

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут екологічної безпеки та моніторингу довкілля

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра екології та екологічної безпеки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка  
до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ  
ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

Виконав: студент групи ТЗД-19м  
за спеціальністю 183 “Технології захисту  
навколишнього середовища”

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Патичук М. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Трач І. А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Гордієнко О. А.

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2020 р

Вінницький національний технічний університет

( повне найменування вищого навчального закладу )

**Інститут** \_\_\_\_\_ екологічної безпеки та моніторингу довкілля

**Кафедра** \_\_\_\_\_ екології та екологічної безпеки

**Спеціальність** \_\_\_\_\_ 183 «Технології захисту навколишнього середовища»  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ЕЕБ,  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ В.А.Іщенко  
(підпис)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 року

**ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Патичуку Максиму Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи: : ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ  
ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ**

**керівник роботи** Трач Ірина Анатоліївна, к.т.н., доцент  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом по ВНТУ від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 року № \_\_\_\_

**2. Строк подання студентом роботи** “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 року

**3. Вихідні дані до роботи:**

Енергетичний потенціал рослинних відходів в Україні (2018 р.) (Додаток Б).

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)**

1. Енергетичний потенціал біоенергетики в Україні.
2. Технологічні та екологічні рішення для розвитку біоенергетики.
3. Еколого-економічна оцінка перспектив вирощування біоенергетичних культур у Вінницькій області.
4. Еколого-економічні розрахунки викидів забруднюючих речовин.

## 5. Перелік графічного матеріалу

1. Структура валового кінцевого енергоспоживання (ВКЕ) у світі 2018 р.
2. Площа наявних енергетичних культур у деяких країнах Європи
3. Енергетична продуктивність різних сільськогосподарських культур.
4. Порівняльна характеристика енергетичних рослин для виробництва твердого біопалива.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	д.е.н., професор Мороз О.О.		

7. Дата видачі завдання “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Найменування етапів МКР	Термін Виконання
1.	Розробка технічного завдання	
2.	Енергетичний потенціал біоенергетики в Україні.	
3.	Технологічні та екологічні рішення для розвитку біоенергетики.	
4.	Еколого-економічна оцінка перспектив вирощування біоенергетичних культур у Вінницькій області.	
5.	Еколого-економічні розрахунки викидів забруднюючих речовин.	
6.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	
7.	Підготовка презентації та доповіді на захист МКР	

Студент \_\_\_\_\_ Патичук М.В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Трач І.А.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ABSTRACT.....	5
ВСТУП.....	6
1 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ БІОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ.....	8
1.1 Розвиток біоенергетики в Україні та ЄС.....	8
1.2 Використання енергетичного потенціалу біомаси в Україні.....	14
1.3 Прогноз розвитку біоенергетики в Україні до 2025 р .....	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИКИ .....	23
2.1 Огляд поточної ситуації в сільськогосподарському секторі в розрізі вирощування енергетичних культур.....	23
2.2 Аналіз можливостей використання сільськогосподарських земель для вирощування енергетичних культур.....	27
2.3 Екологічні особливості вирощування енергетичних культур.....	33
2.3.1 Енергетична верба.....	35
2.3.2 Енергетична тополя.....	36
2.3.3 Міскантус.....	37
2.3.4 Світчграс (просо прутоподібне).....	38
2.3.5 Сорго.....	40
3 ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ ВИРОЩУВАННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ.....	41
3.1 Економічна ефективність вирощування біоенергетичних культур ....	41
3.2 Перспективи вирощування павлонії як ефективної швидкоростучої енергетичної культури.....	45
4 ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН.....	55

4.1 Методика визначення показників забруднюючих речовин в технологічному процесі.....	55
4.2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин у атмосферу від енергетичної установки.....	57
4.3 Оцінювання економічної ефективності використання рослинних відходів як палива на підприємстві.....	70
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	75
Додаток А Технічне завдання.....	77
Додаток Б Вихідні дані.....	79
Додатки В Загальна характеристика та економічна ефективність інвестиційних проектів вирощування біоенергетичних культур.....	80

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота: 80 стор., 21 рис., 14 табл., 23 джерел.

В магістерській роботі оцінено розвиток біоенергетики в Україні та ЄС, використання енергетичного потенціалу біомаси в Україні та здійснено прогнозування розвитку біоенергетики в Україні до 2025 р.

Обґрунтовано технологічні та екологічні рішення для розвитку біоенергетики. Охарактерезовано поточну ситуацію в сільсько-господарському секторі в розрізі вирощування енергетичних культур. Проаналізовано можливості використання сільськогосподарських земель для вирощування енергетичних культур та екологічні особливості вирощування енергетичних культур.

Здійснено еколого-економічну оцінку перспектив вирощування біоенергетичних культур у Вінницькій області. Визначено економічну ефективність вирощування біоенергетичних культур. Обґрунтовано перспективи вирощування павлонії як ефективної швидкоростучої енергетичної культури.

Здійснено еколого-економічні розрахунки викидів забруднюючих речовин. Визначено показники забруднюючих речовин в технологічному процесі. Розраховано викиди забруднюючих речовин у атмосферу від енергетичної установки. Оцінено економічної ефективності використання рослинних відходів як палива на підприємстві.

Мета роботи – еколого-економічний аналіз перспектив використання енергетичних культур у Вінницькій області.

Галузь застосування – охорона навколишнього природного середовища.

Ключові слова: ЕНЕРГОКУЛЬТУРИ, БІОПАЛИВО, ВЕРБА, МІСКАНТУС, СОРГО.

## ANNOTATION

The master's thesis evaluates the development of bioenergy in Ukraine and the EU, the use of energy potential of biomass in Ukraine and forecasts the development of bioenergy in Ukraine until 2025.

Technological and ecological solutions for the development of bioenergy are substantiated. The current situation in the agricultural sector in terms of energy crops is described. Possibilities of using agricultural lands for growing energy crops and ecological features of growing energy crops are analyzed.

An ecological and economic assessment of the prospects for growing bioenergy crops in Vinnytsia region has been made. The economic efficiency of growing bioenergy crops is determined. Prospects for growing pavilion as an effective fast-growing energy crop are substantiated.

Ecological and economic calculations of pollutant emissions have been carried out. Indicators of pollutants in the technological process are determined. Emissions of pollutants into the atmosphere from the power plant are calculated. The economic efficiency of using vegetable waste as a fuel at the enterprise is estimated.

Field of application - environmental protection.

Key words: ENERGY CULTURE, ENERGY CARRIERS, WILLOW, MISKANTUS, SORGHUM.

## ВСТУП

**Актуальність.** Енергетичні культури - це рослини, які спеціально вирощують для використання в якості палива або для виробництва біопалива. В Україні проводиться широка науково-дослідна робота щодо енергетичних культур.

На сьогоднішній день досліджується більше 20 видів швидкоростучих енергетичних культур, які доцільно вирощувати для отримання рослинної біомаси. До енергетичних культур належать швидкоростучі дерева різних видів верби і тополі, однорічні та багаторічні трав'янисті рослини, наприклад сорго, цукровий очерет, міскантус, амарант, гірчак гострокінцевий, горець сахалінський, мальва пенсильванська, румекс, просо лозове, гібридний тютюн. До енергетичних культур водоростей відносять хлорелу, дуналіеллу, батріококуста.

В Україні налічується близько 3,5млн. га земель, виведених із сівозмін через їх низьку родючість, схильність до ерозії тощо. Вирощування швидкоростучих високоврожайних енергетичних культур на даних землях збереже ґрунти від ерозії, збільшить потужність гумусного шару і загалом покращить екологічний та енергетичний стан країни. Найбільш енергетично ефективними є три види енергетичних культур: швидкоростуча верба прутовидна (*Salix viminalis*), міскантус (*Miscanthus*), сорго (*Sorghum*).

Серед деревних рослин, саме верба сьогодні використовується у світі в якості основної енергетичної культури. Ідеально підходить для вирощування на забруднених радіонуклідами і пестицидами малопродуктивних землях міскантус (*Miscanthus*). Ще однією із перспективних енергетичних культур є сорго (*Sorghum*), яке адаптоване до вирощування в Україні. Проте, впровадження даної культури в сільськогосподарське виробництво України проводиться вкрай повільно, що пов'язано з відсутністю нових високоефективних, ресурсозберігаючих технологій його вирощування та переробки.



Вичерпність традиційних енергоносіїв і підвищення вартості енергетичних ресурсів негативно впливають на формування собівартості сільськогосподарської та промислової продукції, що зменшує її конкурентоспроможність на світовому рівні. Тому основним завданням держави є забезпечення ефективного використання власної паливно-енергетичної бази і здійснення диверсифікації джерел та шляхів постачання енергоносіїв. Одним із перспективних шляхів вирішення питання енергозабезпечення є використання енергетичних культур.

**Мета роботи** – еколого-економічний аналіз перспектив використання енергетичних культур у Вінницькій області.

**Завдання дослідження.** Досягнення мети передбачало розв'язання таких завдань:

1. Проаналізувати енергетичний потенціал біоенергетики України.
2. Обґрунтувати технологічні та екологічні рішення для розвитку біоенергетики.
3. Провести еколого-економічну оцінку перспектив вирощування біоенергетичних культур у Вінницькій області.

**Наукова новизна** полягає в наступному:

Вперше здійснено аналіз можливостей вирощування та використання енергетичних культур у Вінницькій області на сільськогосподарських та маргінальних землях, що дає можливість покращити екологічну безпеку регіону та енергетичного комплексу в цілому.

**Методи дослідження.** Використано методи комплексного, системного науково-обґрунтованого аналізу, а також методи математичної статистики та кореляційного аналізу.

# 1 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ БІОЕНЕРГЕТИКИ

## 1.1 Розвиток біоенергетики в Україні та ЄС

Короткі дані за 2018 рік щодо структури споживання первинної енергії в Україні, ЄС, США та світі в цілому, а також їх прогноз на 2030 рік наведені в таблиці 1.2. Аналіз даних дає змогу зробити деякі важливі висновки. Частка природного газу в Україні невиправдано висока - близько 43%, що майже в 2 рази вище, ніж, наприклад, у ЄС. В той же час внесок відновлюваних джерел енергії в Україну є дуже низьким - 1,6%, що в 6 разів менше, ніж у Європейському Союзі. Крім того, напрямки розвитку різних енергетичних секторів України, запропоновані в проекті оновленої Енергетичної стратегії до 2030 року, також не збігаються з тенденціями в енергетичному секторі ЄС. У новій редакції Стратегії до 2030 р. планується збільшити використання вугілля з 27,9% до 30%, а атомної енергії - з 17,9% до 22,5%. Крім того, ЄС має намір в 2,5 рази збільшити свій внесок до ВДЕ до 2030 року (з 9,8% до 25%), а Україна планує набагато повільніше розвинути цей сектор (з 1,6% до 5,7%). Згідно з 2010 роком, Україна має частку ВДЕ у загальному енергетичному балансі в 6 разів нижче, ніж у ЄС. До 2030 року цей показник лише незначно покращиться, а в Україні це буде в 4,4 рази нижче, ніж у Європейському Союзі [3] .

Відновлювані джерела енергії в даний час відіграють важливу роль у світовій енергетичній галузі. За даними 2014 року, їхній внесок у валове кінцеве енергоспоживання (VCE) складає більше 18%, включаючи біомасу - 14% ВКЕ або 76% від загального обсягу всіх видів викидів (рис 1.2). У Євросоюзі ситуація є подібною: частка відновлюваних джерел у загальному кінцевому споживанні енергії становить 15% (2016 р.), В тому числі біомаса - близько 9% ВКЕ або 62% від загального обсягу ВДЕ. У деяких країнах ЄС частка біомаси від усіх поновлюваних джерел складає від 30-40%

(Люксембург, Кіпр, Ірландія) до 80-95% (Естонія, Латвія, Литва, Угорщина, Польща, Фінляндія).

Таблиця 1.2 – Структура споживання первинних енергоресурсів, % [1-5]

Енергоносії	2018				2030	
	Світ в цілому	Україна*	ЄС	США	Україна**	ЄС
Природний газ	20,9	42,6	25,1	25,2	28	24
Нафта	32,9	10,0	35,1	36,1	14,5	33
Вугілля	27,1	27,9	15,9	23,0	30	7
Уран	5,8	17,9	13,5	9,8	22,5	11
ВДЕ	13,1	1,6	9,8	5,6	5,7	25

\* За даними енергетичного балансу України за 2010 р., складеного Державною службою статистики України [4].

\*\* На відміну від загальносвітової практики, енергетичний баланс України у 2030 році передбачає, крім п'яти перерахованих енергоносіїв, значну частку "інших" джерел невизначеного походження (25,8 млн. т у.п. стандартного палива за базовим сценарієм або 10,8% від загального споживання енергії).

Також в енергетичний баланс включено "теплову енергію навколишнього середовища" (8 млн. т у.п. стандартного палива в базовому сценарії), але механізм його розрахунку є непрозорим. Тому дані щодо частки окремих джерел енергії були розраховані як співвідношення їх внесків до загального споживання енергії (238,1 млн. т у.п. стандартного палива в базовому сценарії), за винятком зазначених 25,8 млн. т у.п. палива. від "інших" джерел енергії та 8 млн. т у.п. з "теплової енергії навколишнього середовища", так що їх сума становить 100%. Частка гідроенергії включена в ВДЕ.

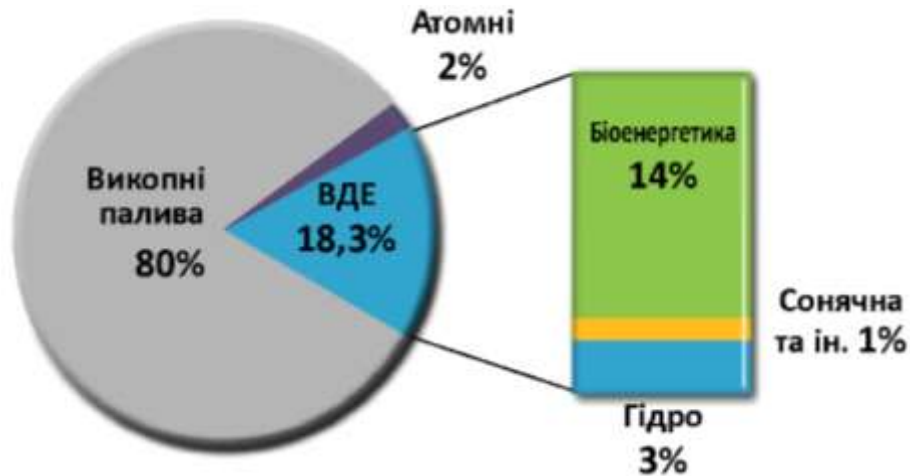


Рисунок 1.2 – Структура валового кінцевого енергоспоживання (ВКЕ) у світі 2018 р.

Європейський Союз успішно рухається до цільової відновлюваної енергетики на 2020 р., що становить 20% від ВДЕ у валовому кінцевому споживанні енергії. За останні 10 років ця цифра зросла з 8% до 14% (рис 1.3). Три країни (Швеція, Болгарія та Естонія) вже виконали свої національні цілі у 2020 році (табл. 1.3).

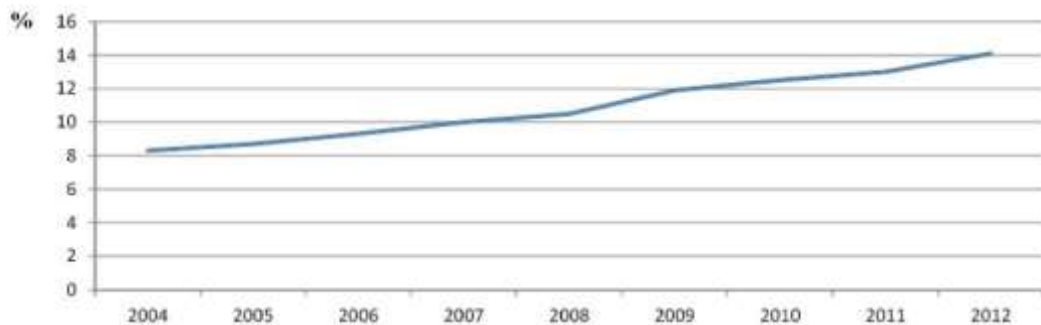


Рисунок 1.3 – Динаміка зростання частки ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні ЄС-28

Сьогодні обсяг споживання біомаси для виробництва енергії в Європейському Союзі складає понад 120 млн. тонн енергії на рік, а до 2020 року загальне кінцеве споживання біомаси повинно зрости до 138 млн. тонн

енергії на рік. В основному використовується тверда біомаса. Її частка в загальному споживанні незмінно становить близько 70%.

Валове кінцеве споживання біомаси в ЄС вже перевищило 8%, а до 2020 р планується до 14%. У деяких провідних країнах рівень розвитку біоенергетики в Європі набагато вище середнього. Так, у Фінляндії частка біомаси в кінцевому енергоспоживанні становить 28%, в Латвії - більше 27%, у Швеції та Естонії - близько 26% (для порівняння - в Україні 1,78%) (рис 1.4). Австрія та Естонія вже практично виконали свої зобов'язання щодо 2020 року щодо внеску біомаси до валового кінцевого споживання енергії (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Динаміка досягнення мети ЄС щодо внеску ВДЕ до валового кінцевого енергоспоживання

Країни ЄС	2018 р.	Індикативна траєкторія досягнення мети 2020 року			2020 р.
		2013-2014	2015-2016	2017-2018	
ЄС-28	14,1%	н.д.	н.д.	н.д.	20%
Бельгія	6,8%	5,4%	7,1%	9,2%	13%
Болгарія	16,3%	11,4%	12,4%	13,7%	16%
Чеська Республіка	11,2%	8,2%	9,2%	10,6%	13%
Данія	26,0%	20,9%	22,9%	25,5%	30%
Німеччина	12,4%	9,5%	11,3%	13,7%	18%
Естонія	25,8%	20,1%	21,2%	22,6%	25%
Ірландія	7,2%	7,0%	8,9%	11,5%	16%
Греція	13,8%	10,2%	11,9%	14,1%	18%
Іспанія	14,3%	12,1%	13,8%	16,0%	20%
Франція	13,4%	14,1%	16,0%	18,6%	23%

Продовження табл.1.3

Хорватія	16,8%	14,8%	15,9%	17,4%	20%
Італія	13,5%	8,7%	10,5%	12,9%	17%
Кіпр	6,8%	5,9%	7,4%	9,5%	13%
Латвія	35,8%	34,8%	35,9%	37,4%	40%
Литва	21,7%	17,4%	18,6%	20,2%	23%
Люксембург	3,1%	3,9%	5,4%	7,5%	11%
Угорщина	9,6%	6,9%	8,2%	10,0%	13%
Мальта	1,4%	3,0%	4,5%	6,5%	10%
Нідерланди	4,5%	5,9%	7,6%	9,9%	14%
Австрія	32,1%	26,5%	28,1%	30,3%	34%
Польща	11,0%	9,5%	10,7%	12,3%	15%
Португалія	24,6%	23,7%	25,2%	27,3%	31%
Румунія	22,9%	19,7%	20,6%	21,8%	24%
Словенія	20,2%	18,7%	20,1%	21,9%	25%
Словаччина	10,4%	8,9%	10,0%	11,4%	14%
Фінляндія	34,3%	31,4%	32,8%	34,7%	38%
Швеція	51,0%	42,6%	43,9%	45,8%	49%
Великобританія	4,2%	5,4%	7,5%	10,2%	15%

У Європейському Союзі були проведені дослідження щодо використання енергії рослинних відходів. За їх результатами, 25-50% соломи можна використовувати для потреб енергії, а залишкова біомаса повинна залишатись на полях. Виробництво енергії від спалювання соломи активно розвивається в Данії, Швеції та більшості країн Центральної Європи. Є близько 5% до 20% соломи, виробленої на рік для потреб енергії. Дослідження, проведені для умов США, показали, що 30-60% від загального виробництва відходів соломи та кукурудзи на зерно може використовуватися для виробництва енергії / біопалива. Надлишок соломи, який є наявний в

Україні можна залучити до паливно-енергетичного балансу. Частка зерна врожаю та соломи становить приблизно 1:1, тому щорічні обсяги формування соломи близькі до загального виробництва зернових культур в Україні. Виробництво зернових та зернобобових культур в Україні становить близько 40-50 млн. тонн на рік з виходом 25-30 ц/га. Врожай 2015 року склав 60 млн. тонн.

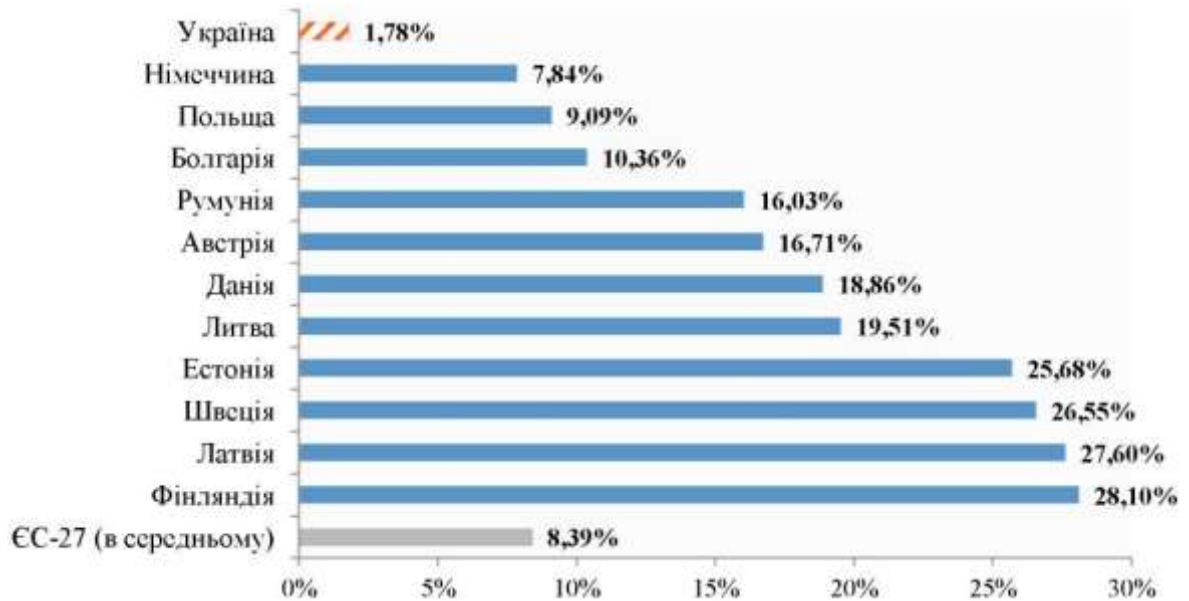


Рисунок 1.4 – Частка біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні деяких країн ЄС і в Україні, 2018 р.

Для України оптимальний об'єм соломи, який можна використовувати для потреб тепла за нульового балансу гумусу, складає близько 40%. За попередніми оцінками, в Україні для енергетичних цілей є можливість використовувати щорічно до 10 млн. тонн соломи злаків та близько 7 млн. тонн ріпакової соломи [2]. Використання відходів рослин дозволить Україні усунути залежність від газу та забезпечити енергетичні потреби через використання власних, швидко поновлюваних джерел енергії рослинного походження. З урахуванням значень теплоти згоряння природного газу та ряду відходів рослин, викладених у табл. 1.4, перспективним є використання соломи як альтернативного енергетичного палива [5].

Таблиця 1.4 – Теплоота згоряння палив

Теплота згоряння	Одиниці вимірювання	МДж, (ккал)
Газ природний, при 20°C 101,325 кПа	м <sup>3</sup>	31,8; (7600)
Солома	кг	15,7; (3750)
Пелети із соломи	кг	14,51; (3465)
Лушпиння соняшнику, сої	кг	17,00; (4060)
Кукурудза-початок (W>10%)	кг	14,65; (3500)
Свіжозрубана деревина (W=50...60%)	кг	8,12; (1940)
Висушена деревина (W=20%)	кг	14,24; (3400)
тріска	кг	10,93; (2610)
тирса	кг	8,37; (2000)
Пелета деревна	кг	17,17; (4100)

Отже, використання всього 10 млн. т соломи для енергетичних потреб дає щорічну економію 5 млрд. м<sup>3</sup> природного газу.

## 1.2 Використання енергетичного потенціалу біомаси в Україні

Незважаючи на низький рівень розвитку поновлюваних джерел енергії сьогодні, Україна має хороші передумови для майбутнього розвитку даного сектора, особливо біоенергетичного сектора. Україна має великий потенціал для отримання біомаси для виробництва енергії. Основними компонентами цього потенціалу є сільськогосподарські відходи, деревні відходи, а в довгостроковій перспективі - енергетичні культури, обробка яких почала активно розвиватися в останні роки [6, 7].



Енергетичний потенціал біомаси в Україні на 2016 рік представлений в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Енергетичний потенціал біомаси в Україні за 2018 р.

Вид біомаси	Всього утворюється, млн. т	% від загальної кількості	Енергетичний потенціал, млн. т у.п.
Солома зернових культур	32	20	3,17
Солома ріпаку	2,9	70	0,96
Відходи виробництва кукурудзи на зерно	34	52	8,59
Відходи виробництва соняшника	17	67	5,55
Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)	9,7	77*	0,99
Деревна біомаса	3,9	89*	1,87
Енергетичні культури:			
- тополя, міскантус, верба та ін.	20	85	10,30
- ріпак (солома)	3,2	70	1,13
- ріпак (біодизель)	-	-	0,77
- кукурудза (біогаз)	-	-	1,10
Торф	-	-	0,4
Всього	-	-	38,24

\* в середньому

З таблиці 1.5 видно, що енергетичний потенціал біомаси в Україні у 2016 році дорівнював обсягу природного газу  $V_{\text{ПГ}} = 32,9$  млрд. м<sup>3</sup>.

Величина енергетичного потенціалу біомаси змінюється протягом багатьох років і залежить в основному від врожайності основних культур (пшениця, кукурудза, соняшник та ін.). Протягом останніх 10 років

нестабільність енергетичного потенціалу становила 25-38 млн. тонн у.п./ рік (1000 куб. м природного газу = 1,16 тонн у.п. = 0,812 тонн н.е.. н.е - нафтовий еквівалент; у.п. – умовне паливо); В Україні частка природного газу в енергетичному балансі невиправдано висока (близько 43%). Проект оновленої "Енергетичної стратегії" планує зменшити споживання газу в Україні, зокрема для виробництва теплової енергії. Таким чином, загальне скорочення споживання природного газу в 2030 році складе близько 8 млрд. м<sup>3</sup> (14%), ніж рівень 2010 року. З 27 млрд. м<sup>3</sup> газу, що використовується для теплопостачання (дані на 2010 рік), це можливо до 2030 року і необхідно (таблиця 1.6): 1/3 замінити на біопаливо (9 млрд куб. м/рік);

- 1/3 заощаджень через ізоляцію будівель, енергозбереження при виробництві, транспортуванні та споживанні теплової енергії (9 млрд. куб. м на рік);

- 1/3 залишаються для цілей теплопостачання, переважно у великих містах (9 млрд куб. м/рік).

Таблиця 1.6 – Можливості скорочення споживання природного газу при виробництві теплової енергії в Україні

Сектори споживання	Споживання газу для теплопостачання, млрд. м <sup>3</sup> /рік			
	2018	2030		
	Споживання ПГ	Споживання ПГ	Економія ПГ	Заміщення ПГ біомасою
ЖКГ	8	4,0	2,0	2,0
Населення	17	4,0	6,5	6,5
Бюджетна сфера	1	0,4	0,3	0,3
ТЕЦ	1	0,6	0,2	0,2
Всього	27	9	9	9

На сьогодні лише близько 10% загального потенціалу біомаси використовується для енергетичних потреб України - 2,7 млн. т у.п. /рік (табл. 1.7). В основному це біомаса на дровах у вигляді дров, тріски, гранул / брикетів (86% від загального обсягу використання біомаси щорічно) та лушпиння соняшнику (8%).

Таблиця 1.7 – Використання біомаси для виробництва енергії в Україні

Вид біомаси / біопалива	Річний обсяг споживання*		Частка в річному обсязі споживання	Частка використання економічного потенціалу
	натуральні одиниці	тис. т у.п.		
Солома зернових культур та ріпаку	94 тис. т	48	1,8%	0,9%
Дрова (населення)	5,0 млн. м <sup>3</sup>	1200	45,1%	
Деревна біомаса (крім споживання населенням)	3,2 млн. т	1089	40,9%	>90%
Лушпиння соняшнику	380 тис. т	208	7,8%	41%
Біоетанол	65 тис. т	60	2,3%	6,1%
Біодизель	18 тис. т	23	0,9%	4,8%
Біогаз з відходів с/г	22,3 млн. м <sup>3</sup>	14	0,5%	4,4%
Біогаз з полігонів ТПВ	31,2 млн. м <sup>3</sup>	21	0,8%	8,1%
Всього		2662**	100%	

\* Експорт гранул/брикетів з біомаси не враховується.

\*\* Узгоджується з даними Державної служби статистики України: 2,68 млн. т у.п. у 2014 р.

На сьогодні в Україні налічується понад 4 тис. сучасних котлів на деревному паливі, понад 100 котлів на соломі та близько 70 котлів на лузгі соняшнику. Існує декілька ТЕЦ на твердій біомасі: 1 - на деревині в системі ЦТ, 2 - на лушпинні соняшника на підприємствах масложирової галузі. Крім того, населення використовує кілька десятків тисяч печей, топків і побутових котлів, які працюють на дровах, відходах деревини та деревних гранулах [6]. Загальна встановлена потужність зазначеного біоенергетичного обладнання перевищує 3650 МВт та 14 МВт (таблиця 1.8).

Таблиця 1.8 – Виробництво енергії з біомаси в Україні, 2018 р.

Сектор / Тип обладнання	Кількість, од.	Встановлена потужність, МВт <sub>т</sub> (+ МВт <sub>е</sub> )	Заміщення ПГ, млрд. м <sup>3</sup> /рік	Виробництво теплоти, тис.Гкал/рік
Населення:				
Традиційні пічки на дровах	50000	500	0,20	1718
Побутові котли на дровах та деревних гранулах 10-50 кВт <sub>т</sub>	50000	1500	0,61	5155
Всього, населення	100000	2000	0,81	6873
ЖКГ та бюджетна сфера:				
Котли на деревині 0,5-10 МВт <sub>т</sub>	690	345	0,14	1186
ТЕЦ на деревині	1	10 (+6)	0,004	69
Всього, ЖКГ та бюджетна сфера	691	355 (+6)	0,144	1255

Продовження табл. 1.8

Промислові та комерційні споживачі:				
Котли на деревині 0,1-5 МВт <sub>т</sub>	2000	1000	0,76	6874
Котли на соломі 0,1-1 МВт <sub>т</sub>	110	55	0,04	378
Котли на лушпинні соняшника	65	195	0,15	1340
ТЕЦ на лушпинні соняшника	3	64 (+8)	0,02	437
Всього, промислові / комерційні споживачі	2178	1314 (+8)	0,98	9029
Всього	102869	3669 (+14)	1,93	17157

### 1.3 Прогноз розвитку біоенергетики в Україні до 2025 р.

Для додаткової заміни 5,27 млрд. м<sup>3</sup>/рік природного газу на біомасу до 2020 року, відповідно до цілей затвердженого Національного плану дій щодо ВДЕ, 12485 МВт + 756 МВт будуть впроваджені в житловому секторі, житлово-комунальні господарстві, промислових та комерційних споживачів.

Для забезпечення необхідного обсягу палива для всіх запланованих біоенергетичних установок необхідне широке освоєння сільськогосподарських відходів (соломи, кукурудзи та стебла і лузги соняшника) та енергетичних культур для паливно-енергетичного балансу України. Крім того, буде потрібно збільшити обсяги різальних робіт - від нинішніх 55-60% річних зросту деревини в Україні до 85-90% річного приросту, як це в даний час практикується в ЄС.

Повна заміна біомасою природного газу для ЖКГ в 2025 році оцінюється в 3,32 млрд. м<sup>3</sup>/рік. На рисунках 1.5-1.8 показано динаміку відповідного зростання потужностей біоенергетичного обладнання за секторами, скорочення споживання ПГ, викидів та створення нових робочих місць [7].

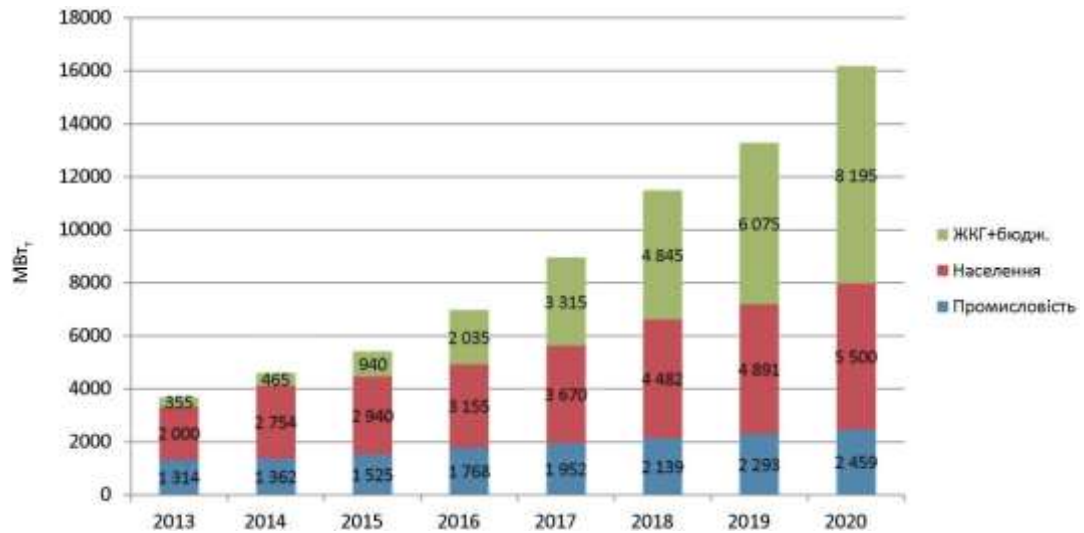


Рисунок 1.5 – Динаміка росту потужності біоенергетичного обладнання в Україні

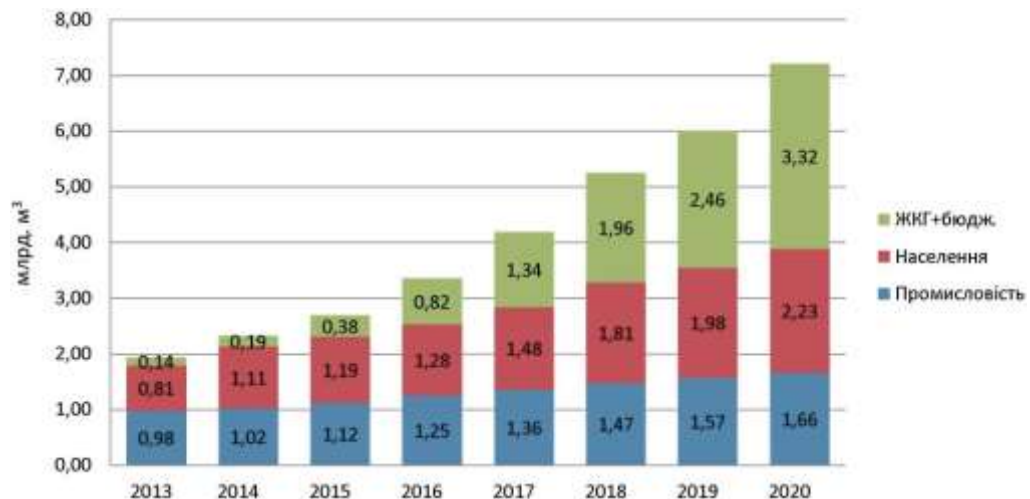
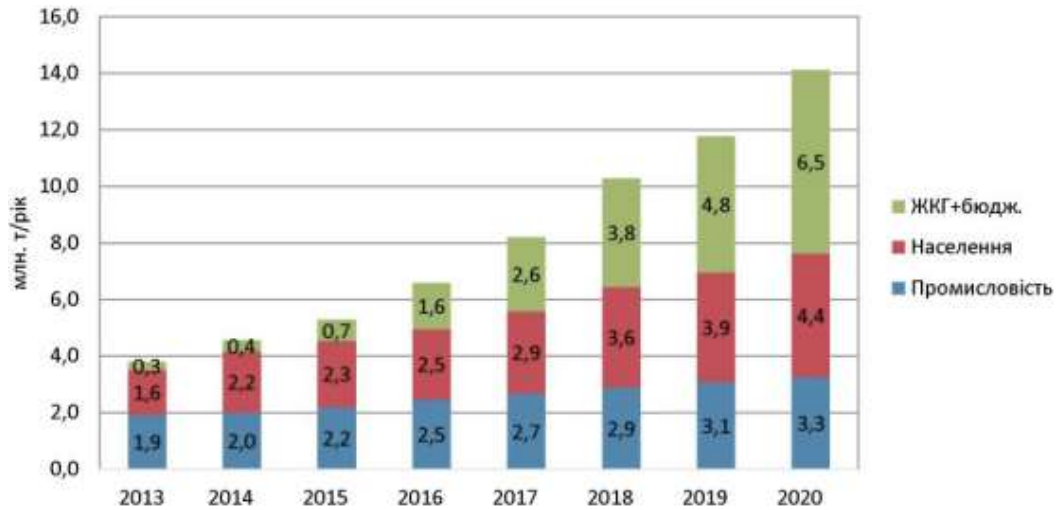
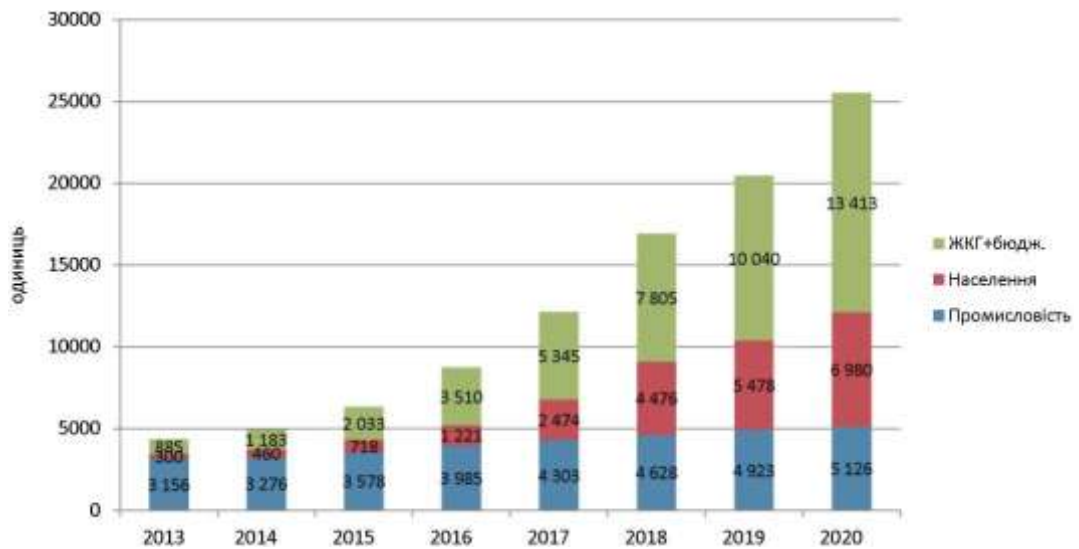


Рисунок 1.6 – Динаміка скорочення споживання природного газу за рахунок біомаси в Україні



Рисинук 1.7 – Скорочення викидів CO<sub>2</sub> при заміщенні природного газу біомасою в Україні



Рисинук 1.8 – Динаміка створення нових робочих місць за рахунок впровадження біоенергетичного обладнання в Україні.

Надзвичайно важливо забезпечити необхідну кількість палива для всіх запланованих біоенергетичних установок. Оцінка розподілу біопалива за видами представлена на рисунку 1.9. З цієї діаграми ясно, що для досягнення поставлених цілей у найближчі роки необхідне широке залучення сільськогосподарських відходів (соломи, кукурудзи, соняшникові стебла) та енергетичних культур у паливно-енергетичний баланс країни.

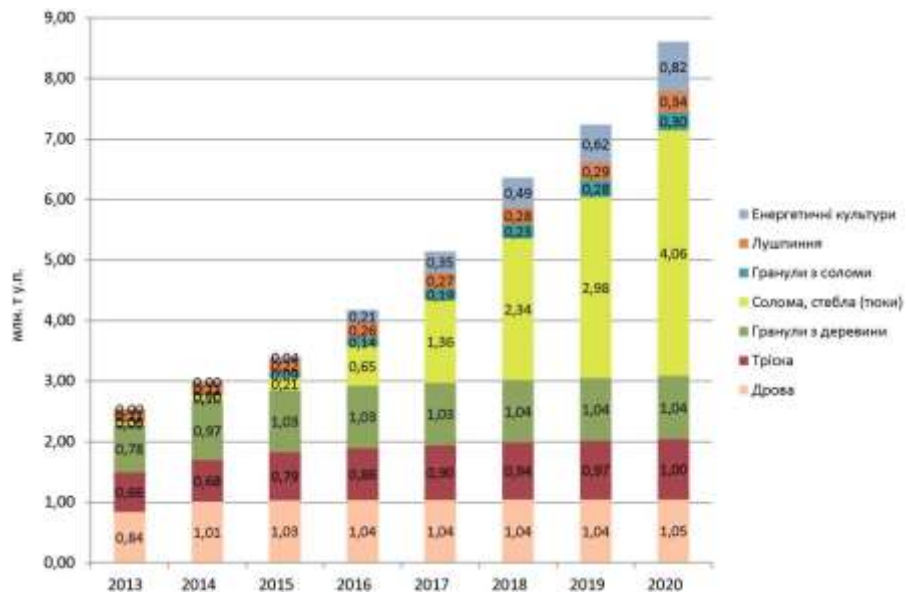


Рисунок 1.9 – Структура біопалив для виробництва теплової енергії в Україні

За прогнозами, у 2025 році для виробництва енергії буде використано близько 0,82 млн. тонн біомаси енергетичних культур. Для України найбільш підходящим для вирощування (з метою отримання твердого біопалива) є верба, міскантус та тополя. Для того, щоб отримати необхідну кількість біопалива з енергетичних культур для їх вирощування, до 2020 року буде задіяно понад 118 тисяч гектарів. Це становитиме лише близько 3% вільних сільськогосподарських земель в Україні (рис. 1.10).

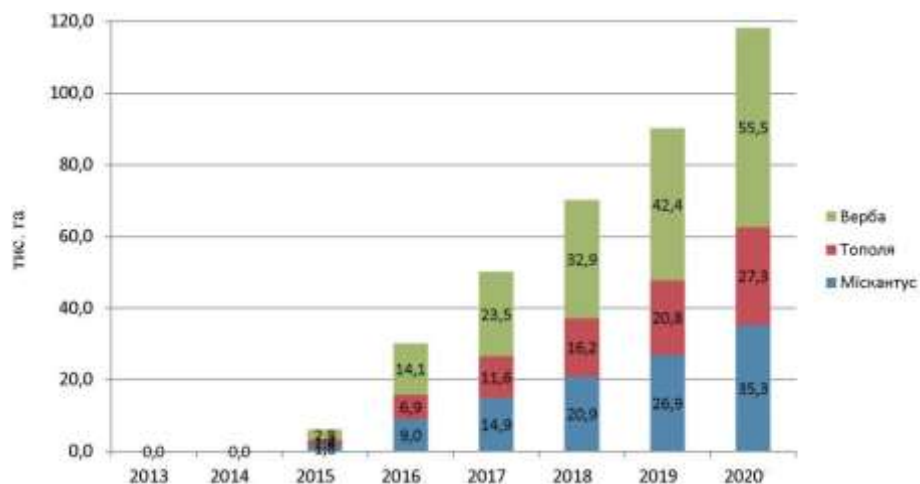


Рисунок 1.10 – Площа під вирощування енергетичних культур в Україні



## 2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИКИ

### 2.1 Огляд поточної ситуації в сільськогосподарському секторі в розрізі вирощування енергетичних культур

Одним із найперспективніших альтернативних джерел енергії на сьогодні є тверда біомаса органічного походження, в тому числі і рослинного, яка є екологічно чистим відновлювальним джерелом енергії. Енергія біомаси еквівалентна 2 млрд, що становить близько 13-15% загального використання первинних енергоресурсів світу. Частка України, за деякими оцінками, становить близько 50 млн тонн, але економічно доцільний потенціал біомаси оцінюється у 27 млн. Значну увагу в світі приділяють проблемі переробки біомаси з метою отримання біопалива. Біомаса в енергетиці може бути використана безпосередньо шляхом спалювання або як паливо - після попередньої переробки на дизельне паливо, етанол або газ.

Джерелом енергетичної сировини можуть бути як побічні продукти рослинного походження (солома, соняшникове лушпиння, стебла кукурудзи тощо), щорічні відходи яких становлять до 50 млн тонн, так і спеціально призначені для цього енергетичні рослини, які є головним абсорбентом вуглекислого газу, зменшуючи його кількість в атмосфері. Вони утворюють високі врожаї біомаси, яку можна було б використати на енергетичні цілі для виробництва біопалива. Залучення цього потенціалу для виробництва енергії може задовольнити близько 12-15% потреб України в первинній енергії.

Енергетичні рослини цінні великим урожаєм і невибагливістю до вирощування. За відносно короткий часовий період можуть давати великі прирости біомаси. В перерахунку на еквівалент енергії витрати на вирощування таких культур значно менші, ніж вартість енергоносіїв, отриманих від традиційних джерел. Використання рослинної біомаси за умови її безперервного відновлення (наприклад, нові лісові насадження після

вирубубвання лісу) не призводить до збільшення концентрації вуглекислого газу в атмосфері.

Вибір тієї чи іншої енергетичної культури залежить від багатьох факторів: тип ґрунтів, місцезнаходження ділянки та доступ до вологи, вид ландшафту тощо. Обов'язково потрібно визначитись зі строками та способами збирання врожаю, його зберіганням, переробкою та транспортуванням (економічно доцільна відстань транспортування біомаси як палива не повинна перевищувати 50 км).

Велика кількість рослин була досліджена для визначення потенційної можливості використання їх у якості енергетичних культур, але тільки небагато видів досягли комерційного рівня і вирощуються на великих площах. Серед них найпоширенішими є: міскантус, світчграс, верба, тополя (висаджують їх приблизно на 10-15 - до 30 років, підготовка ґрунту для їхнього вирощування не потребує великих енергетичних затрат, урожай збирають узимку або навесні з використанням звичайної сільськогосподарської техніки).

На сьогодні в Україні є кілька компаній, що займаються вирощуванням енергетичних культур на комерційному рівні. Ще ряд компаній планують найближчим часом вийти на цей ринок. Деякі з них коротко описані нижче. Компанія “Salix Energy”, що була заснована в 2010 році, має найбільші в Україні плантації енергетичної верби (*Salix Viminalis*), розташовані у Волинській та Львівській областях (> 1500 га). Розводяться 6 сортів верби, в тому числі польські, шведські. В 2013 р. компанія зареєструвала свій власний сорт «Марцияна» (єдиний офіційно зареєстрований в Україні). На 2014-2015 рр. є плани щодо розширення плантацій верби до 2,5-3 тис. га і початку промислового збору врожаю. “Salix Energy” планує збирати тріску з енергетичної верби для виробництва теплової та електричної енергії на території України.

Компанія “Phytofuels” вирощує цілий ряд енергетичних культур (просо прутіподібне, міскантус, верба, сорго цукрове та ін.) на площі понад 35 тис.

га в Полтавській області. Брикети і гранули, вироблені з цих культур, “Phytofuels” поставляє вітчизняним і зарубіжним споживачам. У наукових питаннях компанія тісно співпрацює з Інститутом біомаси та сталого розвитку (м. Полтава) і Університетом Вагенінгена (Нідерланди)<sup>18</sup>. Агрохолдинг KSG Agro, що володіє 65 тис. га земель в Дніпропетровській області, розвиває новий напрямок свого бізнесу – вирощування міскантусу. В 2013 році на 33 га агрохолдингу успішно зійшли маточні плантації культури. В 2014 р. планується висадка ще 400 га міскантусу, а ще через рік загальна площа під цією енергокультурою повинна досягти більше 2000 га. Біомаса міскантусу буде використовуватись для виробництва твердого біопалива.

ТОВ «Аграрна Співдружність» у 2011 р. розпочало реалізацію проекту з вирощування енергетичної верби (*Salix Viminalis*) і виробництва паливних гранул з неї. Земельний фонд проекту – 2000 га, розрахункова виробнича потужність заводу – 24 тис. т/рік.

В Україні також проводиться широка науково-дослідна робота щодо енергетичних культур. Чималий вклад в цей напрямок вносить Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Так, в Інституті ведеться робота з вивчення генофонду верби роду *Salix L.* різного еколого-географічного походження за характеристиками продуктивності, придатності до механізованого догляду і збору, енергетичної цінності. На дослідній ділянці Інституту висаджено 11 видів і 3 гібрида *Salix L.*. Досліджуються питання врожайності цукрового сорго, міскантусу та інших культур. Підготовлено Атлас високопродуктивних біоенергетичних культур.

Незважаючи на досить активний в останні роки розвиток вирощування енергетичних культур в Україні, існує ряд проблем, які вимагають розв'язання. Одна з них – відсутність енергокультур в класифікаторі сільськогосподарських культур.

На сьогодні енергетична верба включена в класифікатор як технічна культура, тоді як міскантусу та інших енергокультур там немає взагалі. Це може створити юридичні та інші проблеми на певному етапі господарської

діяльності виробників цих культур. Крім того, трапляється, що виробники енергокультур стикаються з необхідністю сплати ПДВ при оформленні своїх відносин з інвестором, тоді як вони ще не виробили ніякої продукції. Це пов'язано з тим, що продукцією вважаються саджанці, вирощені самою компанією для використання на своїх же плантаціях. Ще одна проблема полягає в тому, що виробник енергокультур не вважається «сільгоспвиробником» і не має відповідних пільг (наприклад, по оренді техніки), поки він не здійснив перший продаж свого врожаю. Враховуючи, що врожай верби і тополі збирається кожні 3-4 роки, період до першого продажу є досить тривалим. Для прискорення розвитку даного сектора в Україні Біоенергетична асоціація України вважає за необхідне запровадити механізми державного стимулювання вирощування енергетичних культур. Один із пропонованих механізмів – субсидування енергоплантацій на рівні 10 тис. грн./га. Іншим інструментом може бути часткове покриття державою процентних ставок комерційних банків. Рекомендується передбачити відповідне фінансування з Держбюджету України в 2015-2017 рр. За оцінками БАУ в Україні є 3-4 млн. га сільськогосподарських земель, що не використовуються (за даними 2012 року – 3,5 млн. га), та які можна задіяти для вирощування енергетичних культур. Рекомендується для цього напряму використовувати до 2 млн. га, розділивши їх (відповідно до одного з можливих сценаріїв<sup>21</sup>) між кукурудзою на біогаз (1 млн. га), вербою (0,5 млн. га), тополею (0,2 млн. га) і міскантусом (0,3 млн. га). Реалізація такого сценарію дасть можливість щорічно отримувати близько 3,3 млрд. м<sup>3</sup> біометану з силосу кукурудзи і 6,3 млн. тонн за рахунок біомаси верби, тополі й міскантусу.

За оцінкою деяких представників аграрного сектора в Україні є близько 8 млн. га земель, доступних для вирощування енергокультур. На протязі останніх років в Україні значна увага приділяється ріпаку як сировині для отримання біодизелю, що містить від 38 до 50 % рослинної олії. Так, за період 2004 – 2015 рр. посівні площі в Україні під ріпаком збільшилися зі 110

до 1030 тис. га, тобто у 9,4 рази (у Вінницькій області від 8,7 тис га до 103 тис га, а на перспективу до 160 тис га тобто 15,3 рази). Розрахунки експертів та досвід розвинених країн (Австрія, Німеччина, США, Франція, Чехія) підтверджують, що виготовлення біодизельного палива з насіння ріпаку є найефективнішим варіантом забезпечення сільськогосподарських товаровиробників енергетичними ресурсами. За рівнем виробництва високоенергетичних культур серед інших областей України Вінниччина входить в десятку кращих. Такі зміни в продуктивності енергомістких культур дадуть можливість Вінниччині в перспективі виробляти до 500 тис тонн ріпаку, 7,5 млн тонн цукрових буряків, 400 тис тонн сої, 300 тис тонн соняшнику, що виведе Вінницьку область в одну з лідерів за обсягами виробництва серед областей України.

## 2.2 Аналіз можливостей використання сільськогосподарських земель для вирощування енергетичних культур

В правовому полі України існує біля тридцяти законодавчих актів, які було прийнято за роки незалежності, що врегульовують відносин у сфері виробництва та споживання біопалива. Але перші прийняті закони мають переважно декларативний характер в яких не передбачено фінансових механізмів підтримки розвитку відновлюваних джерел енергетики (ВДЕ). До ключових нормативно-правових актів, що стосуються питання біоенергетики можна віднести:

- Закон України «Про альтернативні джерела енергії» (№ 555-IV від 20.02.2003);
- Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення «зеленого» тарифу» (№ 601-VI від 25.09.2008);
- поправки щодо «зеленого» тарифу – Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» (№ 1220-VI від 01.04.2009);

- Закон України «Про внесення змін та доповнень до деяких законодавчих актів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива» (№ 1391-VI від 21.05.2009);

- Енергетична стратегія до 2030 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 р. № 145-р (оновлена 24.07.2013 р.);

- Концепція Державної цільової науково-технічної програми розвитку виробництва ви використання біологічних видів палив, затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12.02.2009 р. № 276-р.

Проводячи аналіз існуючої законодавчо-нормативної бази, можна відмітити, що процес розвитку біоенергетики суттєво уповільнює недосконалість стратегії та чітких дієвих механізмів реалізації поставлених завдань. Результатом цього є низький рівень інвестицій і конкурентоспроможності приватних підприємств з виробництва та постачання альтернативних енергоносіїв. Також до факторів, які гальмують зростання галузі, можна віднести невідповідність стандартів та системи сертифікації біопалива згідно критерії сталості використання біомаси.

За оцінкою експертів найбільш дієвий, що запроваджує реальну фінансову підтримку виробникам електроенергії з ВДЕ, є закон про «зелені» тарифи, в якому передбачено ряд пільг для виробників та споживачів біопалив. Але він також не повною мірою висвітлює питання стосовно порядку застосування «зеленого» тарифу, зокрема використання біопалива та біомаси невеликих об'ємів в приватному секторі. В законі не врегульовані питання "зелених" тарифів для енергії, виробленої з біогазу та твердих побутових відходів.

Відповідно до вимог Земельного кодексу України землями сільськогосподарського призначення визнаються землі, надані для потреб сільського господарства або призначені для цих цілей. Це найважливіша із усіх категорій земель. Головною особливістю її є те, що земля тут виступає в

якості основного засобу виробництва продуктів харчування і кормів для тваринництва, а також сировини для промисловості.

До складу земель сільськогосподарського призначення входять:

- сільськогосподарські угіддя (рілля, багаторічні насадження, сіножаті, пасовища та перелоги);
- несільськогосподарські угіддя (господарські шляхи і прогони, полезахисні лісові смуги та інші захисні насадження, крім тих, що віднесені до земель лісового фонду, землі під господарськими будівлями і дворами, землі тимчасової консервації) ( 50, ст. 21-22).

До складу земель сільськогосподарського призначення входять також особливо цінні продуктивні землі з високородючими ґрунтами. Це - чорноземи нееродовані несолонцюваті суглинкові на лесових породах, лучно-чорноземні незасолені несолонцюваті суглинкові ґрунти, темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені па лесах і глеюваті, бурі гірсько-лісові та дерново-буроземні глибокі і середньоглибокі, підзолисто-дернові суглинкові ґрунти, коричневі ґрунти Південного узбережжя Криму, дернові глибокі ґрунти Закарпаття.

Особливо цінні продуктивні землі підлягають особливій охороні, збереженню і відтворенню їх родючості у процесі сільськогосподарського використання.

До складу правового режиму земель сільськогосподарського призначення входить:

- надання земель у власність та користування;
- вилучення сільськогосподарських земель із користування;
- надання прав громадянам та юридичним особам щодо користування земельними ділянками;
- визначення обов'язків сільськогосподарських землекористувачів.

Землі сільськогосподарського призначення передаються у власність або надаються у користування:

- громадянам - для ведення особистого селянського господарства, садівництва, городництва, сінокосіння та випасання худоби, а також для організації товарного сільськогосподарського виробництва;

- сільськогосподарським підприємствам - для організації товарного сільськогосподарського виробництва;

- сільськогосподарським науково-дослідним установам та навчальним закладам, сільським професійно-технічним училищам та загальноосвітнім школам - для дослідних і навчальних цілей, пропаганди передового досвіду, для ведення сільського господарства;

- несільськогосподарським підприємствам, установам та організаціям, релігійним організаціям та об'єднанням громадян - для ведення підсобного сільського господарства.

Державні і комунальні сільськогосподарські підприємства, установи та організації одержують земельні ділянки із земель права державної та комунальної власності у постійне користування для науково-дослідних, навчальних цілей та організації товарного сільськогосподарського виробництва.

У разі ліквідації державного чи комунального сільськогосподарського підприємства, установи, організації землі, які перебували у їх постійному користуванні, повертаються власнику.

На жаль, в Україні в останній час спостерігається стійка тенденція скорочення площ продуктивних сільськогосподарських угідь. Одночасно збільшується кількість так званих порушених земель.

В Україні існує ряд проблем, пов'язаних із недосконалістю законодавства у сфері вирощування енергетичних культур. Згідно законодавства України, плантації швидкорослої верби можна створювати на землях сільськогосподарського призначення.

20 лютого 2003 року був прийнятий Закон України «Про альтернативні джерела енергії». Цей Закон визначає правові, економічні, екологічні та організаційні засади використання альтернативних джерел енергії та



сприяння розширенню їх використання у паливно-енергетичному комплексі. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 14 січня 2000 року визначає правові, соціальні, економічні, екологічні та організаційні засади виробництва (видобутку) і використання альтернативних видів палива, а також стимулювання збільшення частки їх використання до 20 відсотків від загального обсягу споживання палива в Україні до 2020 року. Закон України від 26 грудня 2002 року «Про насіння і садивний матеріал» регулює виробництво, реалізацію та використання насіння і садивного матеріалу сільськогосподарських, лісових, квітково-декоративних, а також лікарських рослин, на які затверджено державні стандарти, визначають правові відносини між виробниками та споживачами насіння і садивного матеріалу та охороняють їх права.

Також, розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 лютого 2009 р. № 276-р схвалено концепцію Державної цільової науково-технічної програми розвитку виробництва та використання біологічних видів палива. Ця програма спрямована на диверсифікацію джерел енергії, використання потенціалу аграрного виробництва та переробної промисловості шляхом запровадження та використання біотехнологій, технологій переробки органічної сировини, в тому числі побутових і промислових відходів.

Уряд схвалив розпорядження від 8 вересня 2014 року «Про затвердження плану заходів з імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС». Впровадження плану забезпечить адаптацію законодавства України до законодавства ЄС в сфері розвитку відновлюваних джерел енергії та активізує співпрацю з інвесторами і донорами щодо фінансування проектів з відновлюваних джерел енергії. План передбачатиме розроблення деяких нормативно-правових актів та технічних вимог до виробництва і використання біопалив та біорідин, критеріїв сталості для рідкого та газоподібного палива, що виробляється з біомаси та ін.

З 1 лютого 2011 року Україна стала повноправним членом Енергетичного Співтовариства. Країна зобов'язалась імплементувати цілу

низку європейських директив та регламентів, які б гармонізували її законодавство в сфері енергетики з європейською нормативно-правовою базою. Підписаний Україною Протокол про приєднання до Енергетичного Співтовариства містить чіткий перелік нормативно-правових актів, які мали бути враховані українським законодавством, і чіткі терміни його реалізації. Зміни мали бути запроваджені у сферах використання відновлювальних джерел енергії та збереження навколишнього середовища.

Враховуючи сприятливі ґрунтово-кліматичні умови України (рис. 2.1) для вирощування високопродуктивних енергетичних культур, перспективним напрямком біоенергетики є фітоенергетика, яка базується на біомасі рослинного походження. Результатом використання біомаси є виробництво сировини для біоетанолу, біогазу та твердих видів біопалива у вигляді паливних гранул та брикетів.

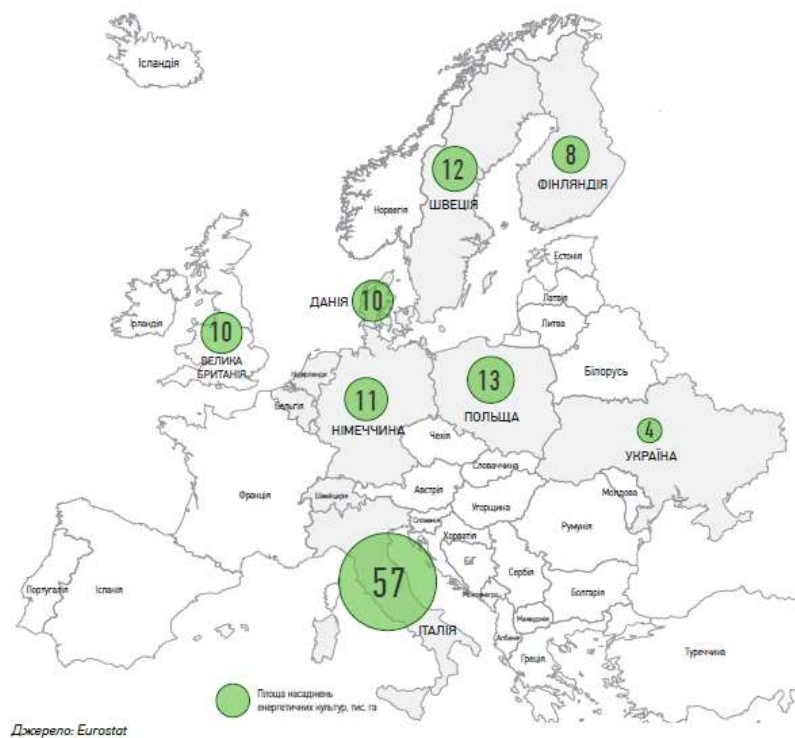


Рисунок 2.1 – Площа наявних енергетичних культур у деяких країнах Європи

За оцінками експертів, в Україні є 15 млн деградованих та малопродуктивних земель різних видів призначення. З них щонайменше 4 млн га необроблених земель сільськогосподарського призначення - придатних для енергетичних культур. За оцінками експертів, ще є щонайменше 4 млн га необроблених земель сільськогосподарського призначення, з них – близько 1 млн га, придатних для енергетичних культур (рис. 2.2).

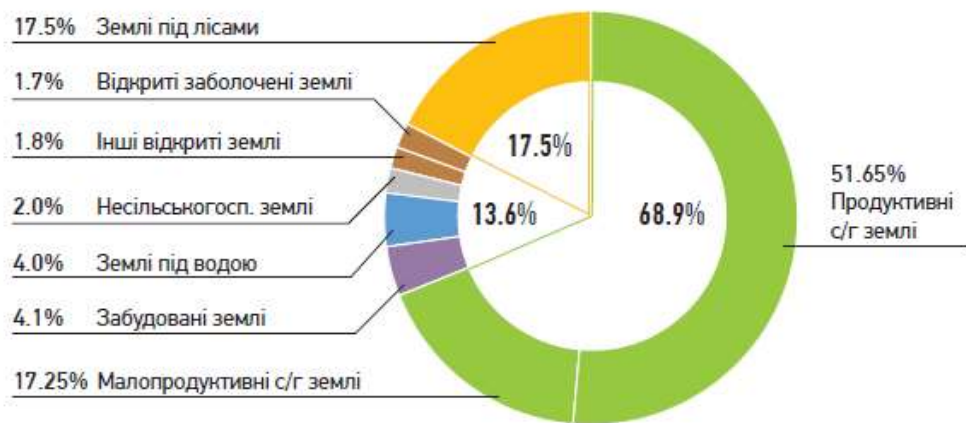


Рисунок 2.2 – Структура земельних угідь України

### 2.3 Екологічні особливості вирощування енергетичних культур

Загалом у світі, на сьогодні відомо близько 20 видів швидкоростучих рослин, які можна вирощувати для отримання рослинної біомаси: енергетична верба, енергетична тополя, евкаліпт, міскантус та інші (рис. 3.3).

Порівняльна характеристика енергетичних рослин для виробництва твердого біопалива та перспективні біоенергетичні культури для вирощування в Україні наведені в табл. 2.1-2.2.

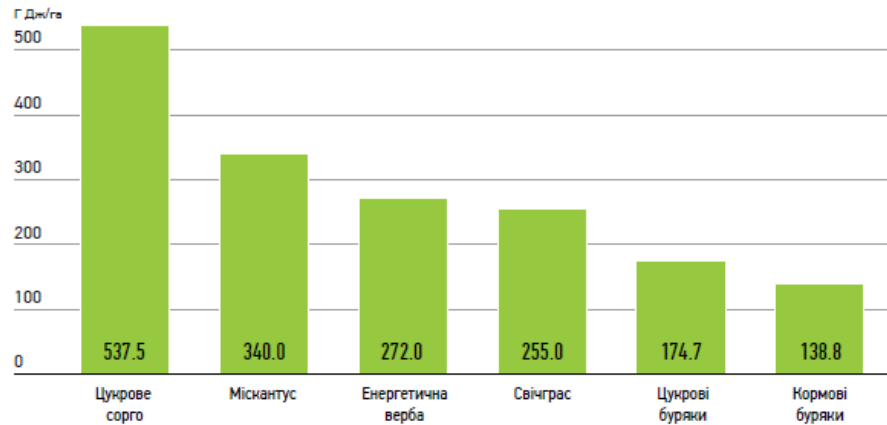


Рисунок 2.3 – Енергетична продуктивність різних сільськогосподарських культур

Вирощування енергетичних культур – це фактично аграрний бізнес, за технологією найбільш схожий до вирощування цукрового буряка.

Таблиця 2.1 - Порівняльна характеристика енергетичних рослин для виробництва твердого біопалива

Культура	Вихід сухої маси, т/га/рік	Нижча теплота згорання, 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
Свічграс	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

Таблиця 2.2 – Перспективні біоенергетичні культури для вирощування в Україні

Енергетична культура	Вимоги до ґрунту, рН	К-ть опадів, мм/рік	Температура	Життєвий цикл	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 прутоподібне	5,5-7	380-760	---	10-15	Щорічно	7-14
Сорго багаторічне	5-8,5	460-760	---	8-10	Щорічно	10-17
Сильфій пронизанолистий	6-7	>600	5-40	15-20	Щорічно	15-20

### 2.3.1 Енергетична верба

Енергетична верба – екологічно чиста сировина, використовується як відновлюване тверде біопаливо органічного походження, яке при згорянні в котлах не порушує баланс вуглецю в атмосфері (рис 2.4).



Рисунок 2.4 – Плантація енергетичної верби

Це різновид твердого біопалива, придатний для промислового виробництва теплової та електричної енергії за ціною, удвічі меншою порівняно з використанням газу. Урожайність у перерахунку на калориметричні показники сягає 20 т сухої маси з 1 га. Енергетична верба позитивно впливає на екологію та довкілля. Один гектар плантації поглинає з повітря понад 200 т CO<sub>2</sub> за три роки.

Рослина підходить для засадження на забруднених та малопродуктивних землях й ефективно застосовується в протиерозійних заходах для укріплення ґрунтів. 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. Навколо плантацій збільшується біологічне різноманіття флори та фауни.

### 2.3.2 Енергетична тополя

Енергетична тополя належить до багаторічних деревовидних енергетичних культур. Технологія вирощування енергетичної тополі схожа до технології вирощування енергетичної верби.



Рисунок 2.5 – Плантація енергетичної тополі

Агротехнологічні вимоги: густота посадки – до 9 000 шт./га, а оптимальна довжина саджанця – 25 см, при посадці щонайменше одна брунька саджанця має залишитися над поверхнею землі. Рослину висаджують тільки навесні. 10 т тріски з тополі заміщує 2 500 м<sup>3</sup> природного газу.

### 2.3.3 Міскантус

Міскантус – багаторічна трав'яниста рослина сімейства злакових. У дикому стані він росте і використовується для опалення на території майже всієї Південно-Східної Азії і Центральної Америки (рис. 2.6). У Європу міскантус уперше потрапив у XVI столітті з Китаю, де використовувався як протиерозійна рослина. Спочатку він вважався декоративною рослиною, і лише в 1935 році датський науковець Ансель Ольсен привіз японський клон міскантуса, який став вихідним пунктом для селекції рослин, що зараз використовуються для промислового вирощування у всій Європі. Грунтова селекційна робота в цьому напрямку розпочалася в 1983 році на станції селекції рослин у Данії.

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). Урожайність сухої біомаси становить 20-25 т/га, що може замінити 10-14 т вугілля, а 1 т сухої маси міскантуса еквівалентна 750 кг вугілля.



Рисунок 2. 6 – Плантація міскантусу

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.

#### 2.3.4 Світчґрас (просо прутоподібне)

Світчґрас (Switchgrass - *Panicum virgatum* L.). Це прямостояча теплолюбна багаторічна рослина (C<sub>4</sub>), яка росте в преріях і схожа на кущовий злак. Вона розмножується як насінням, так і кореневищем. Рослина має червонуваті прямостоячі стебла, які ростуть заввишки 0,5-2,7 м. Довга коренева система може досягати 3 м у глибину (рис. 2.7).





Рисунок 2.7 – Плантація світчграсу

Досить довгий час в Америці та Африці світчграс використовували для консервації ґрунтів та як кормову культуру. Його вирощують для боротьби з ерозією ґрунту та для збереження природних умов, а в Європі - як декоративну рослину.

Починаючи з кінця 80-х рр. різновиди цієї культури почали розглядати як трав'яну енергетичну культуру. Основними способами використання світчграсу в США та Канаді є: виробництво електроенергії шляхом газифікації, комбіноване спалювання на вугільних заводах та виробництво етанолу для пального. Нещодавно використання цієї енергетичної культури розширилося виробництвом целюлозних і волокнистих ущільнених композиційних матеріалів. Світчграс вирощують на різних ґрунтах, він не вибагливий до вмісту вологи та поживних речовин у ґрунті і має позитивний вплив на навколишнє середовище. Перевагами світчграсу є: незначна потреба використання пестицидів, боротьба з ерозією ґрунту, сприяння збереженню природних умов та потенціал до поліпшення якості ґрунту. Зменшується ерозія та рівень використання пестицидів, відповідно, на 95 і 90%. Є можливість використання земель, непридатних для вирощування сільськогосподарських культур. Висока стійкість культури до хвороб та шкідників. Має низьку собівартість та малі ризики вирощування, потребує

незначних вкладень, даючи високі врожаї біомаси навіть на непродуктивних землях. Урожайність світчграсу збільшується поступово з менш ніж 2 т/га першого року використання до 12 т/га - другого і до 18 т/га - третього року вирощування. Світчграс більш розвинений в Східно-Лісостеповій зоні України.

### 2.3.5 Сорго

Сорго вирізняється високою пластичністю та пристосованістю до ґрунтових і кліматичних умов (рис. 2.8). Це теплолюбна посухостійка рослина, яка добре витримує підвищену концентрацію солей у ґрунті (засолення), зростає на територіях із низькою вологістю та малородючих ґрунтах.



Рисунок 2.8 – Плянґація сорго

Це високорослі рослини заввишки 4-5 м, котрі належать до групи (С4). З одного гектара можна збирати 90-100 тонн цукроносної біомаси. До кінця вегетації в соку стебел накопичується до 16-22% цукрів. Може забезпечити отримання 40-50 т/га соку та до 25-30 т/га сухої маси, яка використовується для виробництва етанолу, бутанолу та біогазу. Віджата зелена маса використовується для отримання брикетів і пеллет. Гектар посівів цукрового сорго за вегетаційний період 125-135 днів засвоює до 55 тонн вуглекислого газу та виділяє в атмосферу близько 40 тонн кисню.

### 3 ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ ВИРОЩУВАННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

#### 3.1 Економічна ефективність вирощування біоенергетичних культур

Для визначення доцільності інвестування у біоенергетичні сільськогосподарські та лісові культури цінну інформацію надає показник енергетичної ефективності технології їх вирощування – енергетичний коефіцієнт, який визначається через співвідношення акумульованої енергії в їх урожаї із енергією, затраченою на вирощування біомаси.

У табл. 3.1 наведено дані щодо продуктивності біоенергетичних культур на дослідних плантаціях та обсяг енергії, акумульованої в урожаї сухої біомаси. Як бачимо, на плантаціях енергетичної верби обсяг сухої біомаси в середньому за п'ятирічний період становив 27,3 т·га<sup>-1</sup>, а міскантусу – 25,3 т·га<sup>-1</sup>. Відповідно і вихід енергії з одиниці площі був дещо більшим у енергетичної верби (573,3 ГДж·га<sup>-1</sup> проти 516,2 ГДж·га<sup>-1</sup>). Затрати сукупної енергії на вирощування біоенергетичних культур визначаються для кожного агротехнічного заходу (луцення, оранки, внесення добрив, весняного обробітку ґрунту, посіву (садіння), догляду за посівами, збирання врожаю). Визначають також енергію, акумульовану в паливно-мастильних матеріалах, добривах, насінні, пестицидах, машинах і механізмах, транспортних засобах тощо. Встановлено, що значна частина енергозатрат припадає на садивний матеріал, пальне, добрива та гербіциди. З огляду на це слід упроваджувати енергоощадні технології вирощування біоенергетичних культур, у системі яких щораз більше значення відіграє диференційоване використання природних ресурсів, техногенних факторів і адаптивного потенціалу культивованих видів і сортів рослин, розробка сортової агротехніки, сучасні методи боротьби з бур'янами, шкідниками й хворобами. Також одним із шляхів зменшення енергозатрат у біоенергетичному рослинництві є

мінімізація обробітку ґрунту та вдосконалення технологічних операцій догляду. Крім того, варто зазначити, що економічно та енергетично доцільна відстань транспортування біомаси як палива не повинна перевищувати 50 кілометрів [8].

Таблиця 3.1 - Продуктивність багаторічних біоенергетичних культур третього року вегетації та вихід енергії

Енергетичні культури	Урожай сирої біомаси, т·га <sup>-1</sup>	Суша речовина	Урожай сухої біомаси, т·га <sup>-1</sup>	Вихід твердого палива, т·га <sup>-1</sup>	Вихід енергії, ГДж·га <sup>-1</sup>
Верба енергетична	54,6	50,5	27,3	32,8	573,3
Міскантус	58,8	42,6	25,3	30,3	516,2

Одним із варіантів енергетичного коефіцієнта є критерій чистого енергетичного коефіцієнта (net energy return, *NER*) біопалива, отриманого з таких рослин. Він розраховується як відношення сукупної енергії, акумульованої в одиниці біопалива, до величини енергозатрат, необхідних для здійснення усіх технологічних процесів виготовлення біопалива (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Чистий енергетичний коефіцієнт біопалива, отриманого з біоенергетичних культур

Культура	Вид біопалива	Чистий енергетичний коефіцієнт ( <i>NER</i> )
Енергетична верба	паливна тріска	16,6-55,3
Міскантус	суха біомаса	20,8-54,3

Як бачимо, енергетична верба і міскантус характеризуються, у зіставленні з іншими біоенергетичними культурами, високими енергетичними коефіцієнтами, які можуть досягати значень 54,3 і 55,3. Це свідчить про значну енергетичну ефективність інвестування у плантації вищезгаданих біоенергетичних культур.

Показники економічної ефективності проектів виробництва енергетичних культур оцінювали за фактичними витратами, здійсненими в досліджах, а при їх відсутності – за відповідними нормативами. Для цього використовували технологічні карти, складені для умов інтенсивної технології виробництва [5; 7; 8]. У досліджах передбачалась традиційна система основного обробітку ґрунту – оранка з обертанням пласта. Припускалося, що інвестор володіє необхідним технічним парком машин і причіпного обладнання. При цьому технологічні засоби, обладнання, знаряддя є в основному вітчизняного виробництва, і вони повністю забезпечують дотримання агротехнічних вимог, а обсяги внесення добрив та засобів захисту відповідають потребі рослин для отримання високого врожаю біомаси. Ціни на техніку, матеріали, сировину, продукцію тощо приймали станом на 2017 рік. У розрахунках використовували дисконту ставку 22,5 %, визначену кумулятивним способом, враховуючи відсоток доходності облігацій внутрішньої державної позики (14,5 %) та премію за ризик (8 %).

Економічну ефективність інвестування в біоенергетичну галузь оцінювали для кожної біоенергетичної культури за двома сценаріями: сценарій А – інвестор вкладає в проект власні кошти, Б – плантацій (міскантусу – 35 %, верби – 60 %) (Додаток В.1).

Як свідчать результати інвестиційного аналізу, для обох проектів варіанти А виявилися неефективними за усіма показниками. Чистий дисконтований прибуток (NPV) від інвестицій є від'ємним як і у плантацію міскантусу (- 1613 тис. грн), так і у плантацію енергетичної верби (-1252 тис. грн), а індекс рентабельності інвестицій (PI) у обох випадках менший за одиницю (відповідно 0,722 і 0,382).

Цілком логічно, що і дисконтований термін окупності інвестицій (DPP) є більшим за тривалість життєвого циклу обох проектів. Серед причин неефективності таких біоенергетичних проектів можна назвати несприятливі макроекономічні умови їх реалізації, які обумовлюють нині високу ставку дисконтування, а також необхідність значних початкових інвестиційних та операційних витрат на створення плантацій, низькі ціни на біомасу обох енергетичних культур на внутрішньому ринку біопалива. Також відзначають низьку інвестиційну привабливість біоенергетичних проектів із закладання вербових плантацій та називають основною причиною цього високу ставку дисконтування [9].

Аналіз ефективності інвестицій у біоенергетичні плантації ще раз засвідчив, що розвиток біоенергетики потребує (особливо на перших етапах становлення) фінансової підтримки з боку держави, місцевих органів самоврядування, недержавних фондів та міжнародних організацій. Результати інвестиційного аналізу сценаріїв Б для обох проектів (Додаток В.3) свідчать про можливість їх виходу на прибутковий рівень за умови державної фінансової підтримки у формі відповідно, для міскантусу 35 %-го, для верби 60 %-го відшкодування витрат на створення плантацій. З огляду на це нині актуальним є опрацювання державних програм фінансової підтримки створення плантацій біоенергетичних культур та законодавчих механізмів їх імплементації. При цьому варто послуговуватися досвідом інших країн щодо впровадження фінансових механізмів підтримки біоенергетичної галузі, зокрема США, де вони успішно функціонують у межах наступних федеральних програм: Conservation Reserve Program (CRP), Conservation Reserve Enhancement Program (CREP), Federal renewable energy tax credits і Renewable Portfolio Standards (RPS) [18]. Такі механізми суттєво здешевлюють виробництво біоенергії і роблять її конкурентною на загальному енергетичному ринку.

### 3.2 Перспективи вирощування павлонії як ефективної швидкоростучої енергетичної культури

Мало поширеною але надзвичайно ефективною є така енергокультура як павлонія. Павлонія (лат. Paulównia, сімейство Павлонієві) або Адамове дерево - багаторічна високоросла (до 15 - 20 м у висоту) і швидкоростуча рослина з дуже великими листками (від 20 см до 50 см) і гарними запашними суцвіттями (до 30 - 50 см довжиною) з ніжно-фіолетових (іноді білих) квітів. Поширена в Північній Америці, Європі та Азії як цінна садово-паркова культура для регіонів з теплим і вологим кліматом (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Плантація павлонії

Останнім часом, з пошуком альтернативних джерел енергії, воно знайшло велику популярність в якості сировини в біоенергетиці.

Темпи зростання дерева випереджають всі існуючі в світі деревні рослини, і вже в 8-9-річному віці його деревина досягає повної зрілості. Кора сіро-коричнева, досить гладка, без тріщин. Колір деревини попелястого блідо-жовтого. Деревина прямошаруватої, з яскравим і виразним красивим малюнком прямих волокон і зернистою текстурою, з блиском, легка, без

запаху. Гладкість деревини і відсутність вузлів є показником якості деревного матеріалу, ідеальним для обробки стель в будівництві, зовнішніх і внутрішніх фасадів, терас, створення меблів для дому та саду [17].

Павловнія улюблене дерево екологів. Це дерево володіє всіма характеристиками, які можуть покращити екологічний стан нашої планети.

Лісові ресурси - важливий ресурс біосфери. Лісові ресурси включають в себе не тільки деревину, до них варто віднести такі корисні властивості, як здатність оздоровлювати людини, зберігати водні запаси, регулювати клімат, протистояти ерозії ґрунтів.

Павлонію використовують для створення захисних «зелених поясів» навколо міст. Завдяки прискореному зростанню і великим листям, особливо в перші роки розвитку, перетворює CO<sub>2</sub> в кисень у багато разів швидше, ніж будь-яке інше дерево. Павловнія не вибаглива до якості ґрунту, легко адаптується до різних її видів. Захист ґрунтів від ерозії - одна з найважливіших умов для прогресивного зростання врожайності вирощуваних культур в сільському господарстві. Тому важко переоцінити всю важливість цієї проблеми з точки зору охорони і раціонального використання земельних ресурсів планети. В ЄС і США для рекультивації і захисту від ерозії, вже більше 30 років успішно використовують павлонію.

Ще одна цінна якість павловнії: завдяки її стрімкого зростання і активному розвитку кореневої системи, насадження цієї культури здатні запобігти ерозійні явища в родючих ґрунтових горизонтах, відновити в найкоротші терміни постраждалі від пожеж, зсувів, селів та інших природних руйнувань ділянки землі. Значна кількість її біомаси, що потрапляє в ґрунт після листопаду, збагачує ґрунт корисними органічними речовинами. Насадження павловнії запобігають ерозії ґрунтів в основному завдяки своїй кореневій системі якорного типу (рис. 3.2).



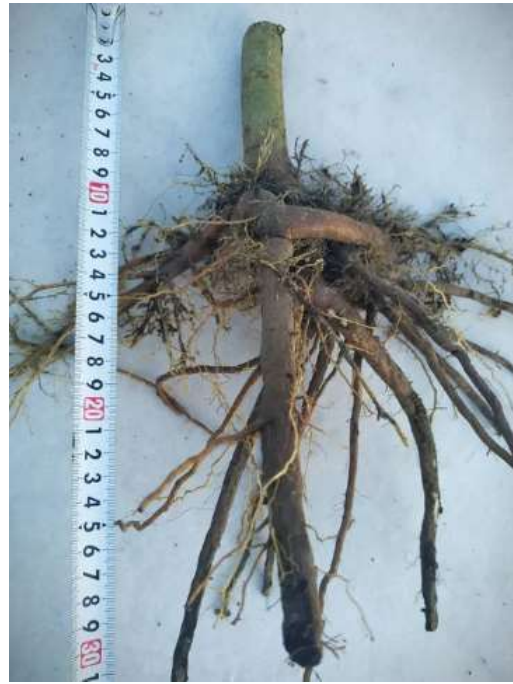


Рисунок 3.2 – Коренева система павловнії

Також завдяки незвичайним якостям павловнії, такі як швидке зростання, великий розмір листя, красива крона, ряс нецвітіння і невибагливість, роблять її виключно підходящою для створення парків і скверів.

На сьогоднішній день трендом в деревообробній промисловості є інвестиції в нові технології та ресурсозбереження. Технології плантаційного вирощування швидкозростаючою деревини дозволяють за 5 років отримувати якісну ділову деревину для виробництва пиломатеріалів, паркету, меблів та інших виробів, зберігаючи інші дерева, термін відтворення яких становить від 50 років, зберігаючи і відновлюючи ресурси, захищаючи навколишнє середовище. Гравці світового ринку деревообробки вважають, що тенденція розвитку деревообробної промисловості - створення виробництв з відновлюваної сировинної бази. Для виробництва екологічних продуктів, матеріалів і сировини з швидкозростаючою деревини непотрібні якісні землі сільгосп призначення. Природна невибагливість і розроблені технології по висадці готових саджанців павловнії у відкритий ґрунт дозволяють використовувати малородючі землі, які не будуть конкурувати з

землями, що використовуються для вирощування сільськогосподарських культур. В Україні велика кількість не використовуваних земель сільгосп призначення. Відновлення незатребуваних земель в господарському обороті означає використання найпотужнішого ресурсу в сталий розвиток сільських і міських територій. Перевага цієї деревини полягає в швидкості росту, відповідно, в можливості отримання матеріалу за більш короткий термін. Сучасні технології плантаційного вирощування для виробництва ділової деревини дозволяють за 5 - річний період з площі в 1 Га отримати 400-600м<sup>3</sup> якісної ділової деревини [18].

Деревина павловнії є одним з найлегших натуральних деревних матеріалів в світі. Маса деревини (при вологості 12%) 300-310 кг / м<sup>3</sup>. Деревина павловнії широко використовується в промисловості при виготовленні деталей, у яких вирішальне значення має низька вага: для створення авіаційних конструкцій, для виробництва морських суден, яхт, човнів для змагань, дощок для серфінгу, сноубордів і лиж. Дуже цінується як матеріал для ящиків, палет для транспортування, так як зменшує загальну вагу вантажів. Це дозволяє зменшувати витрати палива, збільшувати обсяг транспортованої продукції, і в цілому веде до зниження цін на транспортування, що є основною метою компаній, займаються логістикою.

Показник межі міцності при стисненні вздовж волокон деревини становить 281 кгс / см<sup>2</sup>. Деревина має найвище співвідношення між міцністю і масою серед деревних видів. Відповідно, деревину павловнії відносять до середнього класу міцності і використовують для оздоблення приміщень, підлогових покриттів, меблів. Твердість за методом Янке становить 400-410 кг / см<sup>2</sup> і дозволяє відносити деревину павловнії до 3-4 класу твердості. Категорії «м'яка» і «початкової твердості». Найявні показники твердості і щільності дають ряд переваг цієї деревини перед іншими використовуваними деревними матеріалами. Так, наприклад, деревина павловнії легко піддається обробці, - це ідеальний матеріал для найскладнішого різьблення, що дуже високо цінується серед виробників класичних меблів з масиву. Дошки з

деревини павловнії міцно утримують цвяхи і шурупи у самого краю, що нерозколюючи. Наприклад, тополя і сосна показують ступінь розщеплення в рази нижче ступеня розщеплення деревини павловнії.

Коефіцієнт усушки становить 0,1-0,31%. Це значення менше, ніж у будь-якої хвойної і листяної деревини. Вироби з павловнії практично не піддаються деформації і не тріскаються. Це важлива перевага в порівнянні з іншими видами деревини. Так в експерименті, виконаному W.S. Romeka в США, деревні плити павловнії, тополі і дуба були одночасно поміщені в сушильну камеру при 68 ° С. Через 12 годин утримання вологи в деревині павловнії знизилася до 24% без будь-яких деформацій і пошкоджень. На інших видах деревини були помітні значні пошкодження і тріщини.

Важлива якість деревини павловнії - вологостійкість. Деревний матеріал важко абсорбує воду і вологу, набухає і має високий ступінь збереження форми і розміру. Деталі з павловнії, під впливом атмосферних явищ, не змінюють свою форму і розмір, не піддаються гниттю. Деревина широко використовується в будівництві для зовнішньої обробки, в будівництві бань і саун, виробництві вікон і дверей, виготовленні човнів і дощок для серфінгу.

Павловнія має ще ряд чудових характеристик таких як: ізоляція, вогнестійкість, стійкість до пошкоджень від комах, чудова звукопровідність, дуже швидко сохне. Всі ці вище описані характеристики роблять павловнію ідеальною сировиною для виготовлення дерев'яних виробів з найкращими характеристиками [17,18].

Павловнію використовують для найрізноманітніших цілей (рис. 3.3).

Процес нарощування потужностей по високотехнологічному випуску комбікормів, білкового концентрату, добавок, преміксів є стратегічним завданням в масштабах країни. В тваринництво йдуть масштабні інвестиції. Галузь розвивається. Будуються і вводяться в дію найбільші птахофабрики, величезні сучасні тваринницькі комплекси. Вітчизняні виробники м'яса будують власні комбікормові заводи і стикаються з відсутністю необхідних

компонентів. Згідно з дослідженнями, біомаса павловнії містить велику кількість протеїнів, і її якості близькі з якостями люцерни. Трендом сільськогосподарських біотехнологій є виробництво біопрепаратів для кормових добавок, рослинних кормів для тварин, а також використання нових швидкозростаючих сортів корисних рослин з використанням сучасних біотехнологічних методів.



Рисунок 3.2 – Використання павловнії

У європейських, азіатських країнах, США біомасу павловнії використовують:

- для виробництва кормів для сільськогосподарських тварин;
- для отримання гранульованих кормових добавок;
- для виробництва лізін-утримуючих препаратів, що забезпечують швидке зростання тваринної і рослинної біомаси.

У дослідженнях вчених Європи представлені дані про вміст протеїну в листній масі Павловнії (*Paulownia*) - до 20%. Ця пояснюється віком, місцем зростання і часом збору врожаю. Найбільший відсоток вмісту протеїну

знаходиться в молодих однорічних рослинах. Тому, якщо основна мета - це отримання поживної біомаси з павловнії для відгодівлі великої рогатої худоби, овець, кіз - доцільно створювати окрему плантацію і збирати якісний урожай в кінці літнього періоду. Технології плантаційного вирощування павловнії для виробництва рослинної біомаси за 1 рік на площі 1 Га дозволяють отримувати 50-60 тонн якісного рослинної сировини, з рівнем білка до 20% і 60%.

Дослідження поживної цінності біомаси з павловнії дозволило створити нові способи отримання кормових добавок з рослинної сировини і способів отримання гранульованої кормової добавки - лізину. Лізінвмісні препарати використовуються і в рослинництві. Застосування таких препаратів, містять крім амінокислот і інші біостимулятори, дає значне збільшення врожаю тепличних і польових сільськогосподарських культур. Широкомасштабні дослідження способів біосинтезу L-лізину проводяться в США. Амінокислоти є одними з найактивніших учасників метаболізму. Утворюючись в процесі фотосинтезу або в результаті синтетичної діяльності коренів, вони в подальшому беруть участь в найрізноманітніших біохімічних процесах, в тому числі в синтезі білкових і ростових речовин, від яких, в свою чергу, залежать ростові процеси. Говорячи про сьогоднішній день, положення на світовому білковому ринку тільки загострюється. Плантаційне вирощування павловнії для виробництва кормів, кормових добавок і лізінвмісних препаратів, допоможе істотно знизити імпорتنу залежність аграрного сектора [19].

Павловнія також один із найкращих видів сировини для целюлозного виробництва. Целюлоза - природний полімерний матеріал - є одним з найважливіших напівфабрикатів, застосовуваних у паперовій, текстильній і хімічній промисловості. Основним рослинною сировиною для виробництва целюлози є деревина хвойних і листяних порід. За останні 20-30 років у світовій практиці стало широко поширене отримання сировини з однорічних рослин і швидкорослих дерев. Найбільш перспективним видом сировини, за

рахунок високих папероутворювальних властивостей і досить швидкого зростання, є павловнія. У європейських країнах, а також в країнах ближнього зарубіжжя, активно розробляються і удосконалюються технології отримання целюлози з цієї деревини. Основна проблема, породжена целюлозно-паперовою промисловістю - це забруднення стічних вод. Древа павловнії, висаджені в районі виробництва, використовують в екологічних цілях і розглядають як фіторемедіатор. Іншими словами, рослини здатні збирати з ґрунту і води промислові забруднювачі, пропускати їх через свою судинну систему, затримувати їх в собі, що допомагає очищати і відновлювати навколишнє середовище. У Швеції, павловнію, використовують для очищення стічних вод і переробки рідин зі звалища. Відходи розливають навколо дерев, які, в свою чергу, розщеплюють і утилізують їх, а потім деревину використовують як сировину для целюлозно-паперової промисловості або виробництва біопалива.

Велике листя і широка крона дерев забезпечують щільну тінь. Завдяки великим розмірам листя, одне дерево павловнії може поглинати щодня до 22 кг CO<sub>2</sub>, при цьому виробляється до 6 кг кисню. Залежно від середовища вирощування дерева павловнії можуть досягати висоти до 30 м. Може розвиватися у вигляді великого багатостовбурного чагарнику. Павловнія може бути корисною до 20-50 років. Після кожної обрізки, яку проводять у будь-яку пору року з інтервалом у 4-8 років, дерево відростає. При належному догляді через 7 років можна отримати 240-350 м<sup>3</sup> якісної деревини з 1 га, при цьому деревина, яка накопичує у великій кількості дубильні речовини, стійка до впливу багатьох шкідників і хвороб. Деревина павловнії м'яка з зернистою текстурою, без запаху, легка, гладка, а також стійка до вогню, вологи та деформації, 100 % екологічно чиста сировина підходить для виробництва меблів (колір змінюється від блідо-жовтого до світло-червоного) і будівельних матеріалів (індекс міцності на стиск деревних волокон павловнії становить 281 кг/см<sup>2</sup>). Зелена листова маса дерева містить до 22 % білків, кормова цінність зеленої маси павловнії

прирівнюється до бобових. До прикладу, схожі характеристики має люцерна та конюшина. Така кормова цінність зеленої маси поряд із високою швидкістю росту культури може ефективно використовуватись у тваринництві при заготівлі силосу та гранульованих кормових концентратів. Проте є при цьому певні складнощі, а саме механізований потоковий збір листової маси можливий в перший рік росту дерева, коли доцільно зрізати надземну частину з метою кращого формування кореневої системи. Подальший потоковий збір зеленої маси завдасть шкоди рослині, що призведе до затримки росту. Одне з найперспективніших застосувань павловнії – переробка її біомаси на біоетанол (Paulownia Hrupp Ukraina, 2018). Окрім того, деякі вчені бачать в ній паливо майбутнього – легке виробництво і застосування без ризиків для довкілля. Існують два методи отримання біоетанолу: перший – за допомогою культивованих для цієї мети мікроорганізмів, що використовують целюлозу як джерело енергії і виділяють в результаті обмінних процесів етанол; другий ґрунтується на дії певних ензимів, розкладаючи целюлозу до бажаного продукту. Хоча другий метод і дешевше й частіше застосовується, та в обох методів є майбутнє і свої переваги. Такі методи переробки дозволяють отримати з 1 тонни сухої деревини до 0,5 тонни етанолу. Біомаса з павловнії є доброю сировиною для виробництва біоетанолу, але це далеко не єдине її застосування. Після обробки павловнії при отриманні деревини природно залишаються гілки та інші частини, які формально називають відходами, але їх не лише не викидають, з них отримують ще й пелети, котрі останнім часом набули розголосу, енергетична цінність яких складає 4211,1 ккал/кг (2 кг гранул павловнії еквівалентні 1 л дизельного палива). Вони використовуються як біопаливо для пелетних котлів, які опалюють окремих будинок або цілі будинки, а так само використовуються в промислових цілях, оскільки сфера їхнього застосування весь час розширюється. Для порівняння розглянемо калорійність пелет, виготовлених з найбільш поширених біоматеріалів – деревної тирси, лушпиння соняшнику, соломи та міскантуса (рис 3.3).

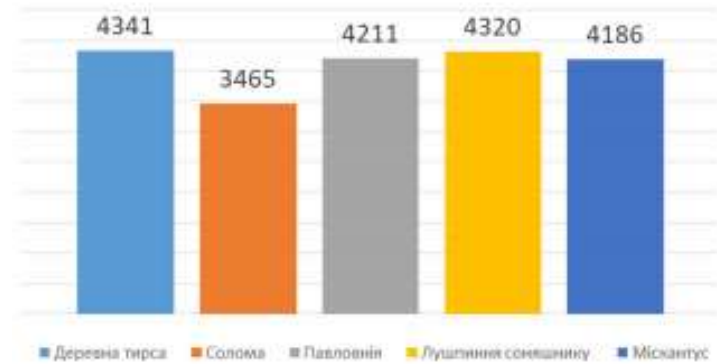


Рисунок 3.3 – Енергетична цінність пелет з біомаси

З рисунка бачимо, що пелети з не ділової деревини павловнії мають показник калорійності, який майже не поступається пелетам з деревної тирси і лушпиння соняшнику та значно вищий, ніж солом'яних пелет. Такий рівень енергетичної цінності доводить раціональність використання всієї біомаси культури як відновлювального джерела енергії.

Використання деревинних пелет, на противагу застосуванню викопних енергоносіїв, є  $\text{CO}_2$  - нейтральним. Це означає, що при згоранні пелет викидається у повітря рівно така кількість вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), яку дерево увібрало в себе в процесі росту (закритий кругообіг вуглецю). Натомість при згоранні викопних енергоносіїв вивільняється вуглекислий газ, який накопичувався протягом мільйонів років. Це вивільнення призводить до підвищення вмісту  $\text{CO}_2$  в атмосфері і значною мірою відповідає за антропогенний парниковий ефект. Рослини павловнії характеризуються ще однією важливою особливістю, яку не можна опустити. Павловнія є добрим медоносом, який продукує прекрасної якості мед. Він є прозорим, дуже чистим і ароматним, за кольором і консистенцією можна порівняти тільки з акацієвим. З одного гектара павловнії можна зібрати понад 700 кг меду. Павловнія розквітає у першій декаді квітня і триває це 21-23 дні, максимум до місяця. Також позитивним моментом є те, що під час вирощування павловнії хімічні препарати, які можуть шкодити бджолам, не застосовуються.



## 4 ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

### 4.1 Методика визначення показників забруднюючих речовин в технологічному процесі

Дані методичні вказівки ґрунтуються на ГДК 34. 02. 305-2002 "Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення", який діє від 01.07.2002 р. Ця методика дає змогу прогнозувати обсяги викидів забруднюючих речовин від енергетичних установок, що працюють на твердому, рідкому та газоподібному паливі.

За методикою, що застосовується в Україні з 2002 р., обліку підлягають забруднюючі речовини та парникові гази, які надходять з димовими газами в атмосферне повітря від енергетичних установок.

Забруднюючі речовини: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок; оксиди сірки  $SO_x$  у перерахунку на двоокис сірки або сірчистий ангідрид  $SO_2$ ; оксиди азоту  $NO_x$  у перерахунку на двоокис азоту  $NO_2$ ; оксид вуглецю  $CO$ ; суміші насичених вуглеводнів  $C_2-C_8$  (НМЛОС).

Парникові гази: діоксид вуглецю  $CO_2$ ; метан  $CH_4$ ; азоту (I) оксид або оксид діазоту  $N_2O$ .

Розрахункові методи визначення викиду забруднюючої речовини базуються на використанні показника емісії.

Показник емісії характеризує масову кількість забруднюючої речовини, яка викидається енергетичною установкою в атмосферне повітря разом з димовими газами, віднесена до одиниці енергії, що виділяється під час згоряння палива. У даній роботі для розрахунків використовується специфічний показник емісії, який є питомою величиною викиду, що визначається для конкретної енергетичної установки з урахуванням індивідуальних характеристик палива, конкретних характеристик процесу спалювання та заходів щодо зниження викиду забруднюючої речовини.

Вихідні дані, що використовуються для розрахунку викидів забруднюючих речовин від тунельно-випалювальної печі: тунельно-випалювальна піч підприємства працює на кам'яному вугіллі (180 т/рік) та брикетах з міскантусу гігантського (*Miscanthus x giganteus*) (180 т/рік).

Під час роботи печі, в атмосферне повітря виділяються такі забруднюючі речовини: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, оксид азоту (у перерахунку на діоксид азоту  $\text{NO}+\text{NO}_2$ ), оксид вуглецю, сірки діоксид, суміш насичених вуглеводнів  $\text{C}_2\text{-C}_8$  (НМЛОС), діоксид вуглецю, азоту(1) оксид ( $\text{N}_2\text{O}$ ), метан.

Фонд роботи – 270 днів/рік, 24 год/день; 6480 год/рік;

Згідно методики [21] кам'яне вугілля (Антрацитовий штиб АШ) має такий склад:

Нижча робоча теплота згорання палива - 33,24 МДж/кг.

Вміст сірки  $S^r$  – 2,4 %;

Масовий вміст золи в паливі на робочу масу  $A^r$  – 10 %.

Валові викиди забруднюючих речовин  $E_j$ , що надходять в атмосферне повітря з димовими газами енергетичної установки, визначаються за формулою:

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^6 \sum_i k_{ji} B_i (Q_i^r)_i, \quad (4.1)$$

де  $E_{ji}$  – валовий викид  $j$ -ї забруднюючої речовини під час спалювання  $i$ -го палива за проміжок часу  $P$ ,  $t$ ;

$k_{ji}$  – показник емісії  $j$ -ї забруднюючої речовини для  $i$ -го палива, г/ГДж;

$B_i$  – витрата  $i$ -го палива за проміжок часу  $P$ ,  $t$ ;

$(Q_i^r)_i$  – нижча робоча теплота згорання  $i$ -го палива, МДж/кг.

Показники емісії забруднюючих речовин визначаються для кожної речовини індивідуально.

Нижча теплота згоряння з горючої маси на робочу  $Q_i^r$  перераховується за формулою:

$$Q_i^r = Q_i^{\text{daf}} \cdot (100 - W^r - A^r / 100) - 0,025 \cdot W^r, \quad (4.2)$$

де  $Q_i^{\text{daf}}$  – нижча горюча теплота згоряння палива, МДж/кг;

$W^r$  – масовий вміст вологи в паливі, 12 %.

Перерахунок нижчої теплоти згоряння з горючої маси на робочу виконується за формулою (4.2):

$$Q_i^r = 33,24 \cdot (100 - 12 - 10 / 100) - 0,025 \cdot 12 = 25,6 \text{ МДж/кг}$$

Згідно методики [21] брикети з міскантусу мають такий склад:

Нижча робоча теплота згоряння палива – 15,43 МДж/кг.

Вміст сірки  $S^r$  – 0,16 %;

Масовий вміст золи в паливі на робочу масу  $A^r$  – 2,4 %.

$W^r$  – масовий вміст вологи в паливі, 15,0 %.

Валові викиди забруднюючих речовин  $E_i$ , що надходять в атмосферне повітря з димовими газами енергетичної установки, визначаються за формулою (4.1).

Показники емісії забруднюючих речовин визначаються для кожної речовини індивідуально.

Нижча теплота згоряння з горючої маси на робочу  $Q_i^r$  перераховується за формулою (4.2):

$$Q_i^r = 15,43 \cdot (100 - 15 - 2,4 / 100) - 0,025 \cdot 2,4 = 12,7 \text{ МДж/кг.}$$

4.2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин у атмосферу від енергетичної установки

1) Розрахунок викидів речовин у вигляді суспендованих твердих частинок

Показник емісії речовини у вигляді суспендованих твердих частинок розраховується за формулами:

$$k_{\text{ТВ}} = \frac{10^6}{Q_i^r} a_{\text{ВИН}} \frac{A^r}{100 - \Gamma_{\text{ВИН}}} (1 - \eta_{\text{ЗУ}}) + k_{\text{ТВС}}, \quad (4.3)$$

$$k_{\text{ТВ}} = \frac{10^6}{Q_i^r} \left( a_{\text{ВИН}} \frac{A^r}{100} + \frac{q_4}{100} \cdot \frac{Q_i^r}{Q_c} \right) (1 - \eta_{\text{ЗУ}}) + k_{\text{ТВС}}, \quad (4.4)$$

де,  $k_{\text{ТВ}}$  – показник емісії суспендованих твердих частинок, г/ГДж;

$Q_i^r$  – нижча робоча теплота згорання, МДж/кг;

$A^r$  – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, 10 %;

$a_{\text{ВИН}}$  – частка золи, яка виходить з котла у вигляді леткої золи, %;

$\Gamma_{\text{ВИН}}$  – масовий вміст горючих речовин у вигляді суспендованих твердих частинок, % (для малих установок для спалювання визначається згідно з таблицею Додатка Д.2 [21] з співвідношення  $a_{\text{ВИН}} / (100 - \Gamma_{\text{ВИН}})$ );

$Q_c$  – теплота згорання вуглецю  $\text{CO}_2$ , яка дорівнює 32,657 МДж/кг;

$q_4$  – втрата тепла, пов'язана з механічним недопалом палива, % (Додаток Д.3, Д.4);

$\eta_{\text{ЗУ}}$  – ефективність очищення димових газів від суспендованих твердих частинок (визначається за результатами останніх випробувань золоуловлювальної установки або за її паспортними даними);

$k_{\text{ТВС}}$  – показник емісії твердих продуктів взаємодії сорбенту та оксидів сірки і суспендованих твердих частинок сорбенту, г/ГДж;

При використанні сорбенту для зв'язування оксидів сірки в топці котельні чи при застосуванні технологій сухого або напівсухого зв'язування

сірки утворюються тверді частинки сульфату та сульфіту і невикористаного сорбенту. Показник емісії суспендованих твердих частинок невикористаного в установці спалювання сорбенту та утворених сульфатів та сульфатів  $k_{\text{твS}}$ , г/ГДж, розраховується за формулою:

$$k_{\text{твS}} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{S^r}{100} \left[ \eta_l \frac{\mu_{\text{прод}}}{\mu_s} + (m - \eta_l) \frac{\mu_{\text{сорб}}}{\mu_s} \right] a_{\text{вин}} (1 - \eta_{\text{зу}}), \quad (4.5)$$

де  $Q_i^r$  – нижча робоча теплота згоряння, МДж/кг;

$S^r$  – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %

$a_{\text{вин}}$  – частка золи, яка виходить з грубки у вигляді леткої золи;

$\mu_{\text{прод}}$  – молекулярна маса твердого продукту взаємодії сорбенту та оксидів сірки, кг/моль;

$\mu_{\text{сорб}}$  – молекулярна маса сорбенту, кг/моль;

$\mu_s$  – молекулярна маса сірки, яка дорівнює 32 кг/кмоль;

$m$  – мольне відношення активного хімічного елементу сорбенту та сірки (Додаток Д.5);

$\eta_l$  – ефективність зв'язування сірки сорбентом і топці або при застосуванні сухих та напівсухих методів десульфуризації димових газів (Додаток Д.5, Д.6);

$\eta_{\text{зу}}$  – ефективність очищення димових газів від суспендованих твердих частинок

$n = 0,5$  – доля твердих частинок, що осідають по тракту печі та сушил.

Показник емісії твердих продуктів взаємодії сорбенту та оксидів сірки і суспендованих твердих частинок сорбенту становить  $k_{\text{твS}} = 0$  г/ГДж.

Ефективність очищення димових газів від суспендованих твердих частинок (визначається за результатами останніх випробувань золоуловлювальної установки або за її паспортними даними)  $\eta_{\text{зу}} = 0$ .

$$a_{\text{вин}} / (100 - \Gamma_{\text{вин}}) = 0,003.$$

Розрахунок показника емісії суспендованих твердих частинок для кам'яного вугілля здійснюється за формулою (4.3):

$$A^r = 10 \%$$

$$k_{\text{ТВ}} = 10^6 : 25,6 \text{ МДж/кг} \cdot 0,003 \cdot 10 \cdot (1 - 0,5) + 0 = 586 \text{ г/ГДж}$$

Розраховуємо показник емісії суспендованих твердих частинок для брикетів з міскантусу за формулою (4.3):

$$A^r = 2,4 \%$$

$$k_{\text{ТВ}} = 10^6 : 12,7 \text{ МДж/кг} \cdot 0,003 \cdot 2,4 \cdot (1 - 0,5) + 0 = 283,5 \text{ г/ГДж}$$

Секундна витрата палива кам'яного вугілля:

$$V_i^c = 180 \cdot 10^6 / (24 \cdot 270 \cdot 3600) = 7,72 \text{ г/с}$$

Секундна витрата брикетів з міскантусу:

$$V_i^c = 180 \cdot 10^6 / (24 \cdot 270 \cdot 3600) = 7,72 \text{ г/с}$$

Річний викид речовини у вигляді суспендованих твердих частинок при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (586 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 2,7 \text{ т/рік}$$

Річний викид речовини у вигляді суспендованих твердих частинок при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (283,5 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,65 \text{ т/рік}$$

Секундний викид речовини у вигляді суспендованих твердих частинок при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (586 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 0,12 \text{ г/с}$$

Секундний викид речовини у вигляді суспендованих твердих частинок при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (283,5 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,03 \text{ г/с}$$

## 2) Розрахунок викидів діоксиду сірки SO<sub>2</sub>

Показник емісії  $k_{SO_4}$ , г/ГДж, оксидів сірки SO<sub>4</sub> та SO<sub>3</sub>, які надходять в атмосферу з димовими газами, у перерахунку на діоксид сірки SO<sub>2</sub> розраховується за формулою:

$$k_{SO_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta), \quad (4.6)$$

де  $Q_i^r$  – нижча робоча теплота згоряння, МДж/кг;

$S^r$  - масовий вміст сірки в паливі на робочу масу за проміжок часу P, %;

$\eta_I$  – ефективність зв'язування сірки золою або сорбентом в установці спалювання;

$\eta_{II}$  - ефективність очищення димових газів від оксидів сірки;

$\beta$  – коефіцієнт роботи сірко очисної установки.

Масовий вміст сірки в робочій масі потрібно визначити під час технічного аналізу палива відповідно до ГОСТ 27313 – 95 (ISO 1170 - 77).

Розрахунок показника емісії діоксиду сірки SO<sub>2</sub> для кам'яного вугілля виконується за формулою (4.6):

$$Q_i^r = 25,6 \text{ МДж/кг}$$

$$S^r = 2,4 \% \text{ (Додаток Г.1)}$$

$$\eta_1 = 0,1$$

$$\eta_2 = 0$$

$$\beta = 0$$

$$k_{SO_4} = (10^6 \div 25,6 \text{ МДж/кг}) \cdot (2 \cdot 2,4 \% \div 100) \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0 \cdot 0) = 1687,5 \text{ г/ГДж}$$

Розрахунок показника емісії діоксиду сірки SO<sub>2</sub> для брикетів з міскантусу виконується за формулою (4.6):

$$Q_i^r = 12,7 \text{ МДж/кг}$$

$$S^r = 0,16 \% \text{ (Додаток Г.6)}$$

$$\eta_1 = 0,1$$

$$\eta_2 = 0$$

$$\beta = 0$$

$$k_{SO_4} = (10^6 \div 12,7 \text{ МДж/кг}) \cdot (2 \cdot 0,16 \% \div 100) \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0 \cdot 0) = 227 \text{ г/ГДж.}$$

Річний викид діоксиду сірки при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (1687,5 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 7,776 \text{ т/рік.}$$

Річний викид діоксиду сірки при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):



$$E^p = 10^{-6} \cdot (227 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,52 \text{ т/рік.}$$

Секундний викид діоксиду сірки при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (1687,5 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 0,33 \text{ г/с.}$$

Секундний викид діоксиду сірки при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (227 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,022 \text{ г/с.}$$

### 3) Розрахунок викидів діоксиду азоту.

Показник емісії оксиду азоту без урахування заходів скорочення викиду, для кам'яного вугілля становить 230 г/ГДж; для лушпиння соняшника 88 г/ГДж (Додаток Д.8);

Річний викид оксиду азоту при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (230 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 1,06 \text{ т/рік.}$$

Річний викид оксиду азоту при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (88 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,2 \text{ т/рік.}$$

Секундний викид оксиду азоту при спалюванні вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (230 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 0,045 \text{ г/с}.$$

Секундний викид оксиду азоту при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (88 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,01 \text{ г/с}$$

#### 4) Розрахунок викидів оксиду вуглецю (CO)

Утворення оксиду вуглецю CO є результатом неповного згоряння вуглецю органічного палива. Зі зменшенням потужності установки спалювання концентрація CO в димових газах зростає. Основним методом визначення викидів оксиду вуглецю є вимірювання його концентрації.

За відсутності постійних вимірювань концентрації CO валовий викид оксиду вуглецю визначається за формулою (4.1).

Показник емісії оксиду вуглецю,  $k_{CO}$ , г/ГДж, під час спалювання органічного палива визначається за формулою:

$$k_{CO} = (k_{CO})_0 \cdot (1 - (q_4 / 100)), \quad (4.7)$$

де  $(k_{CO})_0$  – узагальнений показник емісії CO топка з нерухомою решіткою та ручним закиданням палива, антрацит АШ - 800 г/ГДж; лушпиння соняшника - 120 г/ГДж;

$q_4$  – втрати тепла палива через механічний недопал, для кам'яного вугілля:  $q_4 = 6\%$ ; для брикетів з міскантусу  $q_4 = 2\%$  (Додаток Д.3, Д.4).

Розрахунок показника емісії оксиду вуглецю для кам'яного вугілля виконується за формулою (4.7):

$$k_{CO} = 800 \text{ г/ГДж} \cdot (1 - 6\% \div 100) = 752 \text{ г/ГДж}.$$

Розрахунок показника емісії оксиду вуглецю для брикетів з міскантусу виконується за формулою (4.7):

$$k_{CO} = 120 \text{ г/ГДж} \cdot (1 - 2\% \div 100) = 117,6 \text{ г/ГДж}.$$

Річний викид оксиду вуглецю при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (752 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 3,5 \text{ т/рік}.$$

Річний викид оксиду вуглецю при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (117,6 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,3 \text{ т/рік}.$$

Секундний викид оксиду вуглецю при спалюванні кам'яного вугілля становить розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (752 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 0,084 \text{ г/с}.$$

Секундний викид оксиду вуглецю при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (117,6 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,012 \text{ г/с}.$$

##### 5) Розрахунок викидів діоксиду вуглецю (вуглекислого газу)

Діоксид вуглецю (вуглекислий газ  $CO_2$ ) відноситься до парникових газів і є основним газоподібним продуктом окислення вуглецю органічного

палива. Обсяг викиду  $\text{CO}_2$  безпосередньо пов'язано із вмістом вуглецю в паливі та ступенем окислення вуглецю палива в установці спалювання.

Показник емісії вуглекислого газу при спалюванні кам'яного вугілля визначається через показник емісії вуглецю палива згідно формули:

$$K_{\text{CO}_2} = 3,67 \cdot \varepsilon \cdot k_C, \text{ г/ГДж}, \quad (4.8)$$

де:  $\varepsilon$  – ступінь окислення вуглецю палива,  $\varepsilon = 0,99$  МДж/кг;

$k_C$  - показник емісії вуглецю, становить 28160 г/ГДж для кам'яного вугілля; 22220 г/ГДж для брикетів з міскантусу.

Розраховуємо показник емісії вуглекислого газу від кам'яного вугілля за формулою (4.8):

$$K_{\text{CO}_2} = 3,67 \cdot 0,99 \cdot 28160 = 102314 \text{ г/ГДж}.$$

Розраховуємо показник емісії вуглекислого газу від брикетів з міскантусу за формулою (4.8):

$$K_{\text{CO}_2} = 3,67 \cdot 0,99 \cdot 22220 = 80732 \text{ г/ГДж}$$

Річний викид діоксиду вуглецю при спалюванні вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (102314 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 471,5 \text{ т/рік}.$$

Річний викид діоксиду вуглецю при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (80732 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 184,6 \text{ т/рік}.$$

Секундний викид діоксиду вуглецю при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.8):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (102314 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 20,2 \text{ г/с.}$$

Секундний викид діоксиду вуглецю при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.8):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (80732 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 8 \text{ г/с}$$

б) Розрахунок викидів оксиду діазоту  $N_2O$

Для кам'яного вугілля:

$$k_{N_2O} = 1,4 \text{ г/ГДж}$$

Для брикетів з міскантусу:

$$k_{N_2O} = 5 \text{ г/ГДж}$$

Річний викид оксиду діазоту при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (1,4 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 0,006 \text{ т/рік.}$$

Річний викид оксиду діазоту при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (5 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,01 \text{ т/рік.}$$

Секундний викид оксиду діазоту при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (1,4 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 0,0003 \text{ г/с}.$$

Секундний викид оксиду діазоту при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (5 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,0005 \text{ г/с}$$

#### 7) Розрахунок викидів метану $\text{CH}_4$

$K_{\text{CH}_4}$  - показник емісії метану, становить 1 г/ГДж – для кам'яного вугілля; 9 г/ГДж – для брикетів з міскантусу.

Річний викид метану при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (1 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 0,005 \text{ т/рік}.$$

Річний викид метану при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (9 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,02 \text{ т/рік}.$$

Секундний викид метану при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (1 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 0,0002 \text{ г/с}.$$

Секундний викид метану при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (9 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,001 \text{ г/с}$$

8) Розрахунок викидів суміші насичених вуглеводнів C<sub>2</sub>-C<sub>8</sub> (НМЛОС)

$K_{\text{НМЛОС}}$  - показник емісії неметанових летких органічних сполук (НМЛОС) для кам'яного вугілля (факельне спалювання), становить 600 г/ГДж; для брикетів з міскантусу становить 50 г/ГДж.

Річний викид НМЛОС при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (600 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 2,8 \text{ т/рік.}$$

Річний викид НМЛОС при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^p = 10^{-6} \cdot (50 \text{ г/ГДж} \cdot 180 \text{ т/рік} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,11 \text{ т/рік.}$$

Секундний викид НМЛОС при спалюванні кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (600 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 25,6 \text{ МДж/кг}) = 0,12 \text{ г/с.}$$

Секундний викид НМЛОС при спалюванні брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.1):

$$E^c = 10^{-6} \cdot (50 \text{ г/ГДж} \cdot 7,72 \text{ г/с} \cdot 12,7 \text{ МДж/кг}) = 0,005 \text{ г/с.}$$

Результати розрахунку викидів забруднюючих речовин від енергетичної установки наведені у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку викидів забруднюючих речовин від енергетичної установки

Забруднююча речовина	Тунельно-випалювальна піч			
	Кам'яне вугілля		Брикети з міскантусу	
	Річний викид, т/рік	Секундний викид, г/с	Річний викид, т/рік	Секундний викид, г/с
Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок	2,7	0,12	0,65	0,03
Сірки діоксид	7,776	0,33	0,52	0,022
Оксид азоту (у перерахунку на діоксид азоту NO+NO <sub>2</sub> )	1,06	0,045	0,2	0,01
Оксид вуглецю	3,5	0,084	0,3	0,012
Діоксид вуглецю	471,5	20,2	184,6	8
Азоту(1) оксид (N <sub>2</sub> O)	0,006	0,0003	0,01	0,0005
Метан	0,005	0,0002	0,02	0,01
Суміш насичених вуглеводнів C <sub>2</sub> -C <sub>8</sub> (НМЛОС)	2,8	0,12	0,11	0,005

#### 4.3 Оцінювання економічної ефективності використання рослинних відходів як палива на підприємстві

Для розрахунку економічної ефективності використання брикетів з міскантусу в якості палива на підприємстві, проводиться порівняльний розрахунок річної суми екологічного податку за викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин підприємством. Для розрахунку суми податку використовуються ставки екологічного податку, гривень за 1 тону



забруднюючої речовини (відповідно до п. 243.1 Податкового кодексу України).

Річна сума екологічного податку за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря під час згорання палива розраховується за формулою:

$$EP_p = \sum E_p \cdot C_p, \quad (4.9)$$

де  $E_p$  – валовий викид  $j$ -ї забруднюючої речовини під час спалювання  $i$ -го палива за проміжок часу  $P$ , т;

$C_{nc}$  – ставка екологічного податку, гривень за 1 тону ЗР (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Ставки податку за викиди в атмосферне повітря окремих забруднюючих речовин

Найменування забруднюючих речовин	Ставка податку, гривень за 1 тону забруднюючої речовини
Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок	83,07
Оксид азоту (у перерахунку на діоксид азоту NO+NO <sub>2</sub> )	2204,89
Оксид вуглецю	83,07
Сірки діоксид	2204,89
Суміш насичених вуглеводнів C <sub>2</sub> -C <sub>8</sub> (НМЛОС)	124,61
Діоксид вуглецю	0,37
Азоту(1) оксид (N <sub>2</sub> O)	2204,89
Метан	124,61

Сума екологічного податку при спалюванні кам'яного вугілля обчислюється за формулою (4.9):

$$E_{\text{п}} = (2,7 \cdot 83,07) + (7,776 \cdot 2204,89) + (1,06 \cdot 2204,89) + (3,5 \cdot 83,07) + (471,5 \cdot 0,37) + (0,006 \cdot 2204,89) + (0,005 \cdot 124,61) + (2,8 \cdot 124,61) = 20534,7 \text{ (грн.)}$$

Отже, при спалюванні 180 тонн кам'яного вугілля підприємство зобов'язане сплатити екологічний податок за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря в сумі 20534,7 грн/рік.

Сума екологічного податку при спалюванні брикетів з міскантусу обчислюється за формулою (4.9):

$$E_{\text{п}} = (0,65 \cdot 83,07) + (0,52 \cdot 2204,89) + (0,2 \cdot 2204,89) + (0,3 \cdot 83,07) + (184,6 \cdot 0,37) + (0,01 \cdot 2204,89) + (0,02 \cdot 124,61) + (0,11 \cdot 124,61) = 1773 \text{ (грн.)}$$

Отже, при спалюванні 180 тонн брикетів з міскантусу підприємство зобов'язане сплатити екологічний податок за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря в сумі 1773 грн.

Якщо порівняти витрати, виходить  $20534,7 - 1773 = 18761,7$  грн/рік підприємство економить на платі екологічного податку у випадку використання брикетів з міскантусу замість кам'яного вугілля.

Підприємство в рік використовує 360 тонн палива для забезпечення технологічного процесу тунельно-випалювальної печі, з яких 180 тонн – кам'яне вугілля і 180 тонн – брикетів з міскантусу. Розраховуємо основні затрати на закупку палива за формулою:

$$K = \Pi_{\text{п}} \cdot O_{\text{п}}, \quad (4.10)$$

де  $C_{\text{п}}$  - ринкова ціна палива, грн/т. Для кам'яного вугілля - 3400 грн/т; для брикетів з міскантусу – 1050 грн/т.

$O_{\text{п}}$  – кількість палива, в рік.

Сума витрат на закупку кам'яного вугілля розраховується за формулою (4.10):

$$K = 180 \text{ т} \cdot 3400 \text{ грн/т} = 612000 \text{ грн.}$$

Сума витрат на закупку брикетів з міскантусу розраховується за формулою (4.10):

$$K = 180 \text{ т} \cdot 1050 \text{ грн/т} = 189000 \text{ грн.}$$

Якщо порівняти витрати, виходить  $612000 - 189000 = 423000$  грн/рік підприємство економить на закупці палива у випадку використання брикетів з міскантусу замість кам'яного вугілля.

Інших витрат на впровадження використання брикетів з міскантусу на заміну кам'яного вугілля не прослідковується, так як додаткового обладнання, додаткового обслуговуючого персоналу не потрібно. Враховуючи це, можна зробити висновок про ефективність впровадження запропонованого інноваційного рішення, яке є доцільним, а отже економічно ефективним.

## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі здійснено еколого-економічний аналіз перспектив використання енергетичних культур у Вінницькій області.

В першому розділі оцінено розвиток біоенергетики в Україні та ЄС, використання енергетичного потенціалу біомаси в Україні та здійснено прогнозування розвитку біоенергетики в Україні до 2025 р.

В другому розділі обґрунтовано технологічні та екологічні рішення для розвитку біоенергетики. Охарактерезовано поточну ситуацію в сільсько-господарському секторі в розрізі вирощування енергетичних культур. Проаналізовано можливості використання сільськогосподарських земель для вирощування енергетичних культур та екологічні особливості вирощування енергетичних культур.

В третьому розділі здійснено еколого-економічну оцінку перспектив вирощування біоенергетичних культур у Вінницькій області. Визначено економічну ефективність вирощування біоенергетичних культур. Обґрунтовано перспективи вирощування павлонії як ефективної швидкоростучої енергетичної культури.

В четвертому розділі здійснено еколого-економічні розрахунки викидів забруднюючих речовин. Визначено показники забруднюючих речовин в технологічному процесі. Розраховано викиди забруднюючих речовин у атмосферу від енергетичної установки. Оцінено економічної ефективності використання рослинних відходів як палива на підприємстві.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Блюм Я. Б. Новітні технології біоенергоконверсії. / Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетуша, І. П. Григорюк та ін.//– К: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.
2. Вербa енергетична SalixViminalissp. Матеріали компанії ТОВ «Аграрна Співдружність».
3. Івахів В. Енергетична верба як рішення для малих міст України [Електронний ресурс] / Івахів В./ – Режим доступу: <http://ua-energy.org/post/27476>.
4. Гументик М. Я. Атлас високопродуктивних біоенергетичних культур / Гументик М. Я. // Біоенергетика. – № 2. – 2013 р. – с. 6-7.
5. Гелетуша Г. Г. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Желєзна, П. П. Кучерук, Є. М. Олійник //Аналітична записка БАУ №9. – 2014р. – с. 9 – 10.
6. Гелетуша Г. Г. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Желєзна //Аналітична записка БАУ №7. – 2014р.–с. 12-16.
7. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Затверджена розпорядженням КМУ № 1071 від 24.07.2013. <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
8. Гелетуша Г.Г., Желєзна Т.А. Бар'єри для розвитку біоенергетики в Україні. Частина 1 // Промислова теплотехніка. – 2013, Т. 35, № 4. – С. 63-71.
9. Гелетуша Г.Г., Желєзна Т.А. Бар'єри для розвитку біоенергетики в Україні. Частина 2 // Промислова теплотехніка. – 2013, Т. 35, № 5. – С. 43-47.
10. Закон України «Про електроенергетику» (№ 575/97-ВР від 16.10.1997, зі змінами). <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80>
11. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року (проект) <http://saee.gov.ua/documents/NpdVE.pdf>
12. Статистичні дані Європейської Комісії у секторі енергетики [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/other\\_documents](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/other_documents)

13.Інтенсифікація технологій вирощування кукурудзи на зерно – гарантія стабілізації урожайності на рівні 90-100 ц/га (практичні рекомендації). Державна установа Інститут сільського господарства степової зони, Дніпропетровськ, 2012 [agro.ua/docs/mais.doc](http://agro.ua/docs/mais.doc)

14.Сушина А. Сушіння кукурудзи в качанах. Пропозиція, 2014, № 1 <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=4039>

15.Кирпа М. Оптимізовані технології збирання й обробки зерна кукурудзи – К.: Бізнесцентр «Євразія», 2014. – 163 с.

16.Сучасні технології заготівлі кормів <http://buklib.net/books/34616/>

17.Кухарець С.М., Голуб Г.А. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива // Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету, 2012, №1 (30), т.1, с.345-352.

18.Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Анохіна К. В. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання. – Вінниця.: ВНТУ, 2010. – 171 с.

19.Дубровін В., Корчемний М. Біопалива (технології, машини і обладнання). – К.: ЦТІ „Енергетика і електрифікація”, 2006. – 256 с.

20.Тараріко Ю.О. Енергозберігаючі агроєкосистеми. – К.: ДІА, 2011. – 575 с.

21.Кухарець С.М. Алгоритм розподілу органічних ресурсів у агроєкосистемах. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, 2012, №10 т. 1 (58), с. 61-65

22.Посібник. Машини для збирання зернових та технічних культур / За ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Погорілого. – 2009, 296 с. [http://vthntusg.at.ua/\\_ld/0/18\\_zernovi\\_disk.pdf](http://vthntusg.at.ua/_ld/0/18_zernovi_disk.pdf).

23.Інформаційно-аналітичний звіт «Український ринок твердого біопалива», 2013 (на рос. мові). Підготовлений компанією Innovative Business Centre, LLC. Екологічні проблеми землеробства. За ред. І.Д. Примака. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 456 с.

**Додаток А Технічне завдання**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Інститут екологічної безпеки та моніторингу довкілля

ЗАТВЕРДЖУЮ  
завідувача кафедри ЕЕБ,  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ В.А. Іщенко  
(підпис)  
«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**  
на магістерську кваліфікаційну роботу

**ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ  
ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ**

спеціальність

183 – «Технології захисту навколишнього середовища»

08-48. МКР.209.00.000 ТЗ

Керівник магістерської кваліфікаційної  
роботи: к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ І.А. Трач  
(підпис)

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

Розробив: студент гр. ТЗД-19м

\_\_\_\_\_ М. В. Патичук  
(підпис)

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

1. Підстава для проведення робіт.

Підставою для виконання роботи є наказ № \_\_\_\_ по ВНТУ від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р., та індивідуальне завдання на МКР, затверджене протоколом № \_\_\_\_\_ засідання кафедри ЕЕБ від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

2. Мета і призначення роботи

Метою даної роботи є еколого-економічний аналіз перспектив використання енергетичних культур у Вінницькій області.

3. Вихідні дані для проведення робіт

Енергетичний потенціал рослинних відходів в Україні (2018 р.) (Додаток Б).

4. Методи дослідження

Літературний пошук та методи аналізу, створення експериментальної ситуації.

5. Етапи роботи і терміни їх виконання

№ з/п	Найменування етапів МКР	Термін Виконання
8.	Розробка технічного завдання	
9.	Енергетичний потенціал біоенергетики в Україні.	
10.	Технологічні та екологічні рішення для розвитку біоенергетики.	
11.	Еколого-економічна оцінка перспектив вирощування біоенергетичних культур у Вінницькій області.	.
12.	Еколого-економічні розрахунки викидів забруднюючих речовин.	
13.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	.
14.	Підготовка презентації та доповіді на захист МКР	

6. Призначення і галузь використання

Розробка може бути використана для покращення екологічної безпеки Вінницького регіону та енергетичного комплексу України.

7. Вимоги до розробленої документації

Пояснювальна записка та графічна частина

8. Порядок приймання роботи

Публічний захист роботи « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

Початок розробки « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

Граничні терміни виконання МКР « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

Розробив студент групи ТЗД-19м \_\_\_\_\_ М.В. Патичук



## Додаток Б

## Вихідні дані

## Енергетичний потенціал рослинних відходів в Україні (2018 р.)

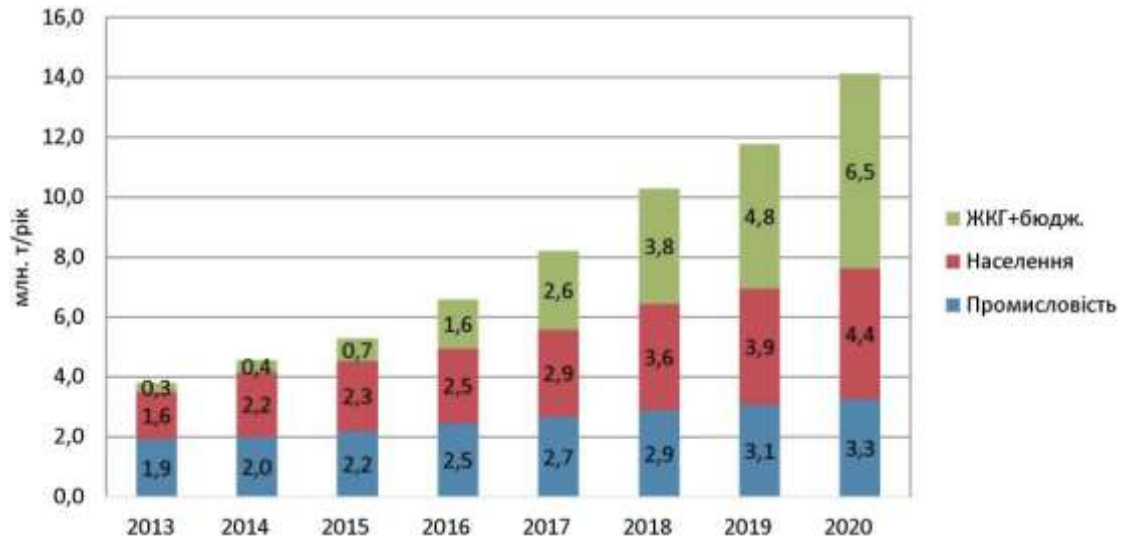
Вид біомаси	Всього утворюється, млн. т	% від загальної кількості	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Солома зернових культур	32	20	3,17
Солома ріпаку	2,9	70	0,96
Відходи виробництва кукурудзи на зерно	34	52	8,59
Відходи виробництва соняшника	17	67	5,55
Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)	9,7	77*	0,99
Деревна біомаса	3,9	89*	1,87
Енергетичні культури:			
- тополя, міскантус, верба та ін.	20	85	10,30
- ріпак (солома)	3,2	70	1,13
- ріпак (біодизель)	-	-	0,77
- кукурудза (біогаз)	-	-	1,10
Торф	-	-	0,4
Всього	-	-	38,24

\* в середньому (1000 м<sup>3</sup> природного газу = 1,16 т у.п.=0,812 т н.е. (н.е. – нафтовий еквівалент; у.п. – умовне паливо)).

## Додаток В

Таблиця В.1 – Загальна характеристика та економічна ефективність інвестиційних проектів вирощування біоенергетичних культур

Біоенергетична культура	Міскантус гігантський		Енергетична верба	
Площа плантаційного комплексу, га	100		100	
Тривалість життєвого циклу проекту (ЖЦП), років	16		16	
Етап ЖЦП	Технологічні операції			
1-й рік	Мульчування ґрунту, луцення, внесення гербіциду, мінеральних і органічних добрив, оранка, суцільний обробіток ґрунту		Мульчування ґрунту, луцення, внесення гербіциду, мінеральних і органічних добрив, оранка, суцільний обробіток ґрунту	
2-й рік	Передпосівний обробіток ґрунту, садіння ризом, внесення міндобрив, суцільний обробіток ґрунту, розпушування ґрунту у міжряддях, внесення гербіциду, технологічне скошування, транспортування біомаси		Передпосівний обробіток ґрунту, садіння пагонів, суцільний обробіток ґрунту, розпушування ґрунту у міжряддях, внесення міндобрив, внесення гербіциду і інсектицидів	
3-й рік	Внесення міндобрив, скошування, транспортування біомаси		Доповнення плантації	
4-й рік	Внесення міндобрив, скошування, транспортування біомаси		Технологічне скошування, транспортування біомаси	
5-й – 16-й рік	Внесення міндобрив, скошування, транспортування біомаси		Трирічний цикл – 1-й рік: внесення міндобрив; 2-й рік: відсутність операцій, 3-й рік: технологічний зріз верби на тріску, транспортування біосировини	
Ставка дисконту	0,225		0,225	
Сценарії проекту	A	B	A	B
Показники ефективності проекту				
NPV, грн	-1612831	644415	-1252136	204914
PI	0,722	1,159	0,382	1,360
IRR, %	21,7	26,6	10,5	26,2
DPP, років	> 16	10,5	>16	12,5

Скорочення викидів CO<sub>2</sub> при заміщенні природного газу біомасою в Україні

					08-48. МКР.209.00.001 ГЧ				
					Скорочення викидів CO <sub>2</sub> при заміщенні природного газу біомасою в Україні	Літ.		Маса	Масштаб
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Патичук М. В.							
Перевірів		Трач І.А.							
Т.контр.						Аркуш 1		Аркушів 4	
Рецензент		Гордієнко О.А.				ВНТУ, ТЗД-19м			
Н. контр.		Васильківський І.В.							
Затвердив		Іщенко В.А.							

## Площа наявних енергетичних культур у деяких країнах Європи



Джерело: Eurostat

					08-48. МКР.209.00.002 ГЧ				
					Площа наявних енергетичних культур у деяких країнах Європи	Літ.		Маса	Масштаб
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Патичук М. В.							
Перевірів		Трач І.А.							
Т.контр.						Аркуш 2		Аркушів 4	
Рецензент		Гордієнко О.А.				ВНТУ, ТЗД-19м			
Н. контр.		Васильківський І.В.							
Затвердив		Іщенко В.А.							

Порівняльна характеристика енергетичних рослин для виробництва  
твердого біопалива

Культура	Вихід сухої маси, т/га/рік	Нижча теплота згорання, 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
Свічграс	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

					08-48. МКР.209.00.003 ГЧ				
					Порівняльна характеристика енергетичних рослин для виробництва твердого біопалива	Літ.		Маса	Масштаб
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Патичук М. В.							
Перевірів		Трач І.А.							
Т.контр.						Аркуш 3		Аркушів 4	
Рецензент		Гордієнко О.А.				ВНТУ, ТЗД-19м			
Н. контр.		Васильківський І.В.							
Затвердив		Іщенко В.А.							



Перспективні біоенергетичні культури для вирощування в Україні

Енергетична культура	Вимоги до ґрунту, рН	К-ть опадів, мм/рік	Температура	Життєвий цикл	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 прутоподібне	5,5-7	380-760	- - -	10-15	Щорічно	7-14
Сорго багаторічне	5-8,5	460-760	- - -	8-10	Щорічно	10-17
Сильфій пронизанолистий	6-7	>600	5-40	15-20	Щорічно	15-20

					08-48. МКР.209.00.004 ГЧ				
					Перспективні біоенергетичні культури для вирощування в Україні	Літ.		Маса	Масштаб
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Патичук М. В.								
Перевірив	Трач І.А.								
Т.контр.						Аркуш 4		Аркушів 4	
Рецензент	Гордієнко О.А.					ВНТУ, ТЗД-19м			
Н. контр.	Васильківський І.В.								
Затвердив	Іщенко В.А.								