

Хмельницький національний університет  
Гуманітарно-педагогічний факультет  
Кафедра екології та біологічної освіти

ДИПЛОМНА РОБОТА


здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Оцінка потенціалу енергокультур у Хмельницькій області

Галузь знань – 10 «Природничі науки»

Спеціальність – 101 «Екологія»

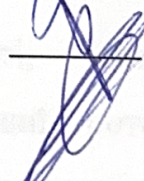
ДРЕКОЛ. 020042.01.09.00

Виконала: здобувачка 4 курсу, група ЕКОЛ-20-1  Анна МУХА

Керівник

 Ольга ЄФРЕМОВА

Нормоконтролер


 Сергій ШЕВЧЕНКО

До захисту допускаю:

Зав. кафедри екології

та біологічної освіти

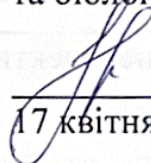
12 червня 2024 р.

 Наталія МІРОНОВА

Хмельницький 2024

Факультет – Гуманітарно-педагогічний  
Кафедра – Екології та біологічної освіти  
Освітній рівень – перший (бакалаврський)  
Галузь знань – 10 «Природничі науки»  
Спеціальність – 101 «Екологія»  
Освітньо-професійна програма – «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри екології  
та біологічної освіти

  
Наталія МІРОНОВА  
17 квітня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Мусі Анні Олександрівні

1. Тема роботи Оцінка потенціалу енергокультур у Хмельницькій області

керівник роботи Єфремова Ольга Олексіївна, кандидат технічних наук,  
доцент

Затверджено наказом ректора університету від 15.02.2024 р. № 8

2. Строк подання здобувачем роботи на кафедру 12.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: довідники, статті, узагальнені дані про альтернативні джерела енергії, енергетичний потенціал фітомаси та енергокультур, статистичні дані, звіти Департаменту природних ресурсів та екології Хмельницької облдержадміністрації.

4. Зміст дипломної роботи 1. Енергетичні культури в розвитку біоенергетики.

2. Методика оцінки енергетичного потенціалу енергетичних культур.

3. Оцінка перспектив вирощування енергетичних культур в Хмельницькій області.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Термін виконання етапів	Примітка
1	Енергетичні культури в розвитку біоенергетики	10.05-17.05.2024	<i>викон.</i>
2	Методика оцінки енергетичного потенціалу енергетичних культур	18.05-26.05.2024	<i>викон.</i>
3	Оцінка перспектив вирощування енергетичних культур в Хмельницькій області	27.05-02.06.2024	<i>викон.</i>
4	Оформлення роботи	03.06-11.06.2024	<i>викон.</i>

Дата видачі завдання: 10.05.2024 р.

Здобувач



Анна МУХА

Керівник



Ольга ЄФРЕМОВА

## АНОТАЦІЯ

Тема роботи: «Оцінка потенціалу енергокультур у Хмельницькій області».

Автор – здобувачка ЕКОЛ-20-1 А.О. Муха.

Керівник – доцент, доцент кафедри екології та біологічної освіти, кандидат технічних наук О.О. Єфремова.

Дипломна робота викладена на 55 сторінках, містить 10 таблиць, 6 рисунків та перелік джерел посилання з 34 джерел, додаток.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ, ЕНЕРГЕТИЧНІ КУЛЬТУРИ, БІОМАСА, БІОПАЛИВО, ЕКОНОМІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ.

В роботі вивчено та проаналізовано значення енергетичних культур в розвитку біоенергетики; види енергетичних культур та методи оцінки їх енергетичного потенціалу. Наведена загальна характеристика та проаналізовано стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні та світі. Здійснено оцінку перспектив вирощування енергетичних культур у Хмельницькій області, зокрема, визначено енергетичний потенціал енергетичних культур та обґрунтовано перелік пріоритетних видів енергетичних культур з урахуванням місцевих умов та розвитку сільського господарств. Дані рекомендації щодо вирощування енергетичних культур.

11.06.2024 р.



А. О. Муха

## ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1 Енергетичні культури в розвитку біоенергетики .....	7
1.1 Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні та світі.....	7
1.2 Класифікація енергетичних культур, їх переваги та недоліки .....	16
2 Методика оцінки енергетичного потенціалу енергетичних культур .....	25
3 Оцінка перспектив вирощування енергетичних культур у Хмельницькій області.....	33
3.1 Оцінка енергетичного потенціалу енергетичних культур у Хмельницькій області.....	33
3.2 Розробка рекомендацій щодо вирощування енергетичних культур..	45
Висновки.....	49
Перелік джерел посилання.....	51
Додаток А Перелік сортів енергетичних рослин, придатних для вирощування в Україні .....	56

## ВСТУП

Недбале ставлення людства до природного середовища та інтенсивні методи виробництва спричинили виснаження запасів вугілля, нафти і газу, зміни клімату та глобальну екологічну кризу. Водночас чисельність населення планети постійно збільшується, що веде до зростання споживання енергоресурсів і харчових продуктів. У цьому контексті джерела відновлюваної енергії набувають надзвичайно важливого стратегічного значення, причому особливу роль відіграє виробництво енергії з біопалива, оскільки рослини є майже невичерпним джерелом харчових продуктів і сировини. Це має вирішальне значення в умовах зростаючого глобального дефіциту ресурсів. Крім того, біоенергетика відіграє ключову роль у зменшенні викидів парникових газів, що є надзвичайно актуальним в контексті глобального потепління та зміни клімату.

Україна має міжнародні зобов'язання щодо зменшення викидів парникових газів, визначені Паризькою кліматичною угодою 2015 року, які полягають у досягненні національно визначених внесків. На даний момент, це зобов'язання передбачає зниження викидів парникових газів на 40 % до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року, але в найближчі роки цей показник може значно зрости – до близько 70 % у 2050 році.

Для досягнення цієї нової мети Україна має перейти до низьковуглецевої економіки, суттєво зменшити споживання викопного палива, підвищити енергоефективність та активно впроваджувати відновлювані джерела енергії. При цьому, ключовим елементом біоенергетичного сектору мають стати енергетичні культури. Таким чином, розробка та впровадження нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, в тому числі і використання енергетичних культур, в Україні є надзвичайно важливим та актуальним питанням.

Мета роботи – оцінка потенціалу вирощування та використання енергетичних культур у Хмельницькій області.

Для досягнення мети вирішувалися такі основні завдання:

- вивчити та проаналізувати значення енергетичних культур в розвитку біоенергетики;
- вивчити види енергетичних культур та методи оцінки їх енергетичного потенціалу;
- визначити енергетичний потенціал енергетичних культур та фітомаси у Хмельницькій області.

Об’єкт дослідження – потенціал енергетичних культур у Хмельницькій області.

Предмет дослідження – економічні та екологічні аспекти вирощування енергетичних культур у Хмельницькій області.

Методи дослідження. Теоретичною та методологічною основами дослідження є праці вітчизняних та закордонних вчених у сфері енергетичного використання фітомаси та енергетичних культур, теоретичні та методологічні розробки щодо впровадження біоенергетичних проєктів. У роботі були використані загальнонаукові методи дослідження: теоретичні, розрахункові.

Практичне значення одержаних результатів. Проведено оцінку енергетичного потенціалу енергетичних культур та фітомаси у Хмельницькій області шляхом визначення економічно доцільного потенціалу загалом та за окремими видами енергоресурсів. Визначено пріоритетні види біомаси саме для умов Хмельницької області.

Апробація результатів дипломної роботи: окремі частини дослідження та одержані узагальнення були висвітлені в матеріалах щорічної Студентської науково-практичної конференції за підсумками науково-дослідної роботи студентів кафедри екології та біологічної освіти (21 травня 2024 року, м. Хмельницький).

# 1 ЕНЕРГЕТИЧНІ КУЛЬТУРИ В РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИКИ

## 1.1 Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні та світі

На сучасному етапі біоенергетика належно займає провідну позицію у галузі відновлюваної енергетики на світовому рівні. Вона відіграє значну роль у заміщенні викопних палив та зменшенні викидів парникових газів. Протягом останніх двадцяти років обсяги виробництва первинної енергії з біомаси та біопалив у світі зросли на третину, із середньорічним темпом зростання 2 %, досягнувши близько 10 % від загального обсягу виробництва первинної енергії або майже 70 % від загальних постачань енергії з відновлюваних джерел. У структурі глобального кінцевого споживання енергії частка біомаси складає 12 %, що є найбільш значущим внеском серед усіх джерел відновлюваної енергії [1].

На сьогоднішній день основним джерелом виробництва енергії з біомаси у світі є тверда біомаса, що охоплює деревину, деревну тріску, гранули, деревне вугілля та інші форми твердої біомаси. Ці види вміщують 85 % загального обсягу споживання біомаси для енергетичних цілей. Решту частки становлять рідкі біопалива (7 %), торф, промислові відходи (5 %) та біогаз (3 %).

Сучасна біоенергетика становить понад дві третини світового споживання відновлюваного тепла, переважно в промисловому та житловому секторах. На сьогодні біоенергетика залишається провідним джерелом відновлювального тепла, і, за прогнозами, її обсяги зростуть на 12 % (1,7 ЕДж) до 2024 року. Промисловий сектор споживає дві третини сучасної біоенергії, переважно для промислових процесів.

У 2018 році світове виробництво біопалива зросло на 10 мільярдів літрів, досягнувши рекордного рівня в 154 мільярди літрів, що становить 7 % річного зростання. Це вдвічі більше порівняно з 2017 роком та найвищий приріст за останні п'ять років. Прогнозується, що до 2024 року виробництво

біопалива зросте на 25 %, завдяки розширенню ринків біопалива в Бразилії, США та особливо Китаї [2].

Виробництво біопалив у світі у період з 2010 року по 2025 рік у порівнянні зі сценарієм сталого розвитку наведено на рисунку 1.1 [2].

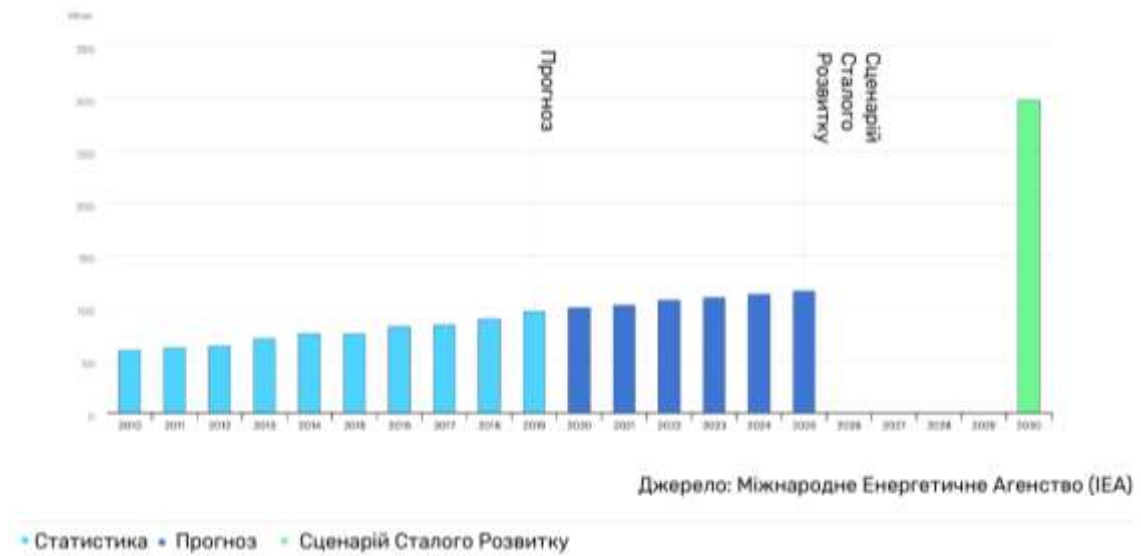


Рисунок 1.1 – Виробництво біопалив у світі у період з 2010 року по 2025 рік

Згідно [3] за останні 20 років отримання первинної енергії з біомаси та біопалив у світі зросло на третину, досягнувши близько 10 % від загального постачання первинної енергії (ЗППЕ) та майже 70 % ЗППЕ з відновлюваних джерел. Подібна ситуація спостерігається і в Європейському Союзі, де близько 11 % первинної енергії надходить з біоенергетики, що становить 65 % загального внеску всіх відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Згідно з аналізом проведеним незалежною консультаційною фірмою CE Delft (Нідерланди), здійснюється прогноз щодо максимального потенціалу глобального виробництва біоенергії в сталому режимі у 2050 році втричі зросте, порівняно із світовим постачанням первинної енергії у 2015 році [3].

У таблиці 1.1 наведено прогнози щодо потенціалу глобального виробництва біоенергії на 2030 та 2050 роки для чотирьох категорій біомаси з розподілом на сталий та технічний потенціали.

Таблиця 1.1 – Оцінка глобальних потенціалів первинної енергії з біомаси у 2030 та 2050 роках (ЕДж) [3]

Вид біомаси	Технічний потенціал у 2030 р.	Сталий потенціал у 2030 р.	Технічний потенціал у 2050 р.	Сталий потенціал у 2050 р.
Енергетичні культури	25-90	25-40	25-330	25-110
Сільськогосподарські відходи та залишки	25-190	10-65	25-560	10-65
Лісові продукти та залишки	30-70	25-40	45-265	25-40
Водна біомаса	50-100	50-100	1000-2000	750-1500
Разом (з водною біомасою)	130-450	110-245	1095-3155	810-1715
Разом (без водної біомаси)	80-350	60-145	95-1155	60-215

Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики (IRENA) провело аналіз і розробило прогноз щодо використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до 2050 року. Згідно з дослідженням IRENA, передбачається, що ВДЕ можуть скласти 60 % від загального обсягу кінцевого споживання енергії в багатьох країнах. Наприклад, прогнозується, що в Китаї частка використання ВДЕ у споживанні енергії може зрости з 7 % у 2015 році до 67 % у 2050 році. У Європейському Союзі цей показник може зрости з 17 % до понад 70 %.

У секторі електроенергетики Європейського Союзу передбачається, що відповідно до різних сценаріїв, включаючи високий рівень використання «зеленої» енергії до 2050 року, частка біомаси у виробництві електроенергії становитиме від 10 % до 12 %.

На сьогоднішній день біомаса забезпечує близько 17 % загальної потреби Європейського Союзу у теплі і холоді, що відповідає 87 % загального внеску всіх відновлюваних джерел енергії. За останні двадцять років обсяг споживання тепла, отриманого з біомаси в Європі, збільшився в 1,7 рази, а саме з 52 млн т до 90 млн т нафтового еквіваленту щорічно.

Важливо відмітити, що швидкий зріст обсягів виробництва тепла за допомогою теплових насосів до 2040 року виглядає ймовірним для країн з

теплим кліматом, де коефіцієнт перетворення тепла може досягати значення 3 і більше, що сприяє ефективності роботи теплових насосів. У країнах з холодними зимами (включаючи Україну), середньо сезонний коефіцієнт відношення корисної роботи до спожитої електроенергії не досягає значення 3, що обмежує економічну доцільність широкого застосування теплових насосів.

Одним із перспективних напрямів розвитку біоенергетики та збільшення обсягів використання енергії, отриманої з біомаси, є використання агробіомаси, що охоплює сільськогосподарські залишки та спеціально вирощені енергетичні рослини. Хоча на сьогоднішній день лише 10 % загального обсягу біоенергії виробляється з агробіомаси, за оцінками експертів, існує значний потенціал для збільшення цієї частки. Це можливо здійснити, передусім, за допомогою підвищення врожайності як традиційних, так і спеціально вирощених енергетичних культур у різних регіонах світу, враховуючи характеристики кожного виду культури.

Обсяги виробництва рідких біопалив, біогазу та гранул з біомаси постійно зростають. У 2018 році в світі було виготовлено 160 мільярдів літрів рідких біопалив, 59,3 мільярдів кубічних метрів біогазу і 36,6 мільйонів тонн гранул. Ці показники перевищують відповідні дані за 2010 рік у 1,5, 1,6 і 2,5 рази відповідно. Більшість рідких біопалив складає біоетанол, отриманий з кукурудзи та цукрової тростини (62 % від загального обсягу), основними виробниками якого є США та Бразилія. Частка біодизелю першого покоління в загальному обсязі виробництва становить 26 %. Понад половину загального обсягу біогазу та гранул з біомаси виробляється в Європі.

Європейський Союз займає ведучу позицію як виробник і споживач відновлюваної енергії і протягом багатьох років успішно рухався в напрямі досягнення цілі 2020 року щодо частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у валовому кінцевому енергоспоживанні на рівні 20 %. На даний момент ЄС зосереджує свої зусилля на досягненні цілей і завдань, визначених Європейським зеленим курсом, що був ухвалений наприкінці 2019 року.

Європейський зелений курс є комплексною стратегією, спрямованою на перехід Європи до сталої економіки, чистої енергетики і досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. За оцінками Європейської комісії, для досягнення амбітної мети зі скорочення викидів парникових газів до нуля частка біоенергетики у загальному енергетичному міксі має складати принаймні 20 % (або близько 30 % від усіх джерел відновлюваної енергії) у 2050 році.

Згідно з даними Eurostat, у 2019 році частка використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у валовому кінцевому споживанні енергії досягла 19,7 %. У 2018 році валове внутрішнє споживання біомаси в ЄС-28 становило 144 мільйони тонн нафтового еквіваленту на рік, що відповідає близько 11 % загального виробництва первинної енергії (ПЕ) (понад 65 % від усіх ВДЕ) або 12 % валового кінцевого споживання енергії. У структурі цієї біомаси 70 % припадає на лісову біомасу, 18 % на агробіомасу, та 12 % на відновлювану частину відходів [4].

Незаперечною тенденцією є зростання обсягів виробництва енергії з агробіомаси, що отримує підтримку на європейському рівні. За оцінками фахівців, у довгостроковій перспективі енергетичний потенціал біомаси Європейського союзу буде становити від 169 млн т до 737 млн т нафтового еквіваленту на рік. Основною складовою цього потенціалу буде агробіомаса, яка включає сільськогосподарські залишки та енергетичні культури. Найбільш ймовірним є досягнення середнього рівня потенціалу біомаси на рівні 406 млн т нафтового еквіваленту на рік, що становить приблизно 30 % виробництва первинної енергії в Європейському союзі в 2018 році.

У 2018 році була введена нова редакція Директиви Європейського Союзу, яка сприяє використанню відновлюваної енергії (Директива ЄС 2018/2001, відома як RED II). Основні обов'язкові цілі, встановлені цією Директивою до 2030 року, включають досягнення не менше ніж 32 % частки відновлюваних джерел енергії в загальному валовому споживанні енергії в Європейському Союзі і 14 % використання відновлюваної енергії у секторі

транспорту. При цьому поняття відновлюваної енергії у транспорті охоплює рідкі біопалива (включаючи біопалива другого покоління), біогаз, електроенергію з відновлюваних джерел енергії, а також відновлювані рідкі та газоподібні палива небіологічного походження [5].

Для відповідності цілям, визначеним у Директиві RED II щодо використання 3,5 % біопалива другого покоління в транспортному секторі до 2030 року, країни-члени Європейського Союзу активно працюють над розширенням виробництва біоетанолу з лігноцелюлозної сировини. Наприклад, у 2018 році в Фінляндії був запущений завод з виробництва біоетанолу з тирси з щорічною потужністю 10 мільйонів літрів, з планами на збільшення до 50 мільйонів літрів. Ще один завод потужністю 50 мільйонів літрів на рік мав бути запущений у цій країні у 2020 році. Крім того, були заплановані проекти з виробництва біоетанолу з соломи у Словаччині та Румунії потужністю 65 мільйонів літрів на рік кожен у 2020 році. На даний момент усі ці заводи знаходяться на стадії будівництва.

Розвивається також виробництво дизельного біопалива другого покоління. Наприклад, у 2019 році в Італії був запущений завод з виробництва гідрогенізованої рослинної олії (HVO) — сучасного виду біопалива для дизельних двигунів, який отримують за допомогою гідроочищення олій та жирів. У 2020 році завод повністю перейшов на використання сировини, яка відповідає критеріям біопалив другого покоління та має високий потенціал сталості, включаючи використану харчову олію, тваринний жир, побічні продукти переробки рослинної олії та водорості. Виробнича потужність заводу становить до 750 тисяч тонн на рік за сировиною [6].

Альтернативна енергетика на сучасному етапі є необхідністю для бізнесу і населення. З 32 мільйонів гектарів сільськогосподарських земель близько 4 мільйонів гектарів є малородючими, що дозволяє використовувати їх для вирощування енергетичних культур, таких як міскантус гігантський,

світчграс (просо лозоподібне), салікс (енергетична верба), топінамбур та тополя.

Ґрунтово-кліматичні умови більшості регіонів України сприятливі для вирощування багаторічних енергетичних рослин, які ефективно перетворюють сонячну енергію в енергомістку біомасу. Ці рослини не потребують високої родючості ґрунтів, значного внесення добрив та пестицидів, запобігають ерозії ґрунту, сприяють збереженню і покращенню агрокосистем, а також забезпечують низьку собівартість біомаси. Таким чином, енергетичні рослини можна культивувати на малопродуктивних землях. Це стає особливо актуальним для відновлення ґрунтів, які були порушені під час війни [7].

Вважається, що солома зернових культур є найперспективнішою і найдешевшою сировиною для виробництва твердого біопалива в Україні. Однак тут слід враховувати те, що значна кількість макро- та мікроелементів з ґрунту видаляється разом із соломою. А це, в свою чергу, негативно впливає на родючість ґрунтів і змушує здійснювати їх відновлення, для чого необхідно внести 42 кг діючої речовини добрив на гектар землі. Натомість, багаторічні енергетичні культури сприяють значному надходженню органічних речовин у ґрунт завдяки кореневій системі та післяжнивним решткам, що підвищує його родючість. Крім того, міскантус має важливу особливість – його стебла не накопичують зольних елементів і важких металів, що дозволяє цій рослині вирощуватися на одному полі протягом 20 років без зниження родючості ґрунту. Біомаса стебел міскантусу має високий вміст целюлози та низький вміст важких металів, що є ідеальним при виробництві твердого біопалива. Ще одна перевага багаторічних енергетичних культур – потужна коренева система, зменшує ерозійні процеси і робить можливим вирощувати їх на схилах.

Біомаса в енергетиці може використовуватися безпосередньо шляхом спалювання або як паливо після попередньої переробки в дизельне паливо, етанол чи газ. Джерелом енергетичної сировини можуть бути як побічні

продукти рослинного походження (солома, лушпиння соняшника, стебла кукурудзи тощо), так і спеціально вирощені енергетичні рослини. Ці рослини виступають важливими абсорбентами вуглекислого газу, зменшуючи його кількість в атмосфері [8].

Ці рослини дають високі врожаї біомаси, яку можна використовувати для виробництва біопалива. Серед переваг енергетичних культур виділяють високу врожайність та невибагливість до умов вирощування. За короткий час вони забезпечують значний приріст біомаси. У порівнянні з традиційними джерелами, витрати на вирощування таких культур в перерахунку на еквівалент енергії значно менші, ніж вартість одержаних енергоносіїв [4].

Використання рослинної біомаси при її безперервному відновленні (наприклад, висадка нових лісових насаджень після вирубки) не збільшує концентрацію CO<sub>2</sub> в атмосфері. При цьому, вибір енергетичної культури залежить від типів ґрунтів, розташування ділянки, зволоженості ґрунту, видів ландшафту тощо.

Економічно обґрунтований потенціал біомаси в Україні становить 27 млн т на рік [5]. Основними компонентами цього потенціалу є аграрні відходи та енергетичні культури. Відповідно до даних Біоенергетичної асоціації України, при використанні 1 млн га для вирощування енергетичних культур, тріска та солома, отримані з цих площ, складатимуть 23 % від загального теоретично доступного потенціалу біомаси в Україні, яка може бути використана в енергетичних цілях. Це відповідає 4,88 млн т нафтового еквівалента (н.е.) або 11,5 млн т твердого біопалива.

За експертними оцінками, в Україні нараховується 15 млн га деградованих та малопродуктивних земель різного призначення (станом до 2022 року). Серед них щонайменше 4 млн га необроблених сільськогосподарських земель є придатними для вирощування енергетичних культур.

За даними дослідження Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського, досягнення площі насаджень енергетичних культур у

1 млн га в Україні є цілком реальним. Експерти оцінюють, що в Україні є щонайменше 4 млн гектарів необроблених сільськогосподарських земель, з яких приблизно 1 млн гектарів є придатними для вирощування енергетичних культур (рисунок 1.2).

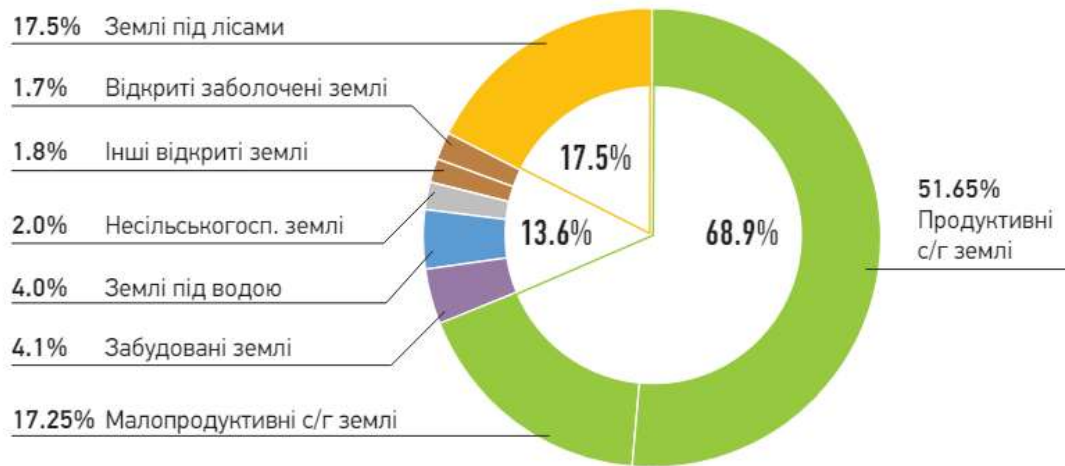


Рисунок 1.2 – Структура земельних угідь України [6]

Енергетичні культури, які використовуються в Україні, надходять з європейських країн (Швеції, Польщі, Італії). Ці культури вже включені до реєстрів відповідних країн. Кліматичні умови цих країн подібні до умов в Україні, тому відповідні енергокультури можна вважати придатними для вирощування і в Україні, зокрема у Хмельницькій області [9].

Енергетичні рослини слід вирощувати на землях, що непридатні або малоприсадибні для сільськогосподарського використання. А надмірне зволоження ґрунтів, що є несприятливим для традиційних сільськогосподарських культур, позитивно впливає на енергетичні культури, такі як верба, тополя, міскантус та інші [10].

Найбільш сприятливою частиною України з погляду кількості опадів є та, де середньорічна кількість опадів становить щонайменше 550 мм, а оптимальною є понад 650 мм на рік. Також важливим фактором для промислових масштабів вирощування енергокультур є плоскі та рівні ландшафти із сприятливими ґрунтами.

Ще одним важливим критерієм є здатність ґрунту утримувати вологу. Вибір культури повинен здійснюватися з урахуванням умов конкретної ділянки, кількості опадів та типу ґрунту [11].

Україна, завдяки великим земельним площам, які не використовуються у сільському господарстві, та її географічному розташуванню, вважається однією з найпривабливіших країн у Європі для сталого вирощування енергетичних культур без шкоди для рекреаційних або природоохоронних територій. Для активізації використання таких земель для вирощування енергетичних культур необхідна ініціатива з боку держави, створення сприятливих умов на законодавчому рівні та залучення інвесторів. Це дозволить використовувати потенціал земель, які не задіяні у сільському господарстві, для вирощування енергетичних культур. Використання такого потенціалу для виробництва енергії може задовольнити приблизно від 12 % до 15 % потреб України у первинній енергії [12].

## 1.2 Класифікація енергетичних культур, їх переваги та недоліки

На сучасному етапі альтернативна енергетика стала необхідністю як для бізнесу, так і для населення. Більшість країн Європи вже значно зменшили своє споживання традиційних джерел енергії, таких як газ, вугілля і електрика, перейшовши на біопаливо. Україна, протилежно, використовує менше 10 % біоенергії, не використовуючи навіть біоетанол або тверде паливо [13, 14].

Згідно [13] з існуючих 32 мільйонів гектарів сільськогосподарських земель (станом, до повномасштабного вторгнення РФ), приблизно 4 мільйони гектарів є малородючими та придатними для вирощування енергетичних культур, таких як міскантус гігантський, світчґрас (просо лозоподібне), салікс (верба енергетична), топінамбур і тополя. У випадку вирощування енергетичних культур на 1 мільйон гектарів з середньою врожайністю близько 11,5 мільйонів тонн на рік, можна замінити до 5,5 мільярдів

кубометрів газу щорічно. Це вказує на потенційну можливість України замінювати близько 20 мільярдів кубометрів газу енергетичними культурами, що сприятиме досягненню енергонезалежності.

На сьогоднішній день відомо приблизно 20 видів швидкозростаючих рослин, які можна вирощувати з метою отримання рослинної біомаси. Серед них є евкالیпт, тополя, верба, міскантус та інші. Зібрану біомасу можна використовувати для виробництва теплової та електричної енергії, а також як сировину для виробництва твердого біопалива у вигляді паливних гранул та брикетів [15].

Енергетичні культури є рослинами, які вирощуються спеціально для використання як паливо або для виробництва біопалива. Біомасу цих рослин переробляють на різноманітні види енергоносіїв, такі як тверде паливо, біодизель і біоетанол, а також біогаз, який використовується для роботи різних устаткувань. Як однорічні, так і багаторічні трав'яні рослини та дерева використовуються як промисловою сировиною вже протягом тривалого часу, і нещодавно вони також почали використовуватися як енергетичні культури [13].

На сьогодні існує державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Це офіційний перелік сортів, рекомендованих для використання в Україні. Відповідальність за ведення цього Реєстру покладається на Міністерство аграрної політики та продовольства України. У Реєстрі міститься інформація про рослину, зокрема про культурну групу, ботанічний таксон, назву сорту, дату реєстрації, наявність патенту, рекомендації щодо напрямів використання та зон вирощування, а також відомості про країну походження сорту, власника та заявника [16].

16 квітня 2024 року був офіційно опублікований оновлений Реєстр, який включає 375 видів ботанічних таксонів і 14451 сорт рослин. В Реєстр було внесено 36 сортів енергетичних рослин, включаючи кілька видів верби, міскантус гігантський, павловнію та просо прутоподібне. Власниками цих сортів є 20 фізичних та юридичних осіб, включаючи дослідні інститути

аграрної академії наук України та Національної академії наук України. Загалом, 8 сортів енергетичних рослин мають зарубіжне походження, зокрема верба прутувидна (сорт Вільгельм і Ліннея з Швеції), міскантус гігантський (сорт Іллінойс з Польщі) і павловнія (сорт Котевіса, Турбо Про з Іспанії) [17].

Садивний матеріал набуває статусу готового до обігу лише після проходження процедури сертифікації. Цей процес передбачає видання сертифікатів лише для садивного матеріалу, який відповідає вимогам стосовно сортів, що зареєстровані в Реєстрі сортів рослин України. Однак, для забезпечення можливості проведення посівних робіт, садивний матеріал може використовуватися без включення до Реєстру, проте лише на період створення резерву садивного матеріалу. Право на виробництво насіння та садивного матеріалу надається тільки за умови дотримання майнових прав інтелектуальної власності на сорти рослин, що регулюється відповідним законодавством [17, 18]. Перелік сортів енергетичних рослин, придатних для вирощування в Україні наведено у додатку А.

Енергетичні культури є однорічними або багаторічними швидкорослими рослинами, можуть бути як лісовими (наприклад, верба, тополя), так і сільськогосподарськими (такі як міскантус, просо, сорго, мальва пенсильванська тощо). Вони можуть використовуватися для отримання біомаси або для виробництва біопалива. Головною перевагою вирощування цих рослин є їхня висока продуктивність, яка складає від 10 тон до 25 тон на гектар на рік, та можливість тривалого використання протягом до 30 років.

Ресурси, які походять з трав'яних рослин та органічних залишків, є допустимими для створення різноманітних видів енергетичних ресурсів та генерації енергії за допомогою різних методів обробки. Наприклад, олійні культури, такі як озимий ріпак, переважно використовуються для виробництва біодизельного палива, в той час як рослини, які містять цукор і крохмаль (наприклад, цукрові буряки, зернові культури), використовуються

для виробництва біоетанолу. При виробництві біопалива першого покоління використовується лише частина рослини (зерно або м'якоть коренеплодів буряків), що має значний вплив на економічну ефективність виробництва.

У контексті технології виробництва біопалива другого покоління передбачається, що весь рослинний матеріал піддається переробці на джерело енергії, що призводить до отримання значно вищих показників виходу газу. Раніше такий підхід використовували для виробництва біогазу для генерації електроенергії та тепла або для використання газового палива.

Усупереч широкому поширенню використання енергетичних культур, на сьогоднішній день в світі відсутня єдина узагальнена класифікація, яка застосовується до таких культур. Таким чином, на думку дослідників згідно [13], доцільно класифікувати енергетичні культури за певними категоріями (рисунок 1.3).

Важливо відзначити, що виробництво енергії з використанням відновлюваних джерел, у тому числі з біомаси, активно розвивається у багатьох країнах. Наприклад, у Бразилії основною сировиною для виробництва біопалива є цукрова тростина, в Сполучених Штатах – кукурудза (одна тонна кукурудзи на силос може видобувати від 200 кубічних метрів біогазу до 400 кубічних метрів біогазу). У країнах Європи, особливо в Німеччині, продовжує зростати виробництво біопалива з цукрових буряків. Одним з перспективних альтернативних джерел енергії на сьогодні вважається тверда біомаса органічного походження, включаючи рослину, яка є екологічно безпечним джерелом відновлювальної енергії. Використана енергія біомаси еквівалентна 2 мільярдам тон нафтового еквіваленту на рік, що становить приблизно від 13 % до 15 % від загального використання первинних енергоресурсів у світі.



Рисунок 1.3 – Класифікація енергетичних культур [13]

Біомаса в енергетиці може бути використана як напряму, через її спалювання, так і після попередньої переробки в різні види палива, такі як дизельне паливо, етанол або газ. Джерелами енергетичної сировини можуть бути як побічні продукти рослинного походження (наприклад, солома, лушпиння соняшника, стебла кукурудзи і т. д.), від яких щорічно утворюється до 50 мільйонів тон відходів, так і спеціально вирощені енергетичні рослини. Останні є важливими абсорбентами вуглекислого газу, сприяючи зменшенню його вмісту в атмосфері, що представлено на рисунку 1.4.

Ці енергетичні рослини характеризуються високими показниками вирощування біомаси, яка може бути використана для виробництва біопалива. Крім того, вони відрізняються високою врожайністю та невибагливістю до умов вирощування. Протягом короткого періоду часу ці культури можуть значно збільшувати свою біомасу. У порівнянні з витратами на вирощування традиційних джерел енергії, витрати на вирощування таких культур виявляються значно меншими при отриманні

енергетичного еквіваленту.

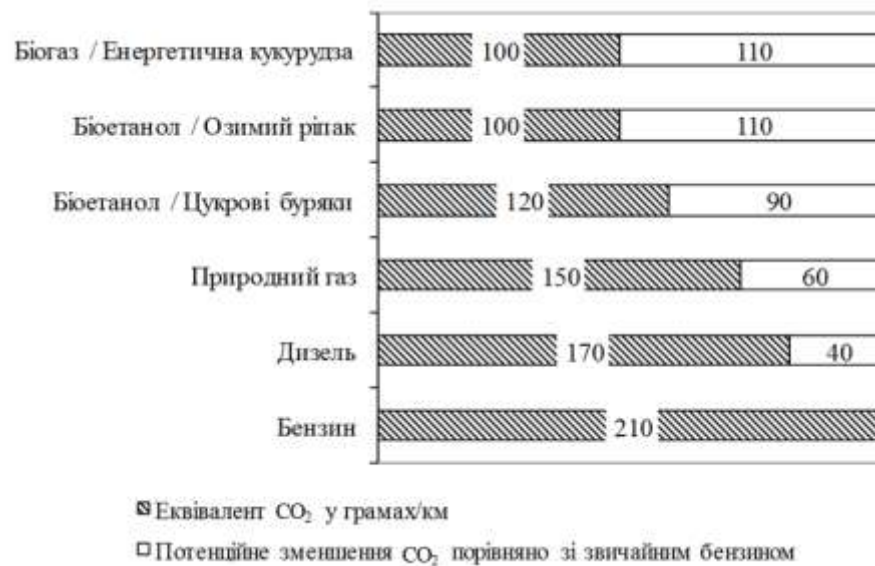


Рисунок 1.4 – Потенційне зменшення викидів CO<sub>2</sub> завдяки біоенергії [13]

Використання рослинної біомаси, за умови її сталого відновлення, як, наприклад, нові насадження лісу після рубки, не призводить до збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері. При цьому вибір конкретної енергетичної культури залежить від різноманітних факторів, таких як тип ґрунту, географічне розташування ділянки та доступ до вологи, а також особливостей ландшафту. Необхідно чітко визначити терміни та методи збору врожаю, його зберігання, обробки та транспортування (економічно доцільна відстань транспортування біомаси як палива не повинна перевищувати 50 кілометрів). Хоча було проведено значну кількість досліджень з використання різноманітних рослин для енергетичних цілей, проте лише деякі види досягли комерційної ефективності та вирощуються на великих площах, що продемонстровано на рисунку 1.5 [13, 19].

Серед найбільш розповсюджених енергетичних культур можна відзначити міскантус, світчграс, вербу та тополю. Вони часто висаджуються на протязі періоду від 10 років до 15 років і можуть продуктивно рости протягом 30 років. Підготовка ґрунту для їх культивування не потребує значних енергетичних витрат, а врожай можна збирати взимку або навесні з

використанням стандартної сільськогосподарської техніки. Таким чином, вирощування енергетичних культур може вирішити низку проблемних питань у сфері екології, соціуму та економіки.

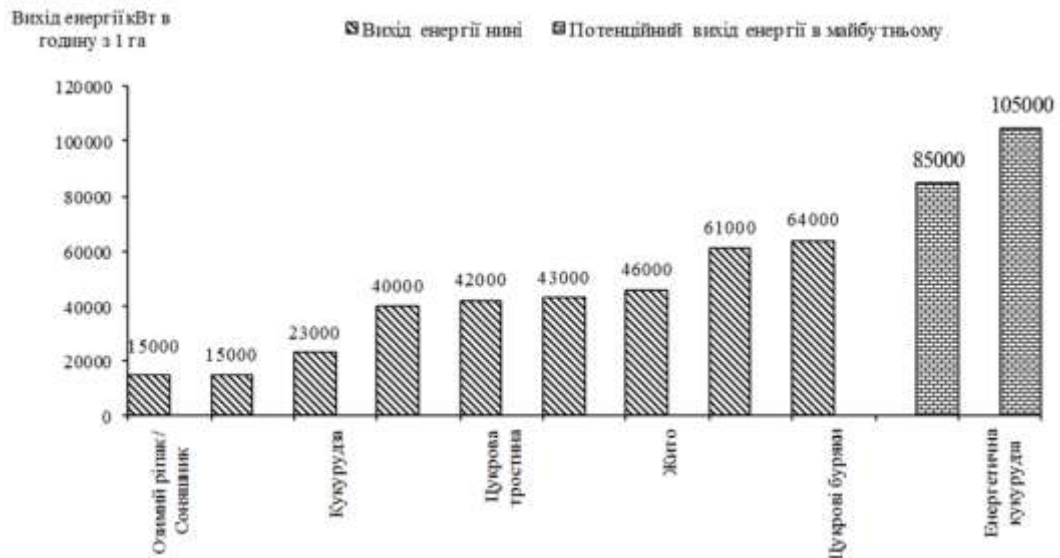


Рисунок 1.5 – Врожайність та потенціал енергетичних рослин [19]

Серед екологічних переваг можна виділити наступні:

- можливе використання низькопродуктивних і непродуктивних земель під вирощування, адже більшість із біоенергетичних культур добре ростуть на неродючих ґрунтах;
- зупинення збіднення ґрунту. Так, на думку вчених, в Україні збіднюються ґрунти, адже з полів забирають солому, яка йде на виробництво пелет. Доведено: якщо забирати солому з ґрунту (близько 4 млн т щорічно), з нього вилучається приблизно 168 кг/га діючої речовини – азоту, фосфору, калію – без належної компенсації. Щоб повернути їх у ґрунт, потрібно внести не менше 216 кг/га добрив у фізичній величині. В результаті, ґрунти засолюються і втрачають родючість. Отже, замість соломи можна використовувати такі культури, як світчґрас, міскантус і вербу;
- зменшення викидів парникових газів;
- скорочення вирубки лісів. Нині лісистість України становить лише 15 %, тоді як у Польщі – 27 %, Фінляндії – 70 %. Для підвищення цього

показника можна засадити 1,5 млн га вербою й тополею, а 0,5 млн га – зайняти міскантусом і світчграсом;

– можливе із часом відновлення непродуктивних земель, оскільки для біомаси використовуються тільки стебла рослин, листя опадає, перегниває й стає добривом. Як приклад: міскантус на одному місці може рости десять років та удобрювати своїм листям неродючі ґрунти;

– безпека для клімату та навколишнього природного середовища. При використанні енергетичних культур відбувається збереження ресурсів природного газу й вугілля, а органічні рештки (такі як солома, гній тощо), можливо використовувати на заводі з виробництва біогазу.

Серед соціальних переваг найвагоміші: розвиток сільських місцевостей за рахунок збільшення цінності та гарантії функціонування інфраструктури в регіоні; створення нових робочих місць, що підвищить рівень зайнятості та добробуту сільського населення; поліпшення екологічної ситуації, адже екологічні переваги поліпшують стан навколишнього природного середовища; зменшення витрат на енергію за рахунок використання дешевшої й доступнішої альтернативної енергії.

Економічні переваги від вирощування енергетичних культур полягають в наступному: ефективність вирощування та переробки. Високі показники виходу газу (виробництво енергії на гектар) для всіх джерел одержання. Можливість використання всієї енергетичної рослини як похідної для одержання, наприклад, біогазу, що сприяє підвищенню її потенціалу (приріст біомаси й утилізація). Значне підвищення ефективності завдяки поєднанню потенціалу енергетичних культур, гною та органічних решток, наприклад, на біогазовому заводі; заміна газу й вугілля. Наприклад, 500 тис. га міскантусу відповідають 6,5 млн т вугілля. Завод із виробництва біогазу може виробити до 2 мегават, яких достатньо для забезпечення енергопостачанням приватних господарств у місті з населенням 15 тис. осіб; інтеграція у виробничий процес сільського господарства за рахунок використання сільськогосподарських культур і органічних решток для виробництва енергії;

зменшення витрат на логістику за рахунок застосування закритих (регіональний) циклів біогенів.

Однак поряд з очевидними перевагами вирощування енергетичних культур, існують певні проблеми, які гальмують або навіть перешкоджають розвитку цієї галузі. Серед них можна виокремити наступні:

- відсутність ефективних фінансових стимулів у вигляді державних субсидій та пільг для виробників та споживачів біоенергетичного обладнання;
- відсутність активних державних і регіональних програм для розвитку біоенергетики та локальних видів біопалива;
- можливості сектора біоенергетики не були належним чином враховані під час розробки оновленої Енергетичної стратегії України на період до 2030 року;
- ринок біомаси та біопалива, а також інфраструктура для їх зберігання та збуту, ще не досягли достатнього рівня розвитку;
- умови для залучення інвестицій є несприятливими, включаючи зовнішні фактори, такі як політична нестабільність і корупція;
- методи визначення тарифів не мотивують виробників тепла для використання місцевих альтернативних форм біопалива. Також існує проблема відбору та виділення земельних ділянок, які підходять для створення плантацій енергетичних культур;
- вибір оптимальних видів і сортів енергетичних культур відповідно до специфічних умов вирощування;
- розроблення ефективних методів створення та організації плантацій в різних ґрунтових умовах і на різних категоріях земель;
- аналіз впливу висаджень даного типу на природне середовище, зокрема на ґрунт; особливості проведення відновлення ґрунтового покриву після завершення періоду використання насаджень.

## 2 МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

Ефективне використання біомаси для виробництва енергії передбачає адекватну оцінку її потенціалу, що є ключовою умовою. Цей потенціал класифікується на три основні типи:

- теоретично можливий (або теоретичний);
- технічно доступний (або технічний);
- економічно доцільний (або економічний) [20, 21].

Теоретичний потенціал охоплює загальний обсяг наземної біомаси, який теоретично може бути використаний для виробництва енергії в рамках фундаментальних біофізичних обмежень. У контексті сільськогосподарських культур, енергетичних рослин та лісів, теоретичний потенціал відображає максимальну продуктивність за теоретично ідеальних умов при оптимальному управлінні, враховуючи обмеження, що впливають з кліматичних факторів, таких як температура, сонячна радіація та опади. У випадку використання відходів та залишків різних видів, теоретичний потенціал відображає максимальний обсяг утворення цих відходів та залишків.

Технічний потенціал представляє собою частку теоретичного потенціалу, яка доступна при певних технічних та структурних умовах, а також за поточних технологічних можливостей. Крім цього, враховуються просторові обмеження, які виникають внаслідок конкуренції між різними користувачами земель, а також різні екологічні та інші нетехнічні обмеження [21].

Економічний потенціал визначається як частка технічного потенціалу, яка відповідає критеріям економічної вигідності в даних умовах [21].

Європейські фахівці з біоенергетики визначають два основні підходи до оцінки потенціалу біомаси: ресурсно-орієнтований та орієнтований на

енергетичні потреби. У першому випадку аналізується ресурсна база та питання конкурентного використання біомаси різними кінцевими споживачами, включаючи як енергетичне, так і неенергетичне використання. У другому випадку проводиться оцінка конкурентоспроможності різних технологій виробництва енергії з біомаси порівняно з іншими видами відновлювальних джерел енергії та традиційними джерелами палива з точки зору найбільш ефективного задоволення енергетичних потреб..

Технічний потенціал обчислюється виходячи з теоретичного шляхом застосування коефіцієнта технічної доступності. Економічний потенціал визначається з урахуванням технічного за допомогою коефіцієнта енергетичного використання [15, 21].

Коефіцієнт технічної доступності вказує на відсоток загального об'єму рослинних залишків, відходів та іншої біомаси, яка фактично може бути зібрана і доступна для подальшої обробки або використання. Коефіцієнт енергетичного використання відображає відсоток фактично зібраної кількості рослинних залишків, відходів та іншої біомаси, яка може бути використана саме для виробництва енергії [21].

Оцінка наявного потенціалу на конкретній території ґрунтується на оперативному опитуванні всіх потенційних постачальників біопалива. Серед таких постачальників можуть бути: державні лісові управління та приватні лісогосподарські підприємства; агрохолдинги; фермерські господарства, що виробляють пелети та брикети з біомаси; підприємства, що займаються обробкою деревини; компанії, що переробляють сільськогосподарську продукцію; тваринницькі комплекси; підприємства харчової та обробної промисловості і таке інше.

На даний момент державні лісові управління організовують аукціони для продажу усіх видів деревини, тому зацікавленим споживачам деревної біомаси для енергетичних цілей необхідно брати участь у цих заходах. Іншою альтернативою є прямий зворот до керівництва таких компаній із запитом щодо обсягу біомаси, яка може бути поставлена на енергетичний

об'єкт [22].

На сьогоднішній день сільськогосподарські підприємства неактивно займаються тюкуванням соломи через відсутність попиту на такий вид продукції. Деякі з них мають власну техніку для цього процесу, який полягає в утворенні циліндричних тюків. Проте сільськогосподарські компанії зазвичай не розглядають солому як товар, незважаючи на значний обсяг її наявності. Однак, якщо реальний споживач, який має власний або орендований прес-підбирач, звернеться до агрохолдингу із пропозицією купити солому у валках, ймовірно, що значна кількість сільськогосподарських підприємств дадуть позитивну відповідь. При цьому слід враховувати конкуренцію в регіоні з боку інших споживачів таких як тріска чи солома, дрова (заводи по виробництву МДФ та фанери, грибники, інші котельні та ТЕЦ) і рівень газифікації населених пунктів [22].

Ефективність впровадження проєктів з біоенергетики, спрямованих на виробництво теплової енергії, в значній мірі залежить від правильного підбору типу біопалива та організації його логістики. Вибір виду палива має базуватися передусім на його доступності та можливостях технологічного використання при зберіганні, транспортуванні і використанні як палива. Досвід впровадження біоенергетичних проєктів в Україні свідчить, що питання логістики часто недооцінюється на етапі планування, що може призводити до складнощів у подальшій експлуатації таких об'єктів. Організація логістики має включати в себе планування, виконання і ефективний контроль [22].

Організація логістики біопалива переважно залежить від типу вихідної сировини – це можуть бути аграрні відходи, такі як солома або кукурудза, деревина або деревні залишки, або готове біопаливо у вигляді гранул або брикетів. Зовнішні чинники, які впливають на схему організації логістики, включають кліматичні умови, характер ґрунтів і рельєф місцевості, масштаб проєкту та відстань перевезення. Таким чином, визначаються основні аспекти логістики біомаси, які можуть включати збір, зберігання та

транспортування [23].

В теперішній час більшість схем логістики виробників теплової енергії з біомаси обмежуються переважно транспортною логістикою. Проте відсутність розвинутого ринку біопалива змушує споживачів біомаси самостійно здійснювати процеси заготівлі та зберігання для довготривалого застосування. Розширення організаційних схем логістики дозволяє зменшити не лише ризики управління та технічні складності, але й знизити витрати на біопаливо, що суттєво впливає на вартість теплової енергії. Україна має позитивний досвід компаній, які самостійно займаються заготівлею деревних відходів та соломи, вирощуванням енергетичної біомаси чи виробництвом гранул і брикетів для власних потреб у паливі [23].

Оцінка потенціалу енергетичних культур (технічно досяжного) виконується наступним чином, із врахуванням припущень, що [20]:

- розглядаються такі культури як тополя, верба, вільха, акація та міскантус;
- вони використовуються виключно для теплового виробництва у системах опалення;
- земельні угіддя для вирощування цих культур становлять 30 % від загальної площі ріллі, що обчислюється як різниця між площею ріллі та загальною площею посіву з урахуванням площі чистих парів;
- вільна площа ріллі визначається на підставі статистичних даних;
- врожайність та калорійність біомаси енергетичних культур враховуються згідно з даними таблиці 2.1 [21].

Енергетичні культури представляють собою рослини, спеціально вирощені для використання як джерело палива та для виробництва біопалива. Ці культури можна класифікувати на наступні категорії: однорічні та багаторічні трави, швидкоростучі дерева та рослини подібні до дерев. Крім того, до енергетичних культур також відносять традиційні сільськогосподарські культури, які використовуються для вирощування біодизеля (наприклад, ріпак, соняшник), біоетанолу (наприклад, цукровий

буряк, кукурудза) та біогазу (наприклад, кукурудза).

Таблиця 2.1 – Врожайність та нижча теплота згоряння енергетичних культур

Енергетична культура	Врожайність, т сухої маси/га в рік	$Q_H^p$ сухої маси МДж/кг
1	2	3
Тополя	9,5	18,5
Верба	9	18,5
Вільха	7	20
Міскантус	12	17

Україна загалом має значні площі сільськогосподарських земель, і частина цих земель не використовується для вирощування сільськогосподарських культур. Ці вільні землі мають потенціал для використання у вирощуванні енергетичних культур.

Оцінка потенціалу енергетичних культур ґрунтується на аналізі природно-кліматичних характеристик різних регіонів та наявності невикористаних земель. Спочатку проаналізовано можливості вирощування класичних енергетичних культур, які мають потенціал для висіву на конкретній території. При цьому вважається, що приблизно половина вільних земель рідлі може бути використана для цих культур, у той час як решта земельної площі може бути відділена для вирощування традиційних сільськогосподарських культур з метою виробництва біопалива, таких як ріпак для біодизелю та кукурудза для біогазу [21].

Потім розглядаються альтернативні сценарії для вирощування кожної з перерахованих культур у кожному конкретному районі, і обирається найбільш оптимальний з урахуванням різноманітних факторів. Одним із найважливіших з них є потенціал. Під час вибору сценарію особливу увагу приділяють збереженню біорізноманіття. Для прийняття практичного рішення щодо висадження певної культури необхідно здійснити більш глибокий аналіз, враховуючи додаткові аспекти, такі як конкретне місце

розташування ділянки, характеристики та якість ґрунту, місцевий рельєф, особливості сільського господарства та інші [21].

Теоретичний енергетичний потенціал певної культури, тис. т у. п., розраховується за формулою (2.1):

$$ET = (S_i \cdot C_{ri} \cdot Q_{ri}^H) / Q_{y.p.}, \quad (2.1)$$

де  $S_i$  – площа вільної землі, яка доступна для вирощування  $i$ -ої енергетичної культури, тис. га;

$C_{ri}$  – врожайність  $i$ -ої енергетичної культури, т/га;

$Q_{ri}^H$  – нижча теплота згоряння  $i$ -ої енергетичної культури, МДж/кг;

$Q_{y.p.}$  – нижча теплота згоряння умовного палива, МДж/кг.

Технічно досяжні та економічно доцільні потенціали визначаються шляхом перемноження на коефіцієнт технічної доступності, що становить 0,85, та коефіцієнт енергетичного використання, що дорівнює 1. Значення цих коефіцієнтів встановлюються на підставі експертних оцінок фахівців.

Оцінка потенціалу використання ріпаку як енергетичної культури для виробництва біодизеля базується на припущенні, що ріпак вирощується на вільних сільськогосподарських угіддях. Площа розподіляється між вирощуванням ріпаку для біодизеля та кукурудзи для біогазу приблизно у співвідношенні 50 до 50. Для оцінки потенційного обсягу виробництва біодизеля використовується показник виходу біодизеля на один гектар, що становить 0,78 тон, що відповідає вказаній врожайності.

У цьому випадку коефіцієнт технічної доступності приймається рівним 1,0, оскільки розрахунок ґрунтується на показнику виходу біодизеля з одного гектара. Коефіцієнт енергетичного використання також приймається рівним 1,0, оскільки ріпак спеціально вирощується для виробництва біодизеля. Загальна формула для оцінки економічно доцільного енергетичного потенціалу виробництва біодизеля з ріпаку (у тисячах тон умовного палива) має такий вигляд:

$$P_e = (S \cdot ВБ_d \cdot Q_n^p \cdot K_t \cdot K_e) / Q_{y.n.}, \quad (2.2)$$

де  $S$  – площа вільної землі, яка доступна для вирощування ріпаку, тис. га;

$ВБ_d$  – вихід біодизелю, т/га;

$Q_n^p$  – нижча теплота згоряння біодизелю, МДж/кг;

$Q_{y.n.}$  – нижча теплота згоряння умовного палива, МДж/кг;

$K_t$  – коефіцієнт технічної доступності;

$K_e$  – коефіцієнт енергетичного використання.

Під час процесу виробництва біодизеля з ріпаку утворюється солома, яка також може бути використана для енергетичних цілей.

Припускається, що кукурудза вирощується на необроблених сільськогосподарських землях. Для отримання біогазу кукурудза вирощується за аналогічною технологією, як і для вирощування силосу. Сировиною для виробництва біогазу використовується вся надземна частина рослини [22].

Узагальнена формула для розрахунку економічно доцільного енергетичного потенціалу виробництва біогазу з кукурудзи (тон умовного палива) може бути визначена наступним чином:

$$P_e = (S \cdot В_p \cdot ВБ_\Gamma \cdot Q_n^p \cdot K_t \cdot K_e) / Q_{y.n.}, \quad (2.3)$$

де  $S$  – площа вільної землі, яка доступна для вирощування кукурудзи, тис. га;

$В_p$  – врожайність кукурудзи, т/га;

$ВБ_\Gamma$  – вихід біогазу, м<sup>3</sup>/т;

$Q_n^p$  – нижча теплота згоряння біогазу – 20 МДж/м<sup>3</sup>;

$Q_{y.n.}$  – нижча теплота згоряння умовного палива, МДж/кг;

$K_t$  – коефіцієнт технічної доступності;

$K_e$  – коефіцієнт енергетичного використання.

Для оцінки потенційного обсягу виробництва біогазу використовується показник виходу біогазу, який складає  $185 \text{ м}^3$  на тону та середня врожайність кукурудзи на рівні 15 тон зеленої маси з 1 гектара. Коефіцієнт технічної доступності для кукурудзи становить 0,7. Коефіцієнт енергетичного використання приймається рівним 1,0, оскільки кукурудза вирощується спеціально з метою виробництва біогазу.

### **3 ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР У ХМЕЛЬНИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ**

#### **3.1 Оцінка енергетичного потенціалу енергетичних культур у Хмельницькій області**

Згідно з даними за 2023 рік, валовий збір сільськогосподарських культур у Хмельницькій області становив: пшениці – 1520,0 тис. т, ячменю – 422,4 тис. т, ріпаку – 322,5 тис. т, кукурудзи на зерно – 1996,5 тис. т, соняшника – 560,0 тис. т [24].

Використовуючи літературні дані [1, 24, 25, 26], рекомендується застосовувати наступні коефіцієнти відходів для проведення розрахунків: для пшениці – 1,0; ячменю – 0,8; ріпаку – 2,0; кукурудзи на зерно – 1,3; соняшника – 1,9. Таким чином, обсяг відходів для сільськогосподарських культур визначається як добуток валового збору та коефіцієнта виходу соломи.

Таким чином, результати розрахунку теоретично можливого потенціалу фітомаси, відображають можливості використання сільськогосподарських відходів для енергетичних цілей, що може бути важливим кроком у розвитку відновлюваних джерел енергії та зменшенні залежності від традиційних викопних видів палива.

Технічно досяжний та економічно доцільний потенціали визначаються за допомогою коефіцієнтів технічної доступності та енергетичного використання відповідно. Значення коефіцієнтів технічної доступності для соломи ріпаку, відходів виробництва кукурудзи на зерно та соняшника були рекомендовані на основі даних, представлених у джерелі [25]. Для кожного району ці коефіцієнти можуть бути скориговані залежно від інформації про висоту сільськогосподарських культур та наявність або відсутність технології тюкування під час збирання врожаю.

Ситуація з наявністю надлишкової соломи зернових культур, доступної

для енергетичного використання, значно варіюється залежно від регіону України, а також від конкретних районів в межах однієї області. Відповідно, коефіцієнт енергетичного використання соломи (КЕВ) також суттєво відрізняється. Цей коефіцієнт визначається переважно на основі потреб сільського господарства у соломі, основними споживачами якої є велика рогата худоба та свині для підстилки та грубого корму. Для великої рогатої худоби річна потреба становить 0,9 т соломи на голову, а для свиней – 1 кг соломи на голову на добу. Після відрахування необхідної кількості соломи для потреб тваринництва від фактичного збору зернових культур, залишок відноситься до загального обсягу зібраної соломи, що дозволяє обчислити коефіцієнт енергетичного використання соломи [1]. Для консервативної оцінки потенціалу передбачається, що лише половина соломи, не використовуваної у тваринництві, може бути залучена до виробництва енергії. Відповідно, отриманий КЕВ поділяється на 2.

Значення коефіцієнта енергетичного використання соломи (КЕВ) змінюється щороку залежно від врожайності зернових культур та чисельності поголів'я великої рогатої худоби (ВРХ) і свиней. У 2023 році середнє значення цього коефіцієнта для Хмельницької області становило 0,68, а при консервативній оцінці – 0,34.

У 2023 році було зібрано 1942,4 тис. т соломи пшениці, ячменю та інших зернових культур. Поголів'я ВРХ у цьому ж році становило 214,2 тис. голів, а поголів'я свиней – 365,3 тис. голів [28].

Солома на потреби ВРХ:  $214,2 \text{ тис гол.} \cdot 0,9 \text{ т/гол.} = 192,78 \text{ (тис. т)}$ .

Солома на потреби свиней [29]:  $365,3 \text{ тис гол.} \cdot 0,365 \text{ т/гол.} = 133,33 \text{ (тис. т)}$ .

Віднявши від загального обсягу технічно доступної соломи зернових культур (пшениця, ячмінь, інші зернові) кількість соломи, необхідну для потреб худоби, визначаємо обсяг надлишкової соломи, яку можна використовувати для виробництва енергії.

Розрахунок надлишкової соломи:

$$1942,4 - (192,78 + 133,33) = 1616,29 \text{ (тис. т.)}$$

Відношення цього залишку до загального обсягу технічно доступної соломи зернових культур надає перше наближення коефіцієнта енергетичного використання соломи.

Коефіцієнт енергетичного використання ( $K_e$ ) визначається як відношення надлишку соломи до всього зібраного обсягу соломи:  $1616,29 / 1942,4 = 0,83$

У межах консервативного підходу до оцінки потенціалу біомаси це значення ділиться навпіл:  $0,83 / 2 = 0,42$ .

Коефіцієнт перерахунку в умовне паливо (КУП) визначається як відношення теплоти згорання певного виду біомаси (МДж/кг) до теплоти згорання умовного палива (29,3 МДж/кг).

Основні характеристики рослинних залишків, що мають досить однорідний склад, включають розмір частинок, щільність, вологість та вміст золи. Залишки зернових культур вважаються відносно сухими. Солома є одним із головних джерел біопалива в Україні, яке, подібно до інших видів біомаси, при спалюванні не збільшує глобального парникового ефекту [31].

Найбільш значущими елементами економічного потенціалу є залишки вирощування кукурудзи і соняшнику, оскільки ці культури мають великий коефіцієнт відходів (1,5 і 2,0 відповідно) та високий коефіцієнт енергетичного використання (0,7 та 1,0 відповідно) [25].

Також існують вторинні відходи сільського господарства, які утворюються на спеціалізованих підприємствах, які переробляють сільськогосподарські культури. Загалом обсяг вторинних відходів зазвичай менший, ніж обсяг первинних відходів.

У таблиці 3.1 представлені узагальнені результати обчислень теоретичного, технічного та економічного потенціалу використання первинних відходів сільського господарства Хмельницької області за 2023 рік відповідно до описаної вище методології.

Таблиця 3.1 – Енергетичний потенціал відходів сільського господарства Хмельницької області за 2023 рік

С/г культура	Валовий збір, тис. т	КВ	Теоретичний потенціал, тис. т	КУП	Теоретичний потенціал, тис. т у. п.	КТД	Технічний потенціал, тис. т у. п.	КЕВ	Економічний потенціал, тис. т у. п.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пшениця	1520,0	1,0	1520,0	0,59	896,8	0,8	717,44	0,8 3	595,48
Ячмінь	422,4	0,8	337,92	0,54	182,48	0,8	145,98	0,8 3	121,17
Ріпак	322,5	2,0	645,0	0,6	387,0	0,8	309,6	1	309,6
Кукурудза на зерно	1996,5	1,5	2994,75	0,47	1407,53	0,8	1126,03	0,7	788,22
Соняшник	560,0	2,0	1120,0	0,47	526,4	0,8	421,12	1	421,12
Всього	4821,4		6617,67		3400,21		2720,17		2235,59

Що стосується вторинних відходів сільського господарства, таких як лушпиння соняшника та жом цукрового буряку, теоретичний, технічний та економічний потенціали обчислюються на основі коефіцієнтів вторинних відходів, технічної доступності та енергетичного використання [25 – 29].

У цьому випадку коефіцієнт технічної доступності визначається як відношення обсягу продукції (цукрових буряків, насіння соняшника), що надходить на переробні підприємства, де утворюються відходи, до загального обсягу виробництва цих культур.

Серед вторинних відходів сільського господарства найважливішим є лушпиння насіння соняшника. Оцінка технічно досяжного теплоенергетичного потенціалу лушпиння соняшника проводилася за допомогою формули 2.4. Результати цих розрахунків наведені в таблиці 3.2.

Порівняння економічного потенціалу первинних та вторинних відходів сільського господарства (2,24 млн т у. п./рік та 0,05 млн т у. п./рік відповідно) показує значний відмінок. Однак ці види біомаси є важливими. Наприклад, багато олієкстракційних заводів України використовують лушпиння

соняшника як джерело енергії, спалюючи його в котлах [32].

Таблиця 3.2 – Енергетичний потенціал вторинних відходів сільського господарства в Хмельницькій області за 2023 рік [24]

	Валовий збір, тис. т	КВВ	Теоретичний потенціал, тис. т у. п.	КТД	Технічний потенціал, тис. т у. п.	КЕВ	Економічний потенціал, тис. т у. п.
1	2	3	4	5	6	7	8
Цукровий буряк	1007,0	0,64	39,58	0,91	36,02	0,5	18,01
Лушпиння соняшника	560,0	0,15	58,81	0,55	32,35	1,0	32,35
Всього	1567,0		98,39		68,37		50,36

Згідно з розрахунками, відходи кукурудзи мають найбільший економічний потенціал як біопаливо. Однак експерти рекомендують утриматися від їх використання через кліматичні умови України. Стебла кукурудзи не мають достатнього часу для повного висихання, тому вони не підходять для безпосереднього використання як біопаливо без додаткового досушування, що є витратним і недоцільним, оскільки значно підвищує собівартість біопалива. Крім того, в Україні відсутні прес-підбирачі для тюкування стебел кукурудзи, а цю операцію необхідно виконувати для енергетичного використання стебел.

На другому місці розташовані відходи зернових культур, з валовим збором 1942,4 тис. т, з яких 716,65 тис. т у. п. представляють економічно доцільний потенціал. Цей потенціал можна використовувати для паливно-енергетичних потреб Хмельницької області.

На третьому місці знаходяться відходи соняшника, включаючи стебла та лушпиння, з валовим збором 560,0 тис. т. Економічно доцільний потенціал стебел становить 421,12 тис. т у. п., а лушпиння соняшника має економічний потенціал 32,35 тис. т у. п. Оскільки економічний потенціал лушпиння дорівнює технічному, це означає, що всю отриману кількість лушпиння

можна використати для енергетичних потреб. Загальний економічний потенціал відходів соняшника становить 453,47 тис. т у. п.

Енергетичні культури – це рослини, що спеціально вирощуються для використання в паливній промисловості та виробництва біопалива. Класичні енергетичні культури поділяються на кілька типів: однорічні трави, багаторічні трави, швидкоростучі дерева і деревоподібні рослини. Традиційні сільськогосподарські культури також можуть бути використані як енергетичні, якщо вони вирощуються з метою виробництва біодизеля (ріпак, соняшник), біоетанолу (цукровий буряк, кукурудза) або біогазу (кукурудза) [26, 33].

Україна загалом, а також Хмельницька область зокрема, мають значні площі сільськогосподарських угідь, причому частина цих земель не використовується для вирощування сільськогосподарських культур (таблиця 3.3). Ці незайняті землі потенційно можуть бути використані для вирощування енергетичних культур.

Таблиця 3.3 – Розподіл сільськогосподарських угідь та посівні площі сільськогосподарських культур в Хмельницькій області, станом на 2023 рік [24]

Землі	тис. га
1	2
Загальна земельна площа	2062,9
Сільськогосподарські угіддя	1570,62
У тому числі:	
рілля	1235,1
сіножаті	133,97
пасовища	150,94
Вся посівна площа	1119,7
У тому числі:	
зернові культури	571,05
технічні культури	403,1

Кінець таблиці 3.3

1	2
картопля і овоче-баштанні культури	78,38
кормові культури	100,78
Площа чистих парів	27,5
Вільна площа ріллі	87,9

Вільна площа ріллі розраховується як різниця між загальною площею ріллі та загальною посівною площею з урахуванням площі чистих парів:  $1235,1 - 1119,7 - 27,5 = 87,9$  тис. га.

Оцінка потенціалу енергетичних культур проводиться на основі природно-кліматичних умов різних регіонів та наявності вільних земель. Спочатку вивчається потенціал класичних енергетичних культур, які можуть бути доцільно вирощені на території Хмельницької області.

Оскільки Хмельницька область знаходиться в лісостеповій природно-кліматичній зоні, то на її території вирощування таких енергетичних культур, як тополя, верба, вільха і міскантус, є доцільним (таблиця 3.4). Припускається, що ці культури займатимуть близько половини вільної площі ріллі. Решта площі може бути використана для вирощування традиційних сільськогосподарських культур з метою виробництва біопалива, таких як ріпак для біодизеля та кукурудза для біогазу.

Таблиця 3.4 – Врожайність та нижча теплота згоряння енергетичних культур

Енергетична культура	Врожайність, т сухої маси/га в рік	$Q_n^p$ сухої маси, МДж/кг
1	2	3
Тополя	9,5	18,5
Верба	9	18,5
Вільха	7	20
Міскантус	12	17

При виборі енергетичних культур важливим фактором є їх потенціал. Крім того, слід враховувати проблему збереження біорізноманіття області, на

яку зараз звертається велика увага в країнах Європи [34]. Для прийняття практичного рішення про висадження певної культури, враховуються додаткові фактори, такі як конкретне розташування ділянки на території району, характер та якість ґрунтів, рельєф місцевості, особливості місцевого сільського господарства та інші.

Вибравши міскантус як культуру, ми обираємо трав'янисту багаторічну енергетичну культуру з найвищою врожайністю. Цю культуру використовують як для виробництва твердого біопалива, так і для виробництва біогазу. Однією з її особливостей є покращення якості ґрунту, на якому вона вирощується, завдяки накопиченню органічної речовини (до 10 тонн сухої маси на гектар за 4 роки) [26]. Це дозволяє використовувати для її вирощування землі, які не використовуються для сільського господарства через поганий стан ґрунтів.

Площа вільних земель під вирощування міскантусу становить 43,95 тисяч гектарів. Економічний потенціал міскантусу:

$$43,95 \cdot 12 \cdot 17 / 29,3 \cdot 0,85 \cdot 1 = 260,1 \text{ тис. т у. п.}$$

Результати розрахунку теоретичного потенціалу з вирощування енергетичної культури міскантусу у Хмельницькій області наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Енергетичний потенціал вирощування міскантусу в Хмельницькій області

Енергетична культура	Врожайність, т сухої маси / га в рік	Q <sub>нр</sub> сухої маси, МДж/кг	Площа посіву, тис. га	Теоретич. потенціал, тис. т у. п.	Техніч. потенціал, тис. т у. п.	Економічний потенціал, тис. т у. п.
1	2	3	4	5	6	7
Міскантус	12	17	43,95	306,0	260,1	260,1

Міскантус – це дуже економічна і екологічно чиста культура. Від посадки до початку сходів вона не вимагає додаткового догляду, навіть за

грунтом. Не потрібні жодні щорічні витрати на посівний матеріал. Згідно з існуючими оцінками, рослина може давати врожай протягом періоду від 20 років до 25 років. Для цієї культури не потрібні додаткові добрива. Міскантус добре росте на ґрунті, який використовується для вирощування кукурудзи [24]. Варто підкреслити, що біомаса енергетичних культур представляє собою перспективний енергетичний потенціал, який вимагає уваги.

Для оцінки потенціалу ріпаку як енергетичної культури для виробництва біодизеля було припущено, що ріпак вирощується на вільних сільськогосподарських землях, які також використовуються для вирощування кукурудзи для біогазу. Площа була розділена між ріпаком для біодизеля та кукурудзою для біогазу у пропорції приблизно 50 на 50, що складає по 21,98 тисяч гектарів кожна [24]. За даними 2023 року, середня врожайність ріпаку в Хмельницькій області становила 28,3 центнера з гектара [25]. Для оцінки потенційного обсягу виробництва біодизеля використовувався показник виходу біодизеля, який складав 0,78 тонн з гектара [24], що відповідає цій врожайності.

Зрозуміло, коефіцієнт технічної доступності приймається рівним 1,0, оскільки розрахунок відбувається через показник виходу біодизеля з одного гектара. Також, коефіцієнт енергетичного використання приймається рівним 1,0, оскільки ріпак вирощується спеціально з метою виробництва біодизеля. Загальна формула для оцінки економічно доцільного енергетичного потенціалу виробництва біодизеля з ріпаку (у тисячах тонн умовних паливних одиниць) має вигляд:

$$P_e = (21,98 \cdot 0,78 \cdot 37 \cdot 1,0 \cdot 1,0) / 29,3 = 21,65 \text{ (тис. т у. п.)}.$$

Розрахунки потенціалу виробництва біодизеля з ріпаку за формулою 2.3 представлено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Розрахунок потенціалу вирощування ріпаку на біодизель у Хмельницькій області

	Показник	Розмірність	Хмельницька область
1	Площа вільних земель під вирощування ріпаку на біодизель, S	тис. га	21,98
2	Врожайність ріпаку	ц/га	28,3
3	Вихід біодизеля, ВБд	т/га	0,78
4	Потенціал біодизель ПБд	тис. т	14,2
5	Теоретичний потенціал біодизеля, Пе	тис. т у. п.	21,65
6	$Q_n^p$ біодизеля	МДж/кг	37
7	$Q_n^p$ умовного палива	МДж/кг	29,3

Розрахунок економічного потенціалу соломи ріпаку ( $PPe$ ) здійснюється на основі вихідних даних, поданих у таблиці 3.6, та з використанням коефіцієнтів  $KB = 2$ ,  $КТД = 0,8$ ,  $КЕВ = 1,0$ . Значення  $QR$  для соломи ріпаку складає 17,5 МДж/кг.

$$PPe = 21,98 \cdot 28,3/10 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 17,5 / 29,3 = 59,44 \text{ (тис. т у. п.)}$$

Важливо відзначити, що технічно-досяжний потенціал рослинної біомаси, яка утворюється під час вирощування ріпаку, включається до технічно-досяжного теплоенергетичного потенціалу соломи зернових, технічних і круп'яних культур.

Отже, зазначений теоретичний потенціал ріпаку як енергетичної культури становить 21,65 тисяч умовних паливних одиниць. Такий потенціал збігається з технічним і економічним, оскільки ріпак вирощується з метою виробництва біодизеля. Економічний потенціал соломи ріпаку оцінюється у 59,44 тисяч умовних паливних одиниць.

Кукурудза, як енергетична культура для виробництва біопалива, вирощується на вільних сільськогосподарських землях. Для Хмельницької області відведено 21,98 тисяч гектарів під кукурудзу. Разом з площею, призначеною під вирощування міскантусу (43,95 тисяч гектарів) та ріпаку для виробництва біодизелю (21,98 тисяч гектарів), це становить 87,9 тисяч гектарів. Вільна площа ріллі частково або повністю може бути використана для вирощування кукурудзи з метою подальшого виробництва біогазу (21,98 тисяч гектарів). Для виробництва біогазу кукурудза

вирощується за тією ж технологією, як і для силосу. Сировиною для отримання біогазу служить вся наземна частина рослини.

Обсяг біогазу, що виробляється з кукурудзи, оцінюється за допомогою показника виходу біогазу на рівні  $185 \text{ м}^3/\text{т}$  і середньої врожайності 15 тон зеленої маси з 1 гектара. Коефіцієнт технічної доступності для кукурудзи становить 0,7. Коефіцієнт енергетичного використання приймається рівним 1,0, оскільки кукурудза вирощується спеціально для виробництва біогазу.

За формулою 2.3 обсяг біогазу з кукурудзи розраховується як економічно доцільний потенціал.

$$21,98 \cdot 15 \cdot 185 \cdot 20 \cdot 0,7 \cdot 1 / 29,3 = 29,14 \text{ (тис. т у. п.)}$$

Таблиця 3.7 – Економічний потенціал кукурудзи на виробництво біогазу Хмельницької області

Регіон	Енергетичний потенціал, тис. т у. п.		
	теоретичний	технічний	економічний
1	2	3	4
Хмельницька область	41,62	29,14	29,14

Для узагальнення оцінки економічного потенціалу енергетичних культур Хмельницької області за 2023 рік попередні розрахунки зведемо до таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Енергетичний потенціал енергетичних культур у Хмельницької області, 2023 рік

Вид біомаси	Енергетичний потенціал, тис. т у. п.		
	теоретичний	технічний	економічний
1	2	3	4
Солома зернових (в т.ч. солома ріпаку)	1466,28	1173,02	1026,25
Відходи виробництва кукурудзи на зерно	1407,53	1126,03	788,22
Відходи виробництва соняшника	526,4	421,12	421,12
Цукровий буряк	39,58	36,02	18,01
Лушпиння соняшника	58,81	32,35	32,35
Міскантус	306,0	260,1	260,1
Ріпак (біодизель)	21,65	21,65	21,65
Кукурудза (біогаз)	41,62	29,14	29,14
Всього	3867,87	3099,43	2596,84

Після аналізу розрахунків економічного потенціалу енергетичних культур у Хмельницькій області, можна зазначити, що основну частку для використання в якості біопалива складають відходи зернових, включаючи соломку ріпаку, що становить 39,52 % від загального потенціалу біомаси в області. Економічний потенціал відходів кукурудзи складає 30,35 % від загального потенціалу біомаси області або 788,22 тисяч тонн умовних одиниць. Загальний економічно доцільний потенціал енергетичних культур у області становить 2596,84 тисяч тонн умовних одиниць.

Розподіл економічного потенціалу енергокультур у відсотках від загально можливого для Хмельницької області наведено на рисунку 3.1.

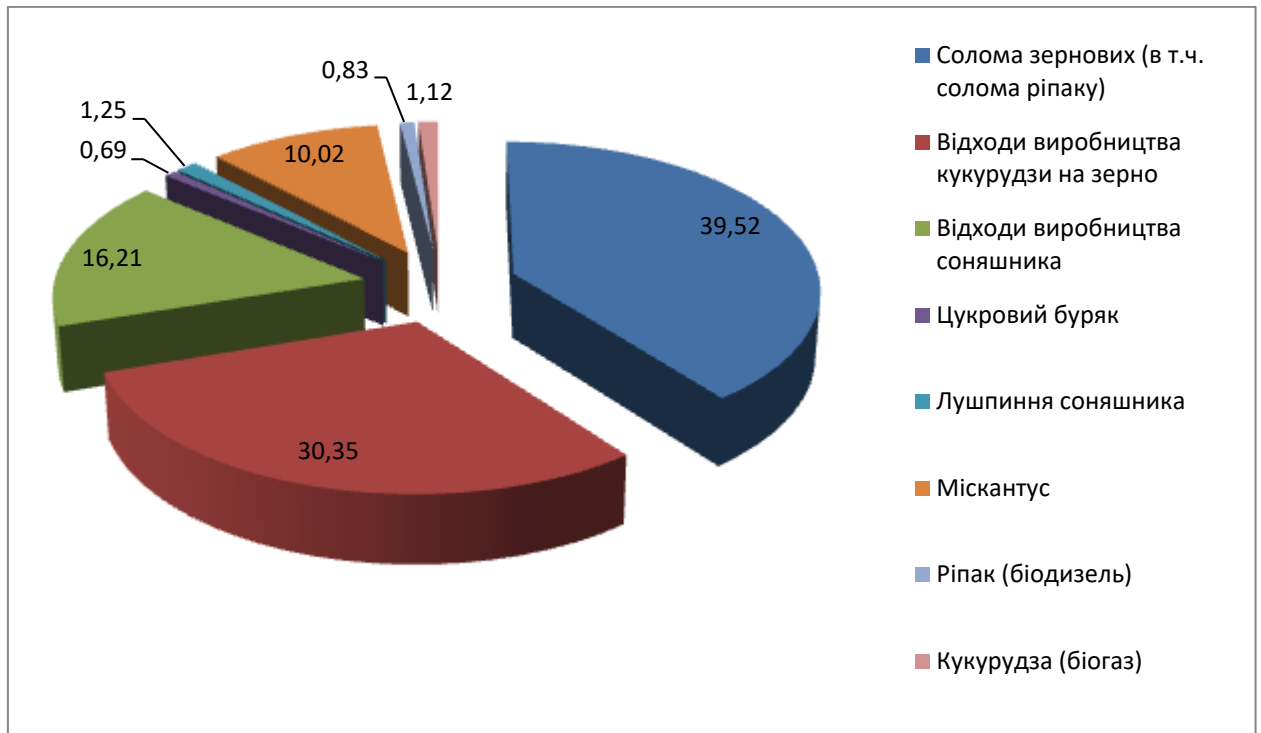


Рисунок 3.1 – Структура економічного потенціалу енергетичних культур (у відсотках) Хмельницької області, 2023 р.

### 3.2. Розробка рекомендацій щодо вирощування енергетичних культур

На сучасному етапі розвитку поняття енергетичної, продовольчої та екологічної безпеки стають все більш взаємопов'язаними, тому рекомендації щодо підвищення рівня безпеки охоплюють усі ці напрями та визначають сталість розвитку регіону. При цьому, сталість розвитку регіону, чи країни в цілому, оцінюється за співвідношенням економічних індикаторів з показниками витрат на екологічні потреби, ефективність використання ресурсів, часткою працюючого населення, ресурсозбереження та енергоефективності [34].

Для досягнення високих стандартів енергоефективності та переходу на альтернативні джерела енергії, необхідно адаптувати українське законодавство відповідно до вимог Європейського Союзу. Це передбачає вдосконалення нормативно-правової бази шляхом створення державних і місцевих програм, спрямованих на підвищення енергоефективності та

інтеграцію відновлюваних джерел енергії. Такі програми повинні бути комплексними і охоплювати всі аспекти енергетичної політики, включаючи фінансові стимули, розвиток інфраструктури та підтримку інновацій у сфері біоенергетики та інших альтернативних енергоресурсів.

Для забезпечення сталого розвитку біоенергетики в Україні, доцільно створити розсадники багаторічних енергетичних культур (міскантус, верба тощо) у всіх областях країни. Це сприятиме розвитку приватних господарств, що вирощуватимуть ці культури, знижуючи таким чином собівартість саджанців, які фермери наразі закупають за кордоном, і відповідно знижуючи собівартість виробленого біопалива. Крім того, розсадники виконуватимуть екологічні функції, забезпечуючи захист від вітру та сонячного світла, створюючи природний мікроклімат поблизу житлових районів, покращуючи біорізноманіття флори та фауни, збагачуючи ґрунти і сприяючи відновленню забруднених та малопродуктивних земель [33].

Створення таких розсадників також підвищить стійкість до зміни клімату та покращить екологічний стан місцевості, де вони будуть розташовані. Таким чином, розвиток інфраструктури для вирощування енергетичних культур може стати важливим кроком у напрямку досягнення енергетичної незалежності та підвищення економічної стабільності в Україні.

Для забезпечення ефективного функціонування ринку енергетичних культур необхідно розробити і впровадити систему ринкових механізмів, яка включатиме чіткі правила та стандарти для виробництва, збуту та використання таких культур. Це дозволить створити стабільний ринок та забезпечити прозорість і передбачуваність для всіх учасників процесу. Також доцільним є внесення до класифікатора сільськогосподарських культур нових видів енергетичних рослин, що дозволить легалізувати та стимулювати їх вирощування. Це розширить можливості для фермерів та сприятиме розвитку біоенергетичного сектору.

Запровадження субсидій та інших форм фінансової підтримки для малого і середнього бізнесу, що займається вирощуванням енергетичних

культур, сприятиме розвитку цієї галузі. Це допоможе знизити фінансові ризики та витрати, пов'язані з початковими інвестиціями, і стимулюватиме підприємців до активної участі в біоенергетичному секторі.

Для підтримки фермерів, які займаються вирощуванням енергетичних культур, доцільно запровадити механізми часткового відшкодування відсоткових ставок за кредитами від комерційних банків. Це знизить фінансове навантаження на виробників і стимулюватиме інвестиції в цю галузь.

Для зменшення економічного тиску на населення та житлово-комунальне господарство (ЖКГ), необхідно впровадити програми субсидування внутрішніх цін на газ. Це дозволить знизити витрати домогосподарств і підвищити доступність енергоресурсів.

Державна підтримка наукових досліджень та інноваційної діяльності є ключовим елементом розвитку біоенергетики, тому необхідно інвестувати в дослідження і вдосконалення технологій вирощування та переробки біосировини для підвищення ефективності виробництва. Також важливо розробити науково обґрунтовану стратегію розвитку сектору біоенергетики, яка враховуватиме всі аспекти енергетичної безпеки, зокрема стабільність постачання енергоресурсів, економічну ефективність, екологічні стандарти та соціальний вплив. Це сприятиме стійкому розвитку галузі та зниженню залежності від викопних видів палива.

Необхідно провести ґрунтовні дослідження щодо впливу вирощування енергетичних культур, таких як верба, тополя, міскантус і кукурудза, на якість ґрунтів. Ці дослідження повинні зосереджуватися на аналізі змін у вмісті органічної речовини, рівнях поживних речовин та загальному стані ґрунту, а також на динаміці їх виснаження внаслідок тривалого вирощування енергетичних культур. Метою таких досліджень є визначення найкращих практик для збереження та покращення якості ґрунтів при одночасному збільшенні виробництва біомаси [33].

Завдяки таким заходам та впровадженню науково обґрунтованих рекомендацій можна значно збільшити частку використання відновлювальних джерел енергії та біопалива в Україні та забезпечити відновлення порушених ґрунтів.

Слід виділяти землі сільськогосподарського призначення для вирощування енергетичних культур, водночас уникаючи їх розширення на території, що мають екологічну цінність, як-от майбутні лісові насадження та залишки природних степових ділянок. Це допоможе не лише в розвитку сектору біоенергетики, але й у збереженні та відновленні природних екосистем. Такий підхід сприятиме створенню стійкої екологічної мережі в Україні, яка забезпечить захист біорізноманіття, підвищення екологічної стабільності та збереження природних ландшафтів.

## ВИСНОВКИ

На сучасному етапі розвитку поняття енергетичної, продовольчої та екологічної безпеки стають все більш взаємопов'язаними, тому рекомендації щодо підвищення рівня безпеки охоплюють усі ці напрями.

Проблему виробництва біопалива можна вирішувати у кількох площинах: використання найефективніших джерел біопалива на основі рослинних ресурсів, удосконалення технологій перетворення сировини на біопаливо, а також економічного обґрунтування використання біопалива. Для організації широкомасштабного виробництва біопалива в Україні є всі передумови, але їх частка в енергетичному балансі залишається незначною. Оскільки при згоранні біомаси з енергетичних культур в атмосферу викидається тільки CO<sub>2</sub>, який був поглинутий рослиною в період її росту, використання енергетичних культур сприятиме покращенню стану довкілля. Крім того, вирощування енергетичних культур попереджає ерозію ґрунтів, що також сприяє покращенню стану довкілля.

Для успішної реалізації та розвитку біоенергетики обов'язковою передумовою є наявність місцевих ресурсів на конкретній території. У деяких західноєвропейських країнах (країнах Скандинавії, Польщі та Данії) знайшли ефективний замітник твердої біомаси лісового походження – енергетичні культури, серед яких є деревні (верба, тополя, павловнія, інші) та трав'янисті (міскантус, свічграс, інші). Вирощування такої сировини залежить лише від природних умов – якості ґрунту і клімату.

Хмельницька область має сприятливі агрокліматичні умови для вирощування енергетичних культур. Помірно континентальний клімат з достатньою кількістю опадів та сприятливим температурним режимом дозволяють вирощувати різноманітні енергетичні культури, такі як міскантус, верба, тополя та інші. Ґрунти Хмельницької області, зокрема чорноземи та дерново-підзолисті ґрунти, є придатними для вирощування

багатьох видів енергетичних культур. Крім того, ґрунти області містять необхідні мікро- та макроелементи для розвитку енергетичних культур, що знижує потребу у великій кількості добрив.

Загальний економічно доцільний потенціал енергетичних культур у Хмельницькій області становить 2596,84 тис. т у. о. Проведений розрахунок показав, що поряд із енергетичними культурами необхідно залучати до отримання енергії і біомасу, яка утворюється при вирощуванні сільськогосподарських культур. Так, відходи зернових, включаючи солому ріпаку складають 39,52 % економічно доцільного потенціалу від загального потенціалу біомаси в області, відходи кукурудзи – 30,35 %, а міскантус (як найвигідніша енергокультура) – 10,02 %. Отже, вирощування енергетичних культур у Хмельницькій області є економічно доцільним.

Також вирощування енергетичних культур має позитивний екологічний вплив. Воно сприяє зменшенню викидів парникових газів, покращенню стану ґрунтів, збільшенню біорізноманіття, заощадженню природних ресурсів (викопних видів палива) та загалом зниженню негативного впливу на довкілля.

Крім того, розвиток біоенергетики може сприяти соціально-економічному розвитку регіону (створення нових робочих місць, збільшення доходів населення та розвиток інфраструктури).

Отже, проведене дослідження оцінки потенціалу енергокультур у Хмельницькій області виявило, що регіон має достатні можливості для розвитку біоенергетики, що, в свою чергу, може сприяти зниженню залежності від традиційних енергетичних ресурсів та підвищенню рівня енергетичної безпеки області. Впровадження енергокультур може стати вагомим внеском у забезпечення енергетичної незалежності України, сприяти екологічній стабільності та економічному процвітанню регіону за умови системного підходу та належної підтримки з боку держави та інвесторів.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / Ін-т технічної теплофізики НАН України; за ред. Г. Гелетухи. – Київ: Академперіодика, 2022. – 373 с. – Режим доступу: [http://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2023/02/block\\_geletukha\\_web.pdf](http://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2023/02/block_geletukha_web.pdf) (дата звернення: 15.05.2024).
2. Біоенергетика в світі. Міжнародне Енергетичне Агенство. УАВІО. – 2020 р. – Режим доступу : <https://uabio.org/bioenergy-in-the-world/> (дата звернення: 15.05.2024).
3. Гелетуха Г. Глобальні перспективи біоенергетики / Г. Гелетуха // Економічна правда. – 2021. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/09/1/677373/> (дата звернення: 15.05.2024).
4. Amendments adopted to the European Parliament on 14 September 2022 on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council amending Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council, Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council and Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652. – Access mode: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0317\\_EN.html#ref\\_2\\_9](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0317_EN.html#ref_2_9) (date of appeal: 16.05.2024).
5. Недільська У. І. Особливості вирощування та потенціал урожайності енергетичної культури / У. І. Недільська // Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. – № 34, 2021. – С. 45–51. – Режим доступу: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2021-1-6> (дата звернення: 16.05.2024).

6. Ганженка В. Особливості вирощування та використання енергетичних культур. Презентація. – 2017. – Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/news/1751> (дата звернення: 17.05.2024).

7. Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року: Постанова Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 р. № 179. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#n25> (дата звернення: 17.05.2024).

8. Проєкт Плану відновлення України: матеріали робочої групи «Енергетична безпека» / Національна рада з відновлення України від наслідків війни, 2022. – 164 с.

9. Соловій І. П. Використання паливної деревини у фокусі уваги біоенергетичної політики України / І. П. Соловій, М. С. Кафлик, П. Б. Дубневич // Наукові праці Лісівничої академії наук України. – 2019. – Вип. 19. – С. 171–177. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15421/411939> (дата звернення: 17.05.2024).

10. Мазур В. А. Еколого-збалансоване використання маргінальних земель при вирощуванні енергетичних культур / В. А. Мазур, Г. І. Кравчук, Г. С. Гончарук // Сільське господарство та лісівництво. – 2019. – № 15. – С. 5–20.

11. Дорожня карта розвитку біоенергетики в Україні до 2050 року і План дій до 2025 року. – Режим доступу: [https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2021/06/D5-Roadmap\\_Action-Plan\\_EN\\_03-12-2021\\_FINAL.pdf](https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2021/06/D5-Roadmap_Action-Plan_EN_03-12-2021_FINAL.pdf) (дата звернення: 17.05.2024).

12. Obukhov S. Power balance management of an autonomous hybrid energy system based on the dual-energy storage / S. Obukhov, A. Ibrahim, M. A. Tolba, M. El-Rifaie // *Energies*, 2019, v.12. – Access mode: <https://doi:10.3390/en12244690> (date of appeal: 17.05.2024).

13. Чайка Т.О. Еколого-соціо-економічні переваги вирощування енергетичних культур / Т.О. Чайка, І.О. Яснолоб // *Економіка АПК*, 2017, № 12 – С. 28–34.

14. Сокольникова К.А. Є в нас замість вугілля, газу і дров — енергетичні культури [Електронний ресурс] / К.А. Сокольникова // Агропортал. – 2016. – Режим доступу: <http://agroportal.ua> (дата звернення: 17.05.2024).

15. Енергетичні культури в Україні – цінне джерело біомаси та значний потенціал для заміщення газу [Електронний ресурс]. Урядовий портал. – 2019. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/249240886> (дата звернення: 17.05.2024).

16. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Дійсний на 11.04.2024 р. Міністерство аграрної політики та продовольства України. – 2024. – Режим доступу: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reustr-sortiv-roslin> (дата звернення: 17.05.2024).

17. Олійник Є. Енергетичні рослини, придатні для поширення в Україні: оновлений реєстр сортів / Є. Олійник // Sustainable Agribusiness Forum. – 2023. – Режим доступу: <https://saf.org.ua/news/1734/> (дата звернення: 17.05.2024).

18. Закон України «Про охорону прав на сорти рослин». Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1993. – № 21. – ст.218. – діючий – Режим доступу: [https://zakononline.com.ua/documents/show/168508\\_\\_\\_738644](https://zakononline.com.ua/documents/show/168508___738644) (дата звернення: 17.05.2024).

19. Проект «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій в муніципальному секторі в Україні» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://bioenergy.in.ua/media/filer\\_public/58/b4/58b45b61-d09d-43bf-bcb7-47e0235d39e0/otchet\\_po\\_verbe.pdf](http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/58/b4/58b45b61-d09d-43bf-bcb7-47e0235d39e0/otchet_po_verbe.pdf) (дата звернення: 17.05.2024).

20. Оцінка потенціалу біомаси в Одеській області (на прикладі двох районів) : Фінальний звіт : Вибір видів біомасової сировини та технологій її енергетичного використання в умовах Кілійського та Ширяївського районів. Рекомендації щодо найбільш ефективних біоенергетичних проектів. – Київ, 2017. – 134 с. – Режим доступу: <http://myrgorod.pl.ua/files/images/Madem/2.pdf>. (дата звернення: 18.05.2024).

21. Григорук І. І. Оцінювання енергетичного потенціалу рослинних відходів сільськогосподарського походження / І. І. Григорчук // Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України: зб. наук. пр. – 2019. – Вип. 6(140). – С. 57–62.

22. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник / За ред. Г. Гелетука. – Київ : «Поліграф плюс», 2015. – 72 с.

23. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник / За ред. Г. Гелетука. – Київ : «Поліграф плюс», 2016. – 104 с.

24. Посівна онлайн 2023/24 / Головний сайт про агробізнес. Latifundist.com. – Режим доступу: <https://latifundist.com/posevnaya-online-2023>. (дата звернення: 18.05.2024).

25. Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси [Електронний ресурс]. – Київ : Тов. «Віол-принт», 2013. – 25 с. – Режим доступу: <http://sae.gov.ua/wp-content/uploads/2012/04/Методика.pdf> (дата звернення: 17.05.2024).

26. Комплексне використання відновлюваних джерел енергії: Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М.П. Кузнєцов, О.А. Мельник – Електронні текстові дані (1 файл: 7,93 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 304 с.

27. Немцева Ю. Промислові молочно-товарні ферми 5 регіонів нарощують поголів'я ВРХ / Ю. Немцева // Kurkul.com, 2024. – Режим доступу: <https://kurkul.com/news/35477-promislovi-molochno-tovarni-fermi-5-regioniv-naroschuyut-pogolivya-vrh> (дата звернення: 18.05.2024).

28. Бурлака С. А. Потенціал використання соломи зернових культур як біопалива / С. А. Бурлака, Ю. В. Гуменюк, О. О. Галушак // Вісник Вінницького політехнічного інституту, (6). – Вінниця : 2020. – С. 57–64. –

Режим доступу: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-153-6-57-64> (дата звернення: 18.05.2024)

29. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с. – Режим доступу: [https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Monografia\\_final\\_21.12.2020.pdf](https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Monografia_final_21.12.2020.pdf) (дата звернення: 22.05.2024).

30. Використання біомаси енергетичних культур у північних областях України (Волинська, Рівненська, Житомирська, Київська та Чернігівська області) / В. Воробей, Я. Мелех, Н. Гудз // Агенцією економічного розвитку PPV Knowledge Networks. – Львів, 2018. – 59 с. – Режим доступу: <https://www.ppv.net.ua> (дата звернення: 22.05.2024).

31. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. – 82 с. – Режим доступу: <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf> (дата звернення: 23.05.2024).

32. Посібник «Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні» (Додаток Е. Типові показники біомаси як палива), 2016. – Проект USAID. – Режим доступу: <http://uabio.org/img/posibnyk-onovlenyi-2016.pdf> (дата звернення: 23.05.2024).

33. Роїк М. Екологічні аспекти вирощування біоенергетичних рослин і використання поживних залишків сільськогосподарських культур на біопаливо / М. Роїк // Міжнародний семінар «Агровідходи для біоенергетики. Проблеми та рішення», 27 вересня, 2018 року, м. Київ. – Режим доступу: <http://uabio.org/img/files/Events/pdf/6-mykola-roiyik-workshop-agro-residues-27092018.pdf> (дата звернення: 23.05.2024).

34. Єрмаков О.Ю. Розвиток і використання біоенергетичного потенціалу сільськогосподарських підприємств: Монографія / О.Ю. Єрмаков, В.В.Мельниченко – Київ : «ЦП «КОМПРИНТ», 2019. – 242 с.

## ДОДАТОК А

### (обов'язковий)

## ПЕРЕЛІК СОРТІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РОСЛИН, ПРИДАТНИХ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ В УКРАЇНІ

Таблиця А.1 – Перелік сортів енергетичних рослин, придатних для вирощування в Україні [17]

Ботанічний Таксон	Ботанічний Таксон	Назва Sortу	Напря́м Використання (Скорочено)	Рекомендована Зона Для Вирощування	Країна Походження Sortу	Патент	Найменування Власника (Українською)	Код Країни Власника
Верба біла	<i>Salix alba</i> L.	Н1	Е, озл	СЛП	UA		Мележин Леонід Петрович	UA
Верба ланка	<i>Salix fragilis</i> L.	A3	Е, озл	СЛП	UA		Мележин Леонід Петрович	UA
Верба ланка	<i>Salix fragilis</i> L.	Адам2	Е, озл	СЛП	UA		Мележин Леонід Петрович	UA
Верба ланка	<i>Salix fragilis</i> L.	Козак	Е, озл	СЛП	UA		Мележин Леонід Петрович	UA
Верба прутівидна	<i>Salix viminalis</i> L.	Вільгельм	Е	С	SE	●	Юрепін Віллов Брідінг АБ	SE
Верба прутівидна	<i>Salix viminalis</i> L.	Збруч	Е	СЛП	UA	●	Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України	UA
Верба прутівидна	<i>Salix viminalis</i> L.	К2	Е, озл	СЛП	UA		Мележин Леонід Петрович	UA
Верба прутівидна	<i>Salix viminalis</i> L.	ЛННЕРЯ	Е	ПЛС	SE	●	Лантманнен СВ Сід АБ	SE
Верба прутівидна	<i>Salix viminalis</i> L.	М2	Е, озл	СЛП	UA		Мележин Леонід Петрович	UA
Верба прутівидна	<i>Salix viminalis</i> L.	М3	Е, озл	СЛП	UA		Мележин Леонід Петрович	UA
Верба прутівидна	<i>Salix viminalis</i> L.	Маршана	Е	П	UA	●	Товариство з обмеженою відповідальністю "Салікс Енерджі"	UA
Верба прутівидна	<i>Salix viminalis</i> L.	Панфільська 2	Е	ПЛ	UA	●	Панфільська дослідна станція Національного наукового центру "Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України"	UA
Верба тригранкова	<i>Salix triandra</i> L.	Панфільська	Е	ПЛ	UA	●	Панфільська дослідна станція Національного наукового центру "Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України"	UA
Верба тригранкова	<i>Salix triandra</i> L.	Ярослава	Е	ЛП	UA	●	Національний університет біоресурсів і природокористування України	UA
Міскантус гігантський	<i>Miscanthus x giganteus</i> J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize	Біотех	Е	СЛП	UA	●	Мальчику Максим Дмитрович	UA
Міскантус гігантський	<i>Miscanthus x giganteus</i> J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize	Верун	Е	ПЛС	UA	●	Товариство з обмеженою відповідальністю "ВЕРБУМ НОВІТЕ, s.r.o."	CZ
Міскантус гігантський	<i>Miscanthus x giganteus</i> J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize	Гулівер	Е	ПЛ	UA	●	Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка Національної академії наук України	UA
Міскантус гігантський	<i>Miscanthus x giganteus</i> J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize	Іллінойс	Е	СЛП	PL		Міскантус д.о.о	HR
Міскантус гігантський	<i>Miscanthus x giganteus</i> J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize	Осіній зорець	Е	ЛП	UA	●	Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України	UA
Міскантус китайський	<i>Miscanthus sinensis</i> Anders.	Велетень	Е, дкр	ЛП	UA	●	Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка Національної академії наук України	UA
Міскантус китайський	<i>Miscanthus sinensis</i> Anders.	Місячний промінь	Е	ЛП	UA	●	Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України	UA
Павлонія	<i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.	Гант 27	Е, дкр	СЛП	UA	●	Фуглевич Ярослав Миронович	UA
Павлонія	<i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.	Енерджі	Е, дкр	СЛП	UA		Кудрик Вадим Валерійович	UA
Павлонія	<i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.	3E PRO	Е, озл, тхн	СЛП	ES	●	Павлонія Професіональ С.Л.	ES
Павлонія	<i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.	Ін Вітро 112	Е, дкр	СЛП	ES	●	Ін Вітро СЛ	ES
Павлонія	<i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.	Квінерджи	Е, дкр	СЛП	UA		Парінцева Лілія Юріана	UA
Павлонія	<i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.	Котвіса 1	Е, дкр	СЛП	ES		Комерціал Техніка у Віврос, С.Л.	ES
Павлонія	<i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.	Котвіса 2	Е, дкр	СЛП	ES		Комерціал Техніка у Віврос, С.Л.	ES
Павлонія	<i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.	Лідя	Е, тхн	СЛП		●	Закарпатська державна сільськогосподарська дослідна станція Національної академії аграрних наук України	UA
Павлонія	<i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.	Лілов	Е, дкр	СЛП	UA	●	Закарпатська державна сільськогосподарська дослідна станція Національної академії аграрних наук України	UA
Павлонія	<i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.	Сила природи	Е	Л	UA	●	ТОВ "ГРІН МАНІ АГРО"	UA
Павлонія	<i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.	ТУРБО ПРО	Е, озл, тхн	СЛП	ES	●	Павлонія Професіональ С.Л.	ES
Павлонія	<i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.	Фенікс	Е, дкр	СЛП	UA	●	Товариство з обмеженою відповідальністю «Всеукраїнський науковий інститут селекції (ВНІС)»	UA
Просо прутіподібне	<i>Panicum virgatum</i> L.	Зоране	Е, дкр	ЛП	UA	●	Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка Національної академії наук України	UA
Просо прутіподібне	<i>Panicum virgatum</i> L.	Ладоське	Е	ЛП	UA	●	Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України	UA
Просо прутіподібне	<i>Panicum virgatum</i> L.	Морозко	Е	ЛП	UA	●	Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України	UA