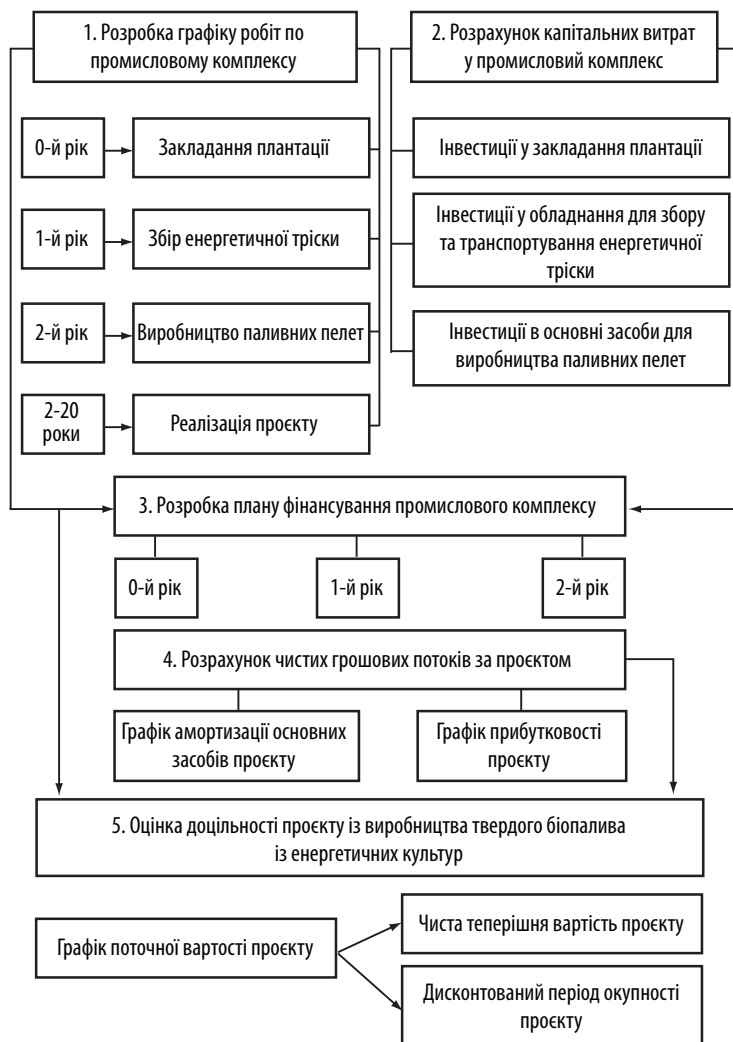


Рис. 3.8. Методичний підхід до оцінки інвестиційної привабливості проєкту промислового комплексу із виробництва твердого біопалива із енергетичних культур

Джерело: власна розробка

- на *першому етапі* будується графік робіт промислового комплексу із виробництва твердого біопалива з енергетичних культур, від закладання плантації міскантусу та збирання біомаси (тріски) до перетворення її на тверде біопаливо (пелети);
- *другий етап* пов'язаний з розрахунком капітальних витрат у промисловий комплекс вирощування міскантусу та переробки отриманої біомаси у тверде біопаливо на основі розрахунку капітальних витрат на закладання плантації, розрахунку вартості послуг сторонніх організацій та витрат на паливо при закладанні плантації, розрахунку витрат на придбання техніки та обладнання для закладання плантації, збирання та транспортування тріски та розрахунку витрат на придбання техніки та обладнання і будівель та споруд для виробництва паливних пелет;
- у *рамках третього етапу* на основі розробленого графіку робіт (поетапного плану реалізації) та розрахованого обсягу капіталовкладень розробляється план фінансування капітальних вкладень у промисловий комплекс з закладання плантації міскантусу, збирання біомаси (тріски) та перетворення її на тверде біопаливо (пелети);
- *четвертий етап* передбачає розрахунок грошових потоків за проектом, що включає:
 - а) розрахунок величини амортизації на техніку, споруди та будівлі для закладання плантації міскантусу, збирання біомаси та виробництва твердого біопалива (пелет), яка буде виконана на підставі розрахунків капітальних витрат та норм амортизації на конкретні види технологічного обладнання, визначені на основі лінійного методу амортизації виходячи з терміну його служби;
 - б) розрахунок чистих прибутків від реалізації твердого біопалива, який розраховується як різниця між чистими доходами та операційними витратами за двома періодами;
- на *п'ятому етапі* відбувається безпосередньо оцінка інвестиційної привабливості реалізації проекту із виробництва твердого біопалива з енергетичних культур.

У світовій практиці існує безліч методик фінансово-економічної оцінки доцільності інвестицій. У більшості з них використовуються однотипні з економічної точки зору показники ефективності, пов'язані з обчисленням реальних потоків грошових коштів та дисконтуванням. Найбільшого поширення набули типові методики, розроблені ЮНІДО [40].

Інвестиції, матеріальну основу яких складають гроші, мають тимчасову цінність. Вона характеризується тим, що грошові кошти в цей момент і через певний інтервал часу при рівній номінальній вартості мають абсолютно різну купівельну спроможність. У зв'язку з цим виникає необхідність фінансово-економічної оцінки інвестицій за допомогою методів, заснованих на дисконтуванні.

Термін «дисконтування» застосовується до оцінки теперішньої (поточної) вартості майбутніх потоків грошових коштів [41]. Дисконтування дає можливість встановити нинішній фінансовий еквівалент майбутньої суми, тобто зменшити її на прибуток, що нарастає за певний термін, за правилом складних відсотків [42].

Найбільш коректними і обґрунтованими методами, заснованими на дисконтуванні, є: чиста теперішня вартість (Net Present Value – NPV) та дисконтований термін окупності (DPP).

Розрахунок чистої теперішньої вартості (Net Present Value – NPV) заснований на порівнянні того, що дадуть інвестиції в майбутньому, з тим, що вкладено зараз. Чиста теперішня вартість являє собою різницю між теперішньою, дисконтованою на основі розрахункової ставки відсотка, вартістю надходжень від інвестицій і величиною початкових інвестиційних витрат (3.1) [40]:

$$NPV = \sum_{t=0}^n CF_t \times \frac{1}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n Inv_t \times \frac{1}{(1+r)^t}, \quad (3.1)$$

де CF_t – чистий грошовий потік за період t , гр. од.;

r – норма дисконтування, яка враховує зміну вартості грошей в часі, частка від одиниці;

n – термін реалізації проекту, роки;

Inv_t – інвестиції за період t , грн.

Ставка дисконтування, яка використовується в розрахунку NPV, в умовах високої нестабільності української економіки не може бути розрахована за стандартними методиками, які використовуються в зарубіжній практиці. В якості такої можна використовувати облікову ставку відсотка або ставку, прийняту для довгострокових кредитів банку [43].

До переваг цього методу розрахунку ефективності інвестицій можна віднести те, що враховується вартість грошей у часі, а також цей метод орієнтований на збільшення доходів інвесторів. Недоліками цього методу є те, що чиста теперішня вартість є абсолютним показником, тому важко об'єктивно зробити вибір між кількома проектами з однаковою чистою теперішньою вартістю і різними інвестиційними витратами або проектом з більшим терміном окупності та NPV і проектом з меншим терміном окупності та NPV. Також вибір ставки дисконтування є суб'єктивним [42].

Дисконтований термін окупності (DPP) являє собою період часу, протягом якого сума чистих грошових потоків, дисконтованих на момент завершення інвестицій, дорівнює їх сумі (2) [40]:

$$\sum_{t=0}^{DPP} CF_t \times \frac{1}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n Inv_t \times \frac{1}{(1+r)^t}, \quad (3.2)$$

де DPP — дисконтований термін окупності проекту, роки.

Таким чином, дисконтований термін окупності – це тривалість найменшого періоду, по закінченні якого NPV стає і надалі залишається позитивною величиною. Дисконтований термін окупності, як і розрахунковий (простий), має той недолік, що не враховує потоки при настанні терміну окупності, тобто за весь період дії інвестицій, і, отже, на нього не впливає вся та віддача, яка лежить за межами дисконтованого терміну окупності. Цей показник дає інвесторам інформацію про те, протягом якого часу вони будуть ризикувати своїми вкладеннями.

Невизначеність, а отже, і ризик будуть тим більше, чим тривалішим є цей час. Тому короткий термін окупності означає більш низький ризик і швидко віддачу інвестицій і навпаки. У зв'язку з цим дисконтований термін окупності не є критерієм прийняття рішень щодо інвестицій, а використовується лише у вигляді обмеження. Таким чином, якщо дисконтований термін окупності є більшим, ніж встановлений період окупності, то цей об'єкт як об'єкт інвестування в подальшому не розглядається [44]. Цей метод, як і попередній, враховує вартість грошей у часі, а також можливість реінвестування доходів, які отримуються [42].

Інвестиції у промисловий комплекс з вирощування міскантусу та перероблення енергетичної тріски міскантусу у тверде біопаливо (пелети) призначені для формування власного капіталу цього комплексу як суб'єкта господарювання.

Капітальні вкладення у промисловий комплекс поділяються на дві нерівномірні частини. Перша, більша частина – капітальні вкладення у закладання плантації міскантусу та збирання біомаси. Друга, менша частина – капітальні вкладення у завод з переробки біомаси міскантусу у тверде біопаливо (пелети).

Для визначення величини капітальних вкладень використано аналого-нормативний підхід для їх розрахунку.

Розрахунок капітальних вкладень у створення промислового комплексу з закладання плантації міскантусу площею 100 га та обсягом заготівлі 2000 тис. т сухої біомаси міскантусу на рік та виробництва 1900 т твердого біопалива (пелет) наведено у *табл. 3.8*, а їх структуру – на *рис. 3.9*.

Наведені у *табл. 3.8* дані свідчать що загальний інвестиційний потік створення промислового комплексу з закладання плантації міскантусу, збирання біомаси (тріски) та перетворення її на тверде біопаливо (пелети) складе 9157,72 тис. грн. З цього потоку більша частина – 8220,87 тис. грн (89,77 %) припадає на закладання плантації та збирання біомаси (тріски), а 10,23 % – на будівництво заводу з переробки біомаси міскантусу у паливні пелети.

Таблиця 3.8

**Капітальні вкладення у закладання плантації міскантусу,
збирання біомаси та виробництва твердого біопалива (пелет)**

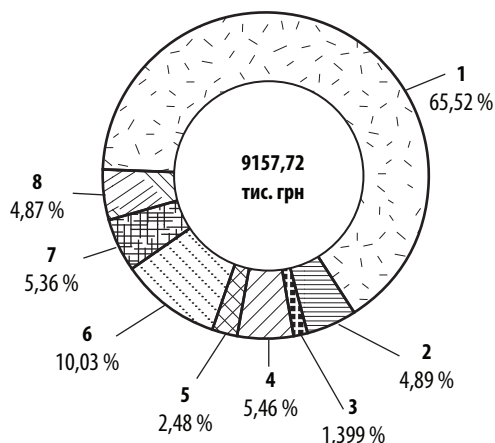
№ поз.	Об'єкт вкладень	Норма капітальних вкладень на 1 т виробництва продукції, грн	Капітальні вкладення (без ПДВ), тис. грн	Капітальні вкладення**, тис. дол. США
Закладання плантації				
1	Саджанці*	3000	6000,00	244,90
2	Добрива*	224	448,00	18,29
3	Засоби захисту рослин*	63,56	127,12	5,19
4	Послуги сторонніх організацій	250	500,00	20,41
5	Паливно-мастильні матеріали (закладання плантації)	113,63	227,25	9,28
6	Всього при закладанні плантації	3651,2	7302,37	298,06
Збір і транспортування енергетичної тріски				
7	Техніка та обладнання	459,25	918,50	37,49
Виробництво паливних пелет				
8	Техніка та обладнання	258,34	490,85	20,03
9	Будівлі і споруди	234,74	446,00	18,20
10	Всього виробництво паливних пелет	493,08	936,85	38,23
	Всього:	4819,85	9157,72	373,78

* з урахуванням їх закупівлі та використання на початку закладання плантації;

** за офіційним курсом НБУ на 13.02.2020

Джерело: власні розрахунки

Із рис. 3.9 бачимо, що основною статтею капітальних вкладень у промисловий комплекс є закупівля саджанців (ризомів міскантусу) для закладання плантації – 65,52 %, наступною за обсягами капітальних вкладень йде техніка та обладнання для збору та транспортування



Умовні позначення:

1 – саджанці; 2 – добрива; 3 – засоби захисту рослин; 4 – послуги сторонніх організацій; 5 – паливно-мастильні матеріали (закладання плантації); 6 – техніка та обладнання для збору та транспортування тріски; 7 – техніка та обладнання для виробництва паливних пелет; 8 – будівлі та споруди для виробництва паливних пелет

Рис. 3.9. Структура капітальних вкладень за статтями

Джерело: власні розрахунки

тріски – 10,03 %, та третю позицію займають послуги сторонніх організацій при закладанні плантації – 5,46 %.

Значний обсяг робіт і висока сума необхідних інвестицій на будівництво промислового комплексу з закладання плантації міскантусу, збирання біомаси (тріски) та перетворення її на тверде біопаливо (пелети) визначає необхідність поетапного їх освоєння (тобто поетапної реалізації проекту).

Вихідною позицією розробки графіку фінансування капітальних вкладень у промисловий комплекс з закладання плантації міскантусу, збирання біомаси (тріски) та перетворення її на тверде біопаливо (пелети) є поетапний план його реалізації, який наведено в табл. Г.1 Додатка Г.

Відповідно до наведених у табл. Г.1 Додатка Г етапів реалізації проєкту фінансування будівництва промислового комплексу з закладання плантації міскантусу, збирання біомаси (тріски) та перетворення її на тверде біопаливо (пелети) пропонується реалізувати у три етапи:

1 етап – 0 рік, підготовка ґрунту, закупівля добрив і засобів захисту рослин;

2 етап – 1 рік, підготовка ґрунту, закупівля засобів захисту рослин для закладання плантації; закупівля ризомів міскантусу та закладання плантації;

3 етап – 2 рік, догляд за плантацією, закупівля необхідної техніки для збирання та транспортування врожаю з плантації до складу та виробництво паливних пелет.

План фінансування у закладання плантації міскантусу, збирання біомаси та виробництва твердого біопалива (пелет) наведено в табл. Г.2 Додатка Г.

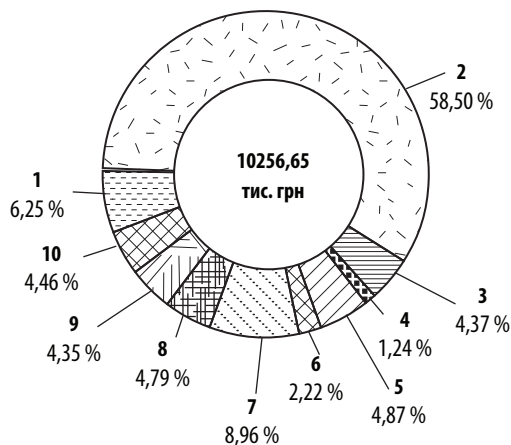
Наведений у табл. Г.2 Додатка Г графік передбачає наступний порядок фінансування закладання плантації міскантусу, збирання біомаси та виробництва твердого біопалива (пелет):

- на 1 етапі (0 рік реалізації проєкту) – 1396,02 тис. грн, або 13,61 % від загальної величини інвестиційного потоку;
- на 2 етапі (1 рік реалізації проєкту) – 6547,39 тис. грн, або 63,84 %; від загальної величини інвестиційного потоку;
- на 3 етапі (2 рік реалізації проєкту) – 2313,24 тис. грн, або 22,55 %; від загальної величини інвестиційного потоку.

Загальна величина інвестиційного потоку на реалізацію комплексу з закладання плантації міскантусу, збирання біомаси та виробництва твердого біопалива (пелет) складе 10256,65 тис. грн.

Структуру інвестиційного потоку на реалізацію комплексу за статтями наведено на *рис. 3.10*.

Наведені дані на *рис. 3.10* свідчать що загальний інвестиційний потік створення промислового комплексу з закладання плантації міскантусу, збирання біомаси (тріски) та перетворення її на тверде біо-



Умовні позначення:

1 – проектні роботи; 2 – саджанці; 3 – добрива; 4 – засоби захисту рослин;
5 – послуги сторонніх організацій; 6 – паливно-мастильні матеріали (закладання плантацій); 7 – техніка та обладнання для збору та транспортування тріски;
8 – техніка та обладнання для виробництва паливних пелет; 9 – будівлі та споруди для виробництва паливних пелет; 10 – оборотні кошти

Рис. 3.10. Структура інвестиційного потоку на реалізацію комплексу за статтями

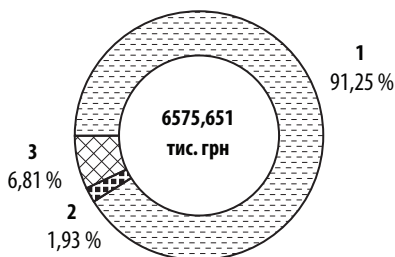
Джерело: власні розрахунки

паливо (пелети) складе 10256,65 тис. грн. З цього потоку більша частина – 8220,87 тис. грн (80,15 %), припадає на закладання плантації та збирання біомаси (тріски), 9,13 % – на будівництво заводу з переробки біомаси міскантусу у тверде біопаливо (пелети), 6,25 % складають проектні роботи та 4,46 % припадає на формування оборотних коштів. Основною статтею інвестиційного потоку у промисловий комплекс є закупівля саджанців (ризомів міскантусу) для закладання плантації – 58,5 %, наступною за обсягами капітальних вкладень йде техніка та обладнання для збору та транспортування тріски – 8,96 %, третю позицію займають проектні роботи – 6,25 %, послуги сторонніх організацій при закладанні плантації займають четверту позицію – 4,87 % та

п'яту позицію в загальному інвестиційному потоку займає техніка та обладнання для виробництва паливних пелет – 4,79 %.

У табл. Г.3 Додатка Г наведено розрахунок капітальних витрат на матеріали для закладання плантації. Із даних табл. Г.3 Додатка Г видно, що капітальні витрати на матеріали для закладання плантації склали 6,58 млн грн.

Структуру капітальних витрат на матеріали для закладання плантації за статтями наведено на *рис. 3.11*.



Умовні позначення:

1 – саджанці; 2 – засоби захисту рослин; 3 – добрива

Рис. 3.11. Структура капітальних витрат на матеріали для закладання плантації за статтями

Джерело: власні розрахунки

Наведені дані на *рис. 3.11* свідчать що основною статтею видатків на матеріали при закладанні плантації міскантусу є закупівля ризомів міскантусу – 60000 тис. грн (91,25 %), наступною статтею є витрати на добрива – 6,81 %, третю позицію займають витрати на засоби для захисту рослин – 1,93 %.

Вартість послуг сторонніх організацій та витрат на паливо при закладанні плантації наведено в табл. Г.4 Додатка Г.

Із даних табл. Г.4 Додатка Г видно, що вартість послуг сторонніх організацій при закладанні плантації міскантусу складає 500 тис. грн, а витрати на пальне – 227,25 тис. грн.

У підготовчий рік вартість послуг сторонніх організацій при закладанні плантації міскантусу складе 160,0 тис. грн, а витрати на пальне складуть 85,5 тис. грн. Тоді як в перший рік реалізації проекту вартість послуг сторонніх організацій при закладанні плантації міскантусу складе 340,0 тис. грн, а витрати на пальне складуть 141,75 тис. грн.

Найбільш дорогою послугою сторонніх організацій є підготовка, транспортування та садіння ризомів, вартість якої склала 200 тис. грн (40,0 %), другою за вартістю є оранка на глибину до 30 см – 60 тис. грн (12,0 %).

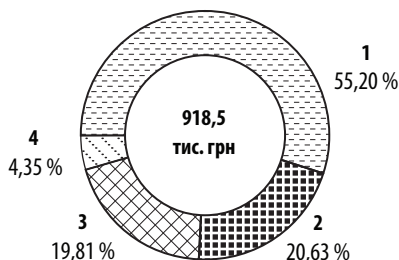
Перелік необхідної техніки та розрахунок витрат на придбання техніки та обладнання для закладання плантації, збирання та транспортування тріски наведено в табл. Г.5 Додатка Г.

Із табл. Г.5 Додатка Г видно, що загалом для закладання плантації та збирання тріски передбачається закупівля 4 одиниць техніки, а саме: трактор МТЗ-892 [45, 46] – 1 одинця; комбайн роторний причіпний «РОСЬ-2» [47] – 1 одинця; причеп 2ПТС-6 [48] – 1 одинця та навісний фронтальний стаціонарний навантажувач Dellif Light 1200 [49] – 1 одинця. Загальна величина капітальних витрат на технологічне обладнання для закладання плантації міскантусу та збирання тріски складе 918,5 тис. грн.

Структуру капітальних витрат на придбання техніки та обладнання для закладання плантації, збирання та транспортування тріски за статтями наведено на рис. 3.12.

Із даних рис. 3.12 видно, що основними складовими капітальних витрат на придбання техніки та обладнання для закладання плантації, збирання та транспортування тріски є трактор МТЗ-892 – 507 тис. грн (55,2 %), комбайн роторний причіпний «РОСЬ-2» – 189,5 тис. грн (20,63 %), причеп 2ПТС-6 – 182,0 тис. грн (19,8 %) та навісний фронтальний стаціонарний навантажувач Dellif Light 1200 – 40,0 тис. грн (4,4 %).

Перелік необхідної техніки, споруд, будівель і розрахунок витрат на їх придбання для виробництва твердого біопалива (пелет) наведено в табл. Г.6 Додатка Г.



Умовні позначення:

- 1 – Трактор МТЗ-892; 2 – Комбайн роторний причіпний «РОСЬ-2»; 3 – Причеп 2ПТС-6;
4 – Навісний фронтальний стаціонарний навантажувач Dellif Light 1200

Рис. 3.12. Структура капітальних витрат на придбання техніки та обладнання для закладання плантації, збирання та транспортування тріски за статтями

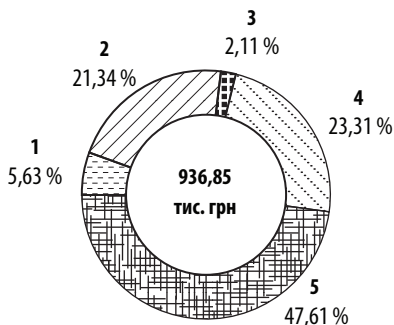
Джерело: власні розрахунки за матеріалами [45–49]

Із табл. Г.6 Додатка Г видно, що загалом для виробництва твердого біопалива (пелет) з біомаси (тріски) міскантусу передбачається закупівля 4 одиниць техніки, а саме: молоткова дробарка CHOPPER-600 [51] – 1 одиниця; аеродинамічна сушарка СА-600 [52] – 1 одиниця; пневматичний транспортер ПТ-360, ручний візок з ємністю для тирси на 1 куб. м [53] – 1 одиниця; лінія гранулювання МЛГ-1500 МАХ [54] – 1 одиниця та зведення будівель та споруд. Загальна величина капітальних витрат на технологічне обладнання цеху з виробництва пелет та будівлі і споруди складе 936,85 тис. грн.

Структуру капітальних витрат на придбання техніки та обладнання і будівель та споруд для виробництва паливних пелет за статтями наведено на рис. 3.13.

Істотна величина капітальних витрат проекту визначає і істотну величину їх амортизації. У табл. Г.7 Додатка Г представлений розрахунок величини амортизації. Норми амортизації на конкретні види технологічного обладнання визначалися на основі лінійного методу амортизації виходячи з терміну його служби.

Із даних табл. Г.7 Додатка Г видно, що загальна амортизація на техніку, споруди та будівлі для закладання плантації міскантусу, збирання



Умовні позначення:

- 1 – молоткова дробарка CHOPPER-600; 2 – аеродинамічна сушарка СА-600;
 3 – пневматичний транспортер ПТ-360; 4 – лінія гранулювання МЛГ-1500 МАХ;
 5 – будівлі та споруди

Рис. 3.13. Структура капітальних витрат на придбання техніки та обладнання і будівель та споруд для виробництва паливних пелет за статтями

Джерело: власні розрахунки за матеріалами [50]

біомаси та виробництва твердого біопалива (пелет) складе суму, еквівалентну 117,32 тис. грн.

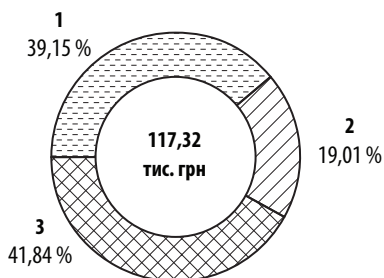
Структуру амортизаційних відрахувань за статтями наведено на рис. 3.14.

Наведені дані на рис. 3.14 свідчать, що величина амортизаційних відрахувань на техніку для закладання плантації, збирання та транспортування біомаси (тріски) склала 45,93 тис. грн/рік (39,15 %).

Величина амортизаційних відрахувань на техніку для виробництва твердого біопалива (пелет) складе 49,09 тис. грн/рік (41,84 %).

Величина амортизаційних відрахувань на будівлі та споруди для виробництва твердого біопалива (пелет) складе 22,3 тис. грн/рік (19,01 %).

Оцінка ефективності інвестиційних проєктів є одним із найвідповідальніших етапів [51]. Від того, наскільки об'єктивно та всебічно проведена ця оцінка, залежать строки повернення вкладеного капіталу, варіанти його альтернативного використання, додатковий потік



Умовні позначення:

1 – техніка для закладання плантації, збирання та транспортування біомаси (тріски);

2 – техніка для виробництва твердого біопалива (пелет); 3 – будівлі та споруди для виробництва твердого біопалива (пелет)

Рис. 3.14. Структура амортизаційних відрахувань за статтями

Джерело: власні розрахунки

прибутку підприємства у наступному періоді. Ця об'єктивність і всебічність оцінки ефективності інвестиційних проєктів значною мірою визначається використанням сучасних методів її проведення.

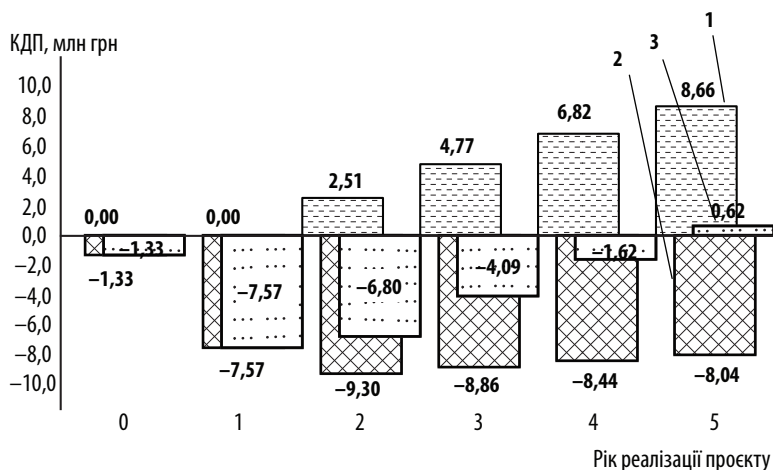
Вихідні дані та розрахунок чистої теперішньої вартості (Net Present Value – NPV) наведено в табл. Г.8 Додатка Г.

Інструментальною основою оцінки економічної доцільності реалізації інвестиційного проєкту є графік його поточної вартості (NPV).

Графік поточної вартості інвестиційного проєкту із вирощування міскантусу та виробництва з його біомаси паливних пелет наведено на рис. 3.15.

Наведений на рис. 3.15 графік поточної вартості (NPV) проєкту створення промислового комплексу з закладання плантації міскантусу, збирання біомаси та виробництва твердого біопалива (пелет) свідчить, що:

- термін реалізації інвестиційного проєкту складе 5 років;
- первісна вартість інвестицій складає 10,3 млн грн;
- дисконтований термін окупності (DPP) – 4,8 роки;



Умовні позначення:

КДП – кумулятивний дисконтований потік; 1 – грошовий потік; 2 – інвестиційний потік; 3 – чиста теперішня вартість

Рис. 3.15. Графік поточної вартості інвестиційного проекту із вирощування міскантусу та виробництва з його біомаси паливних пелет

Джерело: власні розрахунки [21]

- чиста вартість інвестиційного проекту (NPV) на момент його завершення – 622 тис. грн.

Узагальнення результатів планування техніко-економічних показників та оцінки інвестиційної привабливості промислового комплексу виробництва пелет із міскантусу дає змогу підтвердити гіпотезу про його соціально-економічну ефективність та екологічну прийнятність виробництва.

Висновки до розділу 3

1. Розроблено концептуальні положення із виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні, основу яких складають мета, принципи, очікувані результати, завдання, напрямки

та цільові орієнтири. В основу формування цих положень закладено трилему розвитку енергетики, тому їх реалізація забезпечує мультидисциплінарний підхід до побудови біоенергетичного циклу в країні.

Ці положення розглядаються як напрям розвитку розподіленої енергетики на основі використання місцевого біоенергетичного потенціалу та передбачають кооперацію трьох видів економічної діяльності: сільського господарства (вирощування енергетичних культур), деревообробної (виробництво твердого біопалива) та енергетичної (перетворення твердого біопалива на кінцеву енергію) промисловості, сприяючи сталому розвитку сільських територій.

2. Запропоновано методичні положення із планування техніко-економічних характеристик промислового комплексу із виробництва твердого біопалива з енергетичних культур, які передбачають вибір енергетичної культури; планування виробничих характеристик промислового комплексу; обґрунтування технологічної схеми вирощування та переробки; калькулювання поточних витрат господарської діяльності; планування обсягу річного чистого доходу і оптових цін продукції.

Апробацію цих положень було проведено для земельної ділянки у 100 га, яка розташована біля с. П'ятнецьке Харківської обл. За критеріями відбору визначено, що найбільш придатною для вирощування культурою є міскантус та виробництво з нього паливних пелет. За результатами розрахунку визначено, що річні чисті доходи промислового комплексу складають 5,7 млн грн, витрати на виробництво твердого біопалива з біомаси міскантусу склали 2,6 млн грн, у т.ч. витрати на культивування міскантусу та виробництво його біомаси тріски – 1,3 млн грн. Такий комплекс є високопродуктивним (19 т/га) та високорентабельним (121,5 %), і конкурентоспроможним за ціною (3000 грн/т).

3. Розроблено методичний підхід до оцінки інвестиційної привабливості проекту виробництва твердого біопалива з енергетичних культур, який передбачає визначення графіку робіт промис-

лового комплексу, інвестицій за переділами, плану фінансування, графіку чистих потоків, а також графіку поточної вартості.

Апробація методичного підходу дозволила встановити, що первісна вартість інвестицій у промисловий комплекс із вирощування 2 тис. т міскантусу та виробництва з нього 1,9 тис. т паливних пелет складає 10,3 млн грн, дисконтований термін окупності проєкту дорівнює 4,8 роки, та на момент його завершення чиста вартість інвестиційного проєкту становитиме 622 тис. грн.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях автора [8; 21; 26].

Список джерел до розділу 3

1. Концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року / Міністерство енергетики України. URL: <https://uaea.com.ua/news/our-news/concept-2050.html>

2. Paris Agreement. United Nations. 2015. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

3. The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions. Brussels, 11.12.2019 COM(2019) 640. URL: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf

4. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>

5. Кизим М. О., Рудика В. І. Теоретико-методичні аспекти оцінки енергетичної безпеки національної економіки. *Економіка та підприємництво*. 2018. № 40. С. 108–118.

6. Kyzym M. Rudyka V. Analysis of the theoretical and methodological support of the study of energy security of the country. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2018. № 4/5 (42). С. 18–23.

7. Геєць В. М., Кириленко О. В., Басок Б. І., Базєєв Є. Т. Енергетична стратегія: прогнози і реалії (огляд). *Наука та інновації*. 2020. Т. 16. № 1. С. 3–15.

DOI: <https://doi.org/10.15407/scin15.05.003>

8. Kostenko D. Concept of production and use of bioenergy crops in Ukraine. *Sciences of Europe*. 2021. No. 64. Vol. 3. P. 43–49.

9. Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.11.2015 № 1228-р. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15/paran2#n2>

10. Рудика В. І. Стратегія розвитку паливного комплексу України : монографія. Харків : ФОП Лібуркіна А. М., 2017. 288 с.

11. Блюм Я. Б., Гелетука Г. Г., Григорюк І. П. Новітні технології біоенергоконверсії : монографія. Київ : Аграр Медіа Груп, 2010. 326 с.

12. Енергетичні культури в Україні – цінне джерело біомаси та значний потенціал для заміщення газу // Єдиний веб-портал органів виконавчої влади України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/249240886>

13. Роїк М. В., Курило В. А., Гументик М. Я., Ганженко О. М., Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку. *Біоенергетика*. 2013. № 1. С. 5–10.

14. Роїк М. В., Ганженко О. М. Агропромислові енергетичні плантації – шлях до енергонезалежності України // Агро Профі. URL: <http://www.agroprofi.com.ua/statti/1297-agropromislovi-energetichni-plantatsiji-shlyakhdo-energonezalezhnosti-ukrajini>

15. Погорелова І. Енергетичні рослини можуть замінити газ та очистити ґрунти // Рідне Село. URL: <http://ridneselo.com/node/6856>

16. Сокольников К. А у нас замість вугілля, газу і дров – енергетичні культури // AgroPortal. 19.10.2016. URL: <https://agroportal.ua/ua/publishing/analitika/a-u-nas-vmesto-uglya-gaza-i-drov-energeticheskie-kultury/>

17. Чайка Т. О., Яснолоб І. О. Еколого-соціо-економічні переваги вирощування енергетичних культур. *Економіка АПК*. 2017. № 12. С. 28–34. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/E_apk_2017_12_6

18. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Аналітична записка № 10. Біоенергетична асоціація України. URL: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paperuabio-10-ua.pdf>

19. Рослини – джерело енергії. KWS SAAT AG. URL: <http://surl.li/lrgrp>

20. Бабина О. М. Перспективи вирощування енергетичних культур як чинник впливу на розвиток економіки, біоенергетики та аграрного сектору України. *Причорноморські економічні студії*. 2018. Вип. 31. С. 13–17. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bses_2018_31_4

21. Костенко Д. М. Обґрунтування основних техніко-економічних характеристик енергетичних плантацій та виробництва твердого палива з біомаси енергетичних культур. *Бізнес Інформ*. 2020. № 11. С. 123–132.

22. Трипольська Г. С., Подолець Р. З. Ринок біопального в Україні. *Економіка і прогнозування*. 2017. № 2. С. 75–92. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/econprog_2017_2_6

23. Аналітичний звіт та рекомендації щодо вирощування енергетичних культур в Україні. Проект «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій в муніципальному секторі в Україні». Інформаційний портал з питань біоенергетичних технологій. 22.02.2016. URL: http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/58/b4/58b45b61-d09d-43bf-bcb7-47e0235d39e0/otchet_po_verbe.pdf

24. McKendry P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*. 2002. Vol. 83. Issue 1. P. 37–46.

DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)

25. McKendry P. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology*. 2002. Vol. 83. Issue 1. P. 47–54.

DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00119-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00119-5)

26. Теоретико-прикладні аспекти декарбонізації та розвитку розподіленої електроенергетики України : кол. моногр. / за ред. М. О. Кизима ; авт. кол. : М. О. Кизим, В. Є. Хаустова, В. В. Шпілевський, Є. І. Котляров, Т. І. Салашенко, Є. М. Крячко, Є. С. Колбасін, Д. М. Костенко, О. В. Шпілевський, О. В. Лелюк, Г. В. Мілютін. Харків : ФОП Лібуркіна Л. М., 2020. 344 с.

27. Lytsur I., Mykytenko V., Bondar-Podgurska O. Grouping of risks and threats to the processes of spatial management of natural resources of the state in the system of national economy. 2021. Inter-science – Atlantis Press: collection of scientific papers. Vol. 167. P. 32–37.

28. Микитенко В., Драган І. Управління природо-ресурсними активами в умовах нарощення глобальних загроз і ризиків. *Економічний дискурс*. 2020. № 1 (43). С. 78–88.

29. Гелетуха Г., Драгнев С., Кучерук П., Матвеев Ю. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України. Громадська організація «Агентство з відновлюваної енергетики». URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2018/01/biofin.pdf>

30. Хіврич О. Б., Квака В. М., Каськів В. В., Мамайсур В. В., Макаренко А. С. Енергетичні рослини як альтернатива традиційним видам палива. *Агробіологія*. 2011. Вип. 6. С. 153–157. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agr_2011_6_39

31. Трибой О. В., Драгнев С. В. Як використати малопродуктивні землі для вирощування сталої біосировини для енергетики? *Екологія підприємства*. 2018. №7 (72). С. 55–63. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/tryboi-dragnev-marginal-lands-for-growing-sustainable-bioenergy-feedstock-forbio.pdf>

32. Шевчук Р. Біоенергетичні культури для Полісся // Аграрний Тиждень. Україна : інформ.-аналіт. портал. URL: <https://a7d.com.ua/plants/13853-boenergetichn-kulturi-dlya-polssya.html>

33. ДСТУ EN 15234-4:2013 Тверде біопаливо. Забезпечення якості. Частина 4. Тріски деревні для непромислового використання (EN

15234-4:2012, IDT). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62138

34. ДСТУ 8358:2015 Брикети та гранули паливні з деревинної сировини. Технічні умови. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73203

35. Оцінка доцільності культивування та переробки мікроводоростей в рідке біопаливо в Україні. Звіт про створення науково-технічної продукції НДЦ ІПР НАН України. Харків. 2019. 129 с.

36. ТОВ «Стандарт-2010». URL: <https://zaporozhe.flagma.ua/uk/pellety-iz-chistoy-luzgi-podsolnuha-o10791897.html>

37. ООО «ФЕРТЕЛИТА ГРУПП». URL: <https://prom.ua/p814141893-toplivnye-granulypellety-solomy.html?&primelead=MS41Nw>

38. ТОВ «ЕcoTeam» URL: <https://ivanofrankovsk.flagma.ua/uk/pelleta-derevna-granula-o8144715.html>

39. ТОВ «Евромайстер Групп» URL: <https://zmiev.flagma.ua/uk/pelleta-toplivnaya-dub-100-drevesnaya-granula-o5716181.html>

40. Стасюк Н. Р., Греськів І. Р. Методи оцінювання ефективності інвестиційних проєктів: переваги та недоліки. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2015. № 6. С. 306–309.

41. Чепелюк Г. М., Ткаченко К. О. Методи оцінки інвестиційного проєкту, які використовуються при банківському інвестиційному кредитуванні. *Ефективна економіка*. 2017. № 10. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5810>

42. Моделі і методи оцінки інвестиційних проєктів : кол. моногр. / за ред. В. К. Галіцина ; авт. кол. : О. П. Суслов, Ю. О. Кубрушко. Київ: КНЕУ. 2005. 168 с.

43. Сучасний менеджмент у схемах і таблицях. Частина 1 : навч. посіб. / [Н. С. Іванова, Н. С. Приймак, І. А. Карабаза, І. В. Шаповалова, Ю. Б. Лижник] ; ред. Н. С. Іванова. Кривий Ріг : Вид. ДонНУЕТ, 2021. 282 с.

44. Гаращук О. В., Целіна Н. О., Мельниченко О. Д. Кількісна оцінка інвестиційних ризиків. *Вісник економічної науки України*. 2009. № 1. С. 55–57.

45. Трактор МТЗ-892. Мінський тракторний завод «МТЗ-ХОЛДІНГ». URL: <https://mtz.ais.ua/belarus-892.html>

46. Трактор МТЗ-892. «MotoShara». URL: <https://prom.ua/p1282111303-traktor-belarus-8922.html>

47. ООО «Техніка та технології». URL: <https://t-i-t.com.ua/kombayn-rotornyiy-pritsepnoy-ros-2/>

48. AGRONEXT. URL: <https://agronext.com.ua/pricep-traktornyj-2pts-6-novyj-s-bortami-vysotoj-12-m>

49. Делліф. URL: <https://dellif.com.ua/pogruzchik-na-traktor-kun-dellif-1200>

50. ТОВ «ТехноМашСтрой». URL: <https://tms.ck.ua/>

51. Язлюк Б. О., Сивак Р. Б. Оцінка ефективності інвестиційно-інноваційних проектів підприємств світлотехнічної галузі. *Економічний аналіз*. 2010. Вип. 5. С. 385–389. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/9957/1/yazlyuk%20%281%29.pdf>

ВИСНОВКИ

Представлене в монографії дослідження дозволило отримати низку наукових і практичних результатів:

1. На основі систематизації світового та національного досвіду запропоновано концептуальні положення із розвитку виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні, які представляють мультидисциплінарний підхід до побудови біоенергетичного циклу в країні. В основі положень є мета, принципи, очікувані результати, завдання, напрямки та цільові орієнтири, які спрямовані на розв'язання трилеми розвитку енергетики – екологічної сталості, енергетичної безпеки та соціально-економічної доступності енергії. Положення передбачають кооперацію трьох видів економічної діяльності: сільського господарства (вирощування енергетичних культур), деревообробної (виробництво твердого біопалива) та енергетичної (перетворення твердого біопалива на кінцеву енергію) промисловості, забезпечуючи сталий розвиток сільських територій. Їх реалізація визначається як напрям розвитку розподіленої відновлюваної енергетики на основі використання місцевого біоенергетичного потенціалу.
2. Особливості господарювання за різними видами економічної діяльності обумовили необхідність розробки методичних положень із планування техніко-економічних показників промислового комплексу із виробництва твердого біопалива з енергетичних культур. Вихідною умовою планування є наявність перспективної земельної ділянки, характеристики якої визначають виробничий потенціал промислового комплексу. Вибір енергетичної культури, доцільної для вирощування, спирається на аналіз природно-кліматичних умов місцевості, біологічних

властивостей і теплотворної здатності культур. Вибір схеми закладання, експлікація будівель і споруд, а також промислового обладнання є основою для планування операційних витрат господарчої діяльності комплексу, які надалі калькуюються за переділами. Обґрунтування ефективності функціонування промислового комплексу спирається на встановлення конкурентоспроможної ціни порівняно із продуктами аналогами на ринку твердого біопалива країни.

Апробацію запропонованих положень було проведено для земельної ділянки площею у 100 га, яка довела високу ефективність створення промислового комплексу із вирощування міскантусу та виробництва з нього паливних пелет – його рентабельність складає 121,5 %.

3. Для доведення економічної доцільності виробництва твердого біопалива із енергетичних культур розроблено авторський методичний підхід до оцінки інвестиційної привабливості такого проєкту, який передбачає інструментальну оцінку за п'ятьма паралельно-послідовними етапами. Графік робіт із будівництва промислового комплексу передбачає визначення строків реалізації проєкту: від закладання енергетичної плантації до виробництва твердого біопалива з біомаси вирощених енергетичних культур. За кожним переділом визначаються інвестиції для побудови промислового комплексу, що включають розрахунок вартості: довгострокових біологічних активів та основних засобів для закладання енергетичної плантації, збирання та транспортування енергетичної тріски, а також основних засобів для виробництва паливних пелет. За графіком робіт із будівництва промислового комплексу розробляється план фінансування проєкту, який розподіляє інвестиційні потоки у часі. Графік чистих потоків розраховується із початку промислової експлуатації такого комплексу та до завершення строків корисної експлуатації його необоротних активів. Визначення інвестиційної привабливості проєкту передбачає побудову графіку поточної вартості на основі порівняння дисконтованих інвестиційних і грошових потоків, що дозволяє встановити окупність проєкту.

Апробація підходу дозволила встановити, що інвестиції у промисловий комплекс із виробництва 2 тис. т міскантусу та виробництва з нього 1,9 тис. т пелет складуть 10,3 млн грн, термін реалізації проекту – 5 років, дисконтований термін окупності – 4,8 років; поточна вартість на момент завершення – 622 тис. грн.

4. Формулювання проблеми розвитку виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні потребувало розробки науково-аналітичного забезпечення зі структурної декомпозиції його балансу в енергетичних потоках національного господарства, за результатами якої визначено таке. Тверде біопаливо недооцінене в енергетичних потоках національного господарства. Ступінь його проникнення складає лише 4 % у 2020 р., тоді як цільовим орієнтиром було 5 % у 2020 р. На відміну від гострого дефіциту національного енергобалансу України, енергобаланс твердого біопалива є профіцитним, 3,5 % якого експортується. Попит на тверде біопаливо в Україні формують на 58,7 % кінцеві споживачі, тоді як його використання паливно-енергетичним комплексом складає лише 4,2 % від загальних обсягів споживання органічного палива на перетворення. Україна має значний біоенергетичний потенціал, теоретичний рівень якого склав 55,2 млн т н. е., а технічний – 39,35 млн т н. е. у 2022 р. Проте цей потенціал майже не використовувався в країні, лише на 3,1 %.

На державному рівні біопаливо визнано найпріоритетнішим джерелом серед відновлюваних джерел енергії, частка якого мала б скласти 11 % у 2020 р. від усіх їх видів. Проте ця мета так і залишилася недосягнутою в Україні через неімплементовані норми Директиви 2009/28/ЄС, невпроваджену міжнародну сертифікацію твердого біопалива за стандартом ISO EN 17225, відсутність державної підтримки для виробників і занизькі стимули для споживачів біопалива.

5. Із застосуванням структурно-логічного аналізу досліджень зарубіжних і вітчизняних учених, практичного національного та світового досвіду у роботі було побудовано організаційну схему

біоенергетичного циклу, що дозволило визначити альтернативні варіанти його формування та надати науково-практичні рекомендації для його розбудови в Україні. На основі порівняльного аналізу різних енергетичних культур рекомендовано таку номенклатуру для вирощування в Україні: енергетична верба та міскантус. Перспективним способом виробництва твердого біопалива з біомаси енергетичних культур є метод гранулювання. Найефективнішою технологією перетворення твердого біопалива на кінцеву енергію визначено когенерацію на основі сумісного спалювання традиційного органічного та твердого біологічного палива.

Практичне значення одержаних результатів полягає у використанні запропонованих теоретико-методичних положень і науково-практичних рекомендацій при обґрунтуванні рішень на державному рівні управління щодо напрямів розвитку й економічної доцільності виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні.

ДОДАТОК А

Технічні умови на брикети з біомаси (вибрані приклади)

Рослинна сировина:

ТУ У 20.1-36474791-001:2009 Паливо тверде брикети паливні із подрібненої рослинної сировини (ТОВ «Вінінтертрейд»);

ТУ У 20.1-36474797-001:2009 Брикети паливні із подрібненої рослинної сировини (ТОВ «Алекмір Енерджі»);

ТУУ 38.1-37474379-002:2014 Грануліта брикети паливні з відходів деревини та сільськогосподарських культур (ТОВ «Екоресурс-Т»);

ТУ У 19.2-32886226-001:2013 зі зміною № 1 Брикети паливні із рослинної сировини (ПП «Полтава - Консалтинг»);

ТУ У 20.1-1470313117-001:2011 зі зміною № 1 Паливо з відходів рослинної сировини брикетоване (ФОП Колтунов Ігор Володимирович);

ТУ У 38.1-1700201376-002:2016 Брикети паливні з виноградної лози (ФОП Могильніков Валентин Дмитрович);

ТУ У 38.1-1700201376-002:2016 Брикети паливні з соломи сільськогосподарських культур (ФОП Могильніков Валентин Дмитрович).

Лушпиння соняшника:

ТУУ 15.6-30842484.007:2006 Біобрикети із лушпиння соняшника (ПП «АВК»)

ТУ У 15.6-30842484.007-2006 зі зміною № 1 Брикети з відходів сільськогосподарського виробництва (лушпиння насіння соняшника) (ПП «Спецзовнішкомплект»).

ДОДАТКИ

Деревна біомаса:

ТУ У 20.1-34920361-001:2009 Брикети пресовані із тирси (ТОВ «ЕО Біотемп»);

ТУ У 20.1-31072232-001:2012 Брикети пресовані із тирси (ТОВ «РГСН»)

ТУ У 20.1-36831840-001:2010 Брикети паливні з тирси (ТОВ «Еко-Блейз»);

ТУ У 16.2-37677902-001:2012 Брикети паливні пресовані з відходів деревини (ТОВ «УКРБІОРЕСУРС»);

ТУ У 24.1-30817332-003-2002 Брикети паливні з твердих порід деревини (ТОВ «Екобрикети»);

ТУ У 19.2-36318023-001:2013 Біопаливо тверде. Брикети паливні з деревини (ПП «Торфвуд»);

ТУ У 16.2-38244430-001:2012 Брикети з вільхи 1 сорту 2 виду (ТОВ «К. Р. Енеджі»);

ТУ У 16.2-38244430-001:2012 Брикети з дубу 1 сорту 3 виду (ТОВ «К. Р. Енеджі»);

ТУ У 37.2.34827522-001:2010 Гранули та брикети паливні з деревинної сировини (ТОВ «Рікон-Трейд»);

ТУ У 16.2-34037185-001:2015 Брикети паливні з відходів деревини у вигляді прямокутної чотирьохгранної призми (ПП «Дари землі»).

Очерет:

ТУ У 38.1-1700201376-002:2016 Брикети паливні з очерету (ФОП Могильніков Валентин Дмитрович).

ДОДАТОК Б

Державні стандарти, що стосуються твердого біопалива

ДСТУ EN 14588:2013 Біопаливо тверде. Терміни та визначення понять (EN 14588:2010, IDT);

ДСТУ EN 14774-1:2013 Тверде біопаливо. Визначення вмісту вологи. Метод висушування в сушильній шафі. Частина 1. Загальна волога. Стандартний метод (EN 14774-1:2009, IDT);

ДСТУ EN 14774-2:2013 Тверде біопаливо. Визначення вмісту вологи. Метод висушування в сушильній шафі. Частина 2. Загальна волога. Спрощений метод (EN 14774-2:2009, IDT);

ДСТУ EN 14774-3:2013 Тверде біопаливо. Визначення вмісту вологи. Метод висушування в сушильній шафі. Частина 3. Волога в пробі для загального аналізу (EN 14774-3:2009, IDT);

ДСТУ EN 14778:2013 Тверде біопаливо. Відбирання проб (EN 14778:2011, IDT);

ДСТУ EN 15103:2013 Тверде біопаливо. Методи визначання насипної щільності (EN 15103:2009, IDT);

ДСТУ EN 15104:2013 Тверде біопаливо. Методи визначання вмісту загальних вуглецю, водню та азоту (EN 15104:2011, IDT);

ДСТУ EN 15105:2013 Тверде біопаливо. Методи визначання вмісту водорозчинних хлоридів, натрію та калію (EN 15105:2011, IDT);

ДСТУ EN 15148:2012 Біопаливо тверде. Метод визначання вмісту летких речовин (EN 15148:2009, IDT);

ДСТУ EN 15210-2:2013 Тверде біопаливо. Метод визначання механічної міцності пелет і брикетів. Частина 2. Брикети (EN 15210-2:2010, IDT);

ДСТУ EN 15234-1:2013 Тверде біопаливо. Забезпечення якості. Частина 1. Загальні вимоги (EN 15234-1:2011, IDT);

ДСТУ EN 15234-3:2013 Тверде біопаливо. Забезпечення якості. Частина 3. Брикети деревні для непромислового використання (EN 15234-3:2012, IDT);

ДОДАТКИ

ДСТУ EN 15289:2013 Тверде біопаливо. Методи визначання загального вмісту сірки та хлору (EN 15289:2011, IDT);

ДСТУ-П CEN/TS 15370-1:2013 Тверде біопаливо. Метод визначання характеристик плавкості золи. Частина 1. Метод характеристичних температур (CEN/TS 15370-1:2006, IDT).

ДОДАТОК В

Таблиця В.1

Розрахунок поточних (операційних) витрат на закладання плантації
та виробництво біомаси міскантусу

№	Призначення витрат	Норма витрат на одиницю біомаси що виробляється, грн/т	Витрати на річний об'єм випуску, тис. грн
1	Паливо	60,75	121,50
2	Заробітна плата	45,00	90,00
3	Відрахування на соціальне страхування	9,90	19,80
4	Амортизація*	205,52	411,04
5	Загальногосподарські витрати	342,21	684,42
5.1	Заробітна плата	170,00	340,0
5.2	Відрахування на соціальне страхування	37,40	74,80
5.3	Витрати на реалізацію продукції	58,07	116,14
5.4	Інші	76,74	153,48
	Всього:	663,38	1326,76

* з урахуванням комерційного використання плантації та строку експлуатації техніки 20 років

Джерело: власна розробка

Таблиця В.2

Труд і заробітна плата

№ поз.	Посада	Середньомісячна заробітна плата, грн	Кількість працівників	Кількість відпрацьованих місяців	Фонд заробітної плати, тис. грн	Відрахування на соціальне страхування, тис. грн
1	Тракторист	15000	1	6	90	19,8
2	Директор	17000	1	12	204	44,88
3	Робітник на енергетичній плантації (сторож)	5000	2	10	100	22
4	Бухгалтер (0,5 ставки) (аутсорсинг)	3000	1	12	36	7,92
Всього:			5		430	94,6

Джерело: власна розробка

Таблиця В.3

Витрати палива на збирання та транспортування тріски

№ поз.	Обладнання (споруда)	Витрати палива, л/год	Кількість відпрацьованого часу, год	Кількість необхідного палива, л	Вартість пального без ПДВ, грн/л	Витрати на паливе, грн
1	Трактор МТЗ-892 з комбайном роторним причіпним «РОСЬ-2» (виробнича потужність -25 т/год) та причепом 2 ПТС-6 (об'ємом кузова – 11,5 м куб.)	12	250	3000	22,5	67500
2	Трактор МТЗ-892 з причепом 2ПТС-6	8	300	2400		54000
	Всього:			5400		121500

Джерело: власна розробка

ДОДАТКИ

Таблиця В.4

Розрахунок поточних (операційних) витрат на виробництво твердого біопалива (пелет) з біомаси міскантусу

№	Призначення витрат	Норма витрат на одиницю твердого біопалива що виробляється, грн/т	Витрати на річний об'єм випуску, тис. грн
1	Сировина (тріска міскантусу)	698,30	1326,76
2	Електрична енергія	107,24	203,76
3	Заробітна плата	126,32	240,00
4	Відрахування на соціальне страхування	27,79	52,80
5	Амортизація*	37,57	71,39
6	Загальногосподарські витрати	357,52	679,29
6.1	Заробітна плата	252,63	480,00
6.2	Відрахування на соціальне страхування	55,58	105,60
6.3	Витрати на реалізацію продукції	3,08	5,86
6.4	Інші	46,23	87,84
	Всього:	1354,74	2574,00

* з урахуванням строку експлуатації техніки 10 років та будівель і споруд 20 років

Джерело: власна розробка

Таблиця В.5

Труд і заробітна плата

№ поз.	Посада	Середньомісячна заробітна плата, грн	Кількість працівників	Кількість відпрацьованих місяців	Фонд заробітної плати, тис. грн	Відрахування на соціальне страхування, тис. грн
1	Директор	17000	1	12	204	44,88
2	Бухгалтер (0,5 ставки)	3000	1	12	36	7,92
3	Операціоніст на підприємстві	10000	2	12	240	52,8
4	Операціоніст на лінії гранулювання	10000	2	12	240	52,8
Всього:			6		720	158,4

Джерело: власна розробка

Таблиця В.6

Витрати електричної енергії на виробництво паливних пелет

№ поз.	Обладнання (споруда)	Кількість, одиниць	Витрати електричної енергії, кВт	Кількість відпрацьованого часу, год	Вартість електроенергії, грн/кВт-год	Витрати на електричну енергію, грн
1	Молоткова дробарка SHORPER-600	1	30	3334	0,61878	61890,3756
2	Аеродинамічна сушарка СА-600	1	5,5	3334	0,61878	11346,5689
3	Пневматичний транспортер ПТ-360, ручний візок з ємністю для тирси на 1 куб. м	1	4	3334	0,61878	8252,05008
4	Лінія гранулювання МЛГ-1500 MAX	1	41,6	4750	0,61878	122270,928
	Всього	4				203759,923

Джерело: власна розробка

ДОДАТОК Г

Таблиця Г.1

Графік робіт по закладанню плантації міскантусу та збиранню біомаси

Рік	Вид робіт	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Графік робіт по закладанню плантації міскантусу													
0 рік	Дискування на глибину до 12 см												
	Підвезення води, приготування та внесення гербіциду												
	Транспортування та внесення добрив												
	Оранка на глибину до 30 см												
	Осіньне вирівнювання поля												
1 рік	Передпосадкова культивация												
	Підготовка, транспортування та садіння ризомів на глибину до 10 см												
	Перше боронування до появи паростків												
	Друге боронування до появи паростків												
	Підвезення води, приготування та внесення гербіциду												

Закінчення табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Міжрядний обробіток ґрунту на глибини до 10 см												
	Графік робіт зі збору енергетичної тріски												
2 рік	Збирання міскантусу з подрібненням на тріску												
	Транспортування тріски до кагату												
	Графік робіт з виробництва твердого біопалива (пелет)												
2-20 роки	Виробництво пелет												

Джерело: власна розробка

Таблиця Г.2

План фінансування у закладання плантації міскантусу, збирання біомаси та виробництва твердого біопалива (пелет)

№ поз.	Об'єкт інвестування	Інвестиції за роками реалізації проєкту, тис. грн			Всього, тис. грн
		0	1	2	
		Закладання плантації			
Закладання плантації					
1	Проектні роботи	641,04			641,04
2	Саджанці		6000,00		6000,00
3	Добрива	448,00			448,00
4	Засоби захисту рослин	61,48	65,64		127,12
5	Послуги сторонніх організацій	160,00	340,00		500,00
6	Паливно-мастильні матеріали (закладання плантації)	85,50	141,75		227,25
7	Всього при закладанні план- тації	754,98	6547,39		7302,37
Збір та транспортування енергетичної тріски					
8	Техніка та обладнання			918,50	918,50
Виробництво паливних пелет					
9	Техніка та обладнання			490,85	490,85
10	Будівлі і споруди			446,00	446,00
11	Всього при виробництві палив- них пелет			936,85	936,85
Всього капітальних інвестицій:		754,98	6547,39	1855,35	9157,72
12	Формування оборотних коштів:			457,89	457,89
Всього інвестицій:		1396,02	6547,39	2313,24	10256,65

Джерело: власна розробка

ДОДАТКИ

Таблиця Г.3

Розрахунок капітальних витрат на закладання плантації

№ поз.	Показник	Рік		Всього, грн
		0	1	
Посадковий матеріал та його вартість				
1	Густота засадження ризомів міскантусу, шт./га	15000		
2	Кількість посадкового матеріалу, шт.		1500000	1500000
3	Ціна 1 саджанця, грн	4		
4	Вартість посадкового матеріалу, грн		6000000	6000000
Витрати на засоби захисту рослин				
5	Норма витрати Раундап Макс, л/га	2,7		
6	Кількість Раундап Макс, л	270		
7	Ціна Раундап Макс, грн/л	227		
8	Вартість Раундап Макс, грн	61290,00		61290,00
9	Норма витрати гербіциду Таск, г/га	385		
10	Кількість гербіциду Таск, г		38500	
11	Ціна гербіциду Таск, грн/г	1,7		
12	Вартість гербіциду Таск, грн		65450,00	65450,00
13	Норма витрати води, м куб./га	0,3		
14	Кількість води, м куб.	30	30	
15	Тариф на воду води, грн/м куб.	6,384		
16	Вартість води, грн	191,52	191,52	383,04
17	Вартість на засоби для захисту рослин, грн	61481,52	65641,52	127123,04
Витрати на мінеральні добрива				
18	Норми витрати Мінеральне добриво, кг/га	350		
19	Кількість Мінеральне добриво, кг	35000		
20	Ціна Мінеральне добриво, грн/кг	12,8		
21	Вартість Мінеральне добриво, грн	448000,00		448000,00
Витрати на посадковий матеріал, засоби захисту рослин та добрива, грн		509481,52	6065641,52	6575123,04

Джерело: власна розробка

Таблиця Г.4

Вартість послуг сторонніх організацій та витрат на паливо при закладанні плантації

Рік	Сільськогосподарські операції	Ціна послуги, грн/га	Всього, грн	Витрати палива, л/га	Вартість палива без ПДВ, грн/л	Всього, грн
0 рік	Дискування на глибину до 12 см	400	40000	10	22,5	22500
	Підвезення води, приготування та внесення гербіциду Раундап	200	20000	3	22,5	6750
	Транспортування та внесення добрив	200	20000	3	22,5	6750
	Оранка на глибину до 30 см	600	60000	12	22,5	27000
	Осіньне вирівнювання поля	200	20000	10	22,5	22500
1 рік	Передпосадкова культивування	300	30000	10	22,5	22500
	Підготовка, транспортування та садіння ризомів	2000	200000	20	22,5	45000
	Перше боронування до появи паростків	300	30000	10	22,5	22500
	Друге боронування до появи паростків	300	30000	10	22,5	22500
	Підвезення води, приготування та внесення гербіциду	200	20000	3	22,5	6750
	Міжрядний обробіток ґрунту	300	30000	10	22,5	22500
Всього послуги при закладанні плантації			500000			227250

Джерело: власна розробка

ДОДАТКИ

Таблиця Г.5

Розрахунок витрат на придбання техніки та обладнання для закладання плантації, збирання та транспортування тріски

№ поз.	Обладнання (споруда)	Кількість, одиниць	Ціна (без ПДВ), грн	Капітальні вкладення, тис. грн
1	Трактор МТЗ-892 [45; 46]	1	507000	507
2	Комбайн роторний причіпний «РОСЬ-2» [47]	1	189500	189,5
3	Причеп 2ПТС-6 [48]	1	182000	182
4	Навісний фронтальний стаціонарний навантажувач Dellif Light 1200 [49]	1	40000	40
Всього		4		918,50
Амортизаційні відрахування, всього, тис. грн				45,93

Джерело: складено за матеріалами [45–49]

Таблиця Г.6

Розрахунок витрат на придбання техніки, обладнання, будівель і споруд для виробництва паливних пелет

№ поз.	Обладнання (споруда)	Кількість, одиниць	Ціна (без ПДВ), грн	Капітальні вкладення, тис. грн
1	Молоткова дробарка CHOPPER-600 [50]	1	52700	52,7
2	Аеродинамічна сушарка СА-600 [50]	1	199950	199,95
3	Пневматичний транспортер ПТ-360 [50], ручний візок з ємністю для тирси на 1 куб. м	1	19800	19,8
4	Лінія гранулювання МЛГ-1500 MAX [50]	1	218400	218,4
5	Будівлі і споруди		446000	446
Всього				936,85
Амортизаційні відрахування на техніку, всього, тис. грн				49,085
Амортизаційні відрахування на будівлі та споруди, всього, тис. грн				22,3

Джерело: складено за матеріалами [50]

Таблиця Г.7

Розрахунок амортизаційних відрахувань локального енергетичного кластера

Технологічна операція	Технологічна установка (агрегат)	Сума капітальних витрат, тис. грн	Норма амортизації, %	Сума амортизації, тис. грн
Закладання плантації та заготівля біомаси	Трактор МТЗ-892	507	5,0	25,35
	Комбайн роторний причіпний «РОСЬ-2»	189,5	5,0	9,48
	Прицеп 2ПТС-6	182	5,0	9,1
	Навісний фронтальний стаціонарний навантажувач Dellif Light 1200	40	5,0	2,0
Виробництво твердого біопалива (пелет)	Молоткова дробарка СНОPPER-600	52,7	10,0	5,27
	Аеродинамічна сушарка СА-600	199,95	10,0	19,99
	Пневматичний транспортер ПТ-360, ручний візок з ємністю для тирси на 1 куб. м	19,8	10,0	1,98
	Лінія гранулювання МЛГ-1500 МАХ	218,4	10,0	21,84
	Будівлі і споруди	446	5,0	22,3
	Всього:	1855,35		117,32

Джерело: власна розробка

Таблиця Г.8

Вихідні дані та розрахунок чистої теперішньої вартості (Net Present Value – NPV)

Показник	Роки реалізації проекту											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Амортизація	0,00	0,00	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43	
Амортизація наростаючим підсумком	0,00	0,00	482,43	964,86	1447,29	1929,71	2412,14	2894,57	3377,00	3859,43	4341,86	
Чистий прибуток	0,00	0,00	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	
Чистий прибуток наростаючим підсумком	0,00	0,00	2563,32	5126,63	7689,95	10253,26	12816,58	15379,90	17943,21	20506,53	23069,85	
Чистий (вихідний) грошовий потік наростаючим підсумком	0,00	0,00	3045,74	6091,49	9137,23	12182,98	15228,72	18274,47	21320,21	24365,96	27411,70	
Інвестиційний (вихідний) потік	-1396,02	-6547,39	-2313,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Інвестиційний (вихідний) потік наростаючим підсумком	-1396,02	-7943,41	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65	
Коефіцієнт дисконтування потоку та інвестицій (ставка 5%)	1,05	1,10	1,16	1,22	1,28	1,34	1,41	1,48	1,55	1,63	1,71	

Продовження табл. Г.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Дисконтований чистий грошовий потік нарастаючим підсумком	0,00	0,00	2505,74	4772,84	6818,35	8658,22	10307,40	11779,89	13088,76	14246,27	15263,86
Дисконтований інвестиційний потік нарастаючим підсумком	-1329,54	-7565,16	-9303,08	-8860,08	-8438,17	-8036,35	-7653,67	-7289,21	-6942,10	-6611,53	-6296,69
Поточна вартість проекту (NPV)	-1329,54	-7565,16	-6797,34	-4087,24	-1619,83	621,86	2653,73	4490,68	6146,66	7634,74	8967,17

Продовження табл. Г.8

	Роки реалізації проекту											
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
Амортизація	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43	482,43
Амортизація нарастаючим підсумком	4824,29	5306,72	5789,14	6271,57	6754,00	7236,43	7718,86	8201,29	8683,72	9166,14		
Чистий прибуток	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32	2563,32
Чистий прибуток нарастаючим підсумком	25633,16	28196,48	30759,79	33323,11	35886,43	38449,74	41013,06	43576,38	46139,69	48703,01		

ДОДАТКИ

Закінчення табл. Г.8

1	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Чистий (вихідний) грошовий потік нарастаючим підсумком	30457,45	33503,19	36548,94	39594,68	42640,43	45686,17	48731,92	51777,66	54823,41	57869,15
Інвестиційний (вихідний) потік	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Інвестиційний (вихідний) потік нарастаючим підсумком	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65	-10256,65
Коефіцієнт дисконтування потоку та інвестицій (ставка 5%)	1,80	1,89	1,98	2,08	2,18	2,29	2,41	2,53	2,65	2,79
Дисконтований чистий грошовий потік нарастаючим підсумком	16152,24	16921,39	17580,66	18138,78	18603,88	18983,55	19284,87	19514,46	19678,44	19782,56
Дисконтований інвестиційний потік нарастаючим підсумком	-5996,85	-5711,29	-5439,32	-5180,31	-4933,62	-4698,69	-4474,94	-4261,85	-4058,90	-3865,62
Поточна вартість проекту (NPV)	10155,38	11210,10	12141,34	12958,48	13670,25	14284,86	14809,93	15252,61	15619,54	15916,94

Ажерело: власна розробка

Наукове видання

Економічна доцільність виробництва твердого біопалива з енергетичних культур в Україні

Монографія

Підписано до друку 10.01.2023 р. Формат 60 x 84/16. Папір офсетний.

Гарнітура ArnoPro. Друк цифровий. Ум. друк. арк. 14,1.

Обл.-вид. арк. 17,7. Наклад 50 прим. Зам. № 79.

ФОП Лібуркіна Л. М.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції

від 12.02.2003 р., серія ХК № 76

61003, м. Харків, Університетська, 3, к. 9.

Надруковано у ФОП Озеров Г. В.