

МОН УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
(УНУС)

Факультет плодовоовочівництва, екології та захисту рослин
Кафедра екології та безпеки життєдіяльності

Допущено до захисту

«___» (_____)

2023 року

Зав. кафедри, к. с.-г. н., доцент

_____ Ольга ВАСИЛЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ступеня вищої освіти магістр

ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОЩУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ

Виконанала: студентка 2 курсу, групи 21-м-ек
спеціальності 101 Екологія

СЕМЕНЮК Анастасія Віталіївна

Керівник: НІКІТИНА Ольга, к. с.-г. н., доцент

Умань – 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ (огляд літератури)	6
1.1 Біоенергетичні культури та їх види	6
1.2 Перспективи розвитку біоенергетики в Україні	8
1.3 Біомаса як джерело теплової енергії	13
РОЗДІЛ 2. УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	17
2.1 Умови проведення досліджень	17
2.2 Характеристика об'єкту досліджень	19
2.3 Методика проведення досліджень	21
2.4 Аналіз шкідливих та небезпечних чинників	21
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	27
3.1. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України	27
3.2 Біомаса як об'єкт альтернативної сировини та методи перетворення її в паливо	34
РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР	40
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45
ДОДАТКИ	49

ВСТУП

На сьогоднішній день головними пріоритетами нової галузі – біоенергетики – є пошук шляхів здешевлення різних видів біосировини, розробка нових техніко-економічних рішень, а також формування не-обхідної інфраструктури з метою ефективнішого використання рослинних енергетичних ресурсів і переробки їх фітомаси для отримання рідкого (біоетанол, біобутанол), газоподібного та твердого біопалива (гранули, брикети тощо) [5].

Для реалізації програми розвитку біоенергетики в Україні наявні всі необхідні передумови, в першу чергу – ґрунтово-кліматичні умови, які сприяють отриманню високої врожайності енергоємної фітомаси енергетичних культур. По-друге, використання адаптивних технологій вирощування на маргінальних землях біоенергетичних культур, вдосконалення існуючих, відповідна переробка фітосировини й використання біопалива в ПЕК (паливо-енергетичному комплексі) забезпечить зростання частки біоенергетики у загальній структурі енергетики України та значно зменшить енергозалежність нашої країни. Як результат – зменшення використання не-поновлюваних енергоресурсів на фоні зростання попиту на альтернативні джерела енергії, що в перспективі сприятиме розвитку національної економіки та зростанню добробуту населення [11, 22].

Україна має хороші передумови та достатній потенціал для динамічного розвитку сектору біоенергетики. Основними рушійними силами цього процесу є постійне зростання цін на традиційні енергоносії та наявність значного потенціалу біомаси, доступної для енергетичного використання [8].

Технічний і соціальний прогрес розвитку людства супроводжується виникненням економічних, енергетичних та екологічних проблем, пов'язаних з виснаженням викопних паливних ресурсів і постійним зростанням їх вартості. Для вирішення цих проблем науковцями впродовж останніх десятиліть ведеться активний пошук альтернативних, економічно ефективних відновлюваних джерел енергії. Одним з перспективних напрямків розвитку

відновлювальної енергетики є використання енергії біомаси, яке сприяє економії традиційних видів палива та не викликає підсилення глобального парникового ефекту. У природному або переробленому стані біомаса біоенергетичних культур у вигляді паливної тріски, гранул та брикетів застосовується для отримання як теплової, так і електричної енергії [4; 8].

Зростання біоенергетичної галузі потребує не лише екологічних, соціальних, політичних запитів населення країни, але також економічних стимулів для власників інвестиційних ресурсів. Адже недостатня економічна ефективність отримання енергії із біомаси часто стає на заваді створення нових біоенергетичних плантацій, зокрема вища ціна одиниці біоенергії у зіставленні з вартістю енергії з викопного палива (наприклад, вугілля) стримує інвестиції в біоенергетичну галузь [18]. Розширення мережі та площ біоенергетичних плантацій потребує залучення значних обсягів державних та приватних інвестицій.

Актуальність теми

Для України біоенергетика є одним зі стратегічних напрямів розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, враховуючи високу залежність країни від імпортованих енергоносіїв, у першу чергу. Основним виробником біологічного палива може стати саме сільське господарство, маючи величезний потенціал для виробництва біоенергії як основної, а також побічної продукції рослинництва й тваринництва.

Об’єкт дослідження – біоенергетичні культури України.

Предмет дослідження – можливість використання енергетичних культур родини тонконогових

Мета досліджень – охарактеризувати видову та сортову різноманітність, особливості та відношення енергетичних

Відповідно до поставленої мети досліджень передбачалося вирішення наступних завдань:

1. Узагальнити наявну інформацію щодо морфологічних

особливостей енергетичних культур, відношення їх до умов навколишнього середовища;

2. Визначити потенціал урожайності біомаси енергетичних культур та енергетичну продуктивність на одиницю площі;

3. Розглянути можливості розподілу енергетичних культур по ґрунтово-кліматичних умовах, що відповідають їх біологічним особливостям.

Методи дослідження – оброблення, компонування даних та аналіз даних, опрацювання інформації (групування, зведення у таблиці, побудова графіків, схем). Енергетичну цінність сировини визначали на калориметрії ІСО 200. Енергетичну продуктивність рослин визначали на основі теплоємності та урожайності фітосировини з урахуванням методик

Апробація результатів роботи Основні положення кваліфікаційної роботи представлялися і обговорювалися на XII Всеукраїнській науково-практичній Інтернет-конференції «Екологія – шляхи гармонізації відносин природи та суспільства»

Наукове та практичне значення роботи полягає в оцінці та дослідженні культур родини тонконогових для реалізації потенціалу рослин щодо їх урожайності та енергетичної продуктивності із врахуванням умов навколишнього середовища

Структура та обсяг дипломної роботи. Загальний обсяг роботи становить 49 сторінки комп'ютерного тексту. Дипломна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків та 1 додатку. Список використаних джерел нараховує 37 джерел.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ (огляд літератури)

1.1. Біоенергетичні культури та їх види

Україна має великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії, що є гарною передумовою для динамічного розвитку сектора біоенергетики. Економічно доцільний енергетичний потенціал біомаси в країні складає близько 20–25 млн. т у.п./рік. Основними складовими потенціалу є відходи сільськогосподарського виробництва (солома, стебла кукурудзи, стебла соняшнику і т.п.) – більше 11 млн. т у.п./рік (за даними 2018 р.) та енергетичні культури – близько 10 млн. т у.п./рік. При цьому сільськогосподарські відходи є реальною частиною потенціалу біомаси, а дані щодо енергетичних культур відображають обсяг біомаси, який можна отримати при вирощуванні цих культур на вільних землях в Україні. Слід зазначити, що цей процес активно розвивається останні кілька років [22, 23].

Площа незадіяних сільськогосподарських земель в Україні становить 3–4 млн.га, за даними 2018 року – 3,5 млн. га. [8, 18].

При оцінці потенціалу надзвичайно важливим є питання, яку частку відходів/залишків сільськогосподарського виробництва можна використовувати на енергетичні потреби без негативного впливу на родючість ґрунтів. Експерти Біоенергетичної асоціації України, виконавши відповідне дослідження, дійшли висновку, що в середньому для України можна прогнозувати використання до 30% теоретичного потенціалу соломи зернових культур і до 40% теоретичного потенціалу відходів виробництва кукурудзи на зерно та соняшнику [9]. На рівні конкретного сільськогосподарського підприємства або фермерського господарства це питання має вирішуватися індивідуально, беручи до уваги існуючі неенергетичні напрямки застосування соломи та інших рослинних відходів

(наприклад, використання в якості органічного добрива, підстилки й корму для худоби).

Основними напрямками реалізації енергетичного потенціалу біомаси та біогазу в Україні є виробництво теплової та електричної енергії. Відповідні концепції розвитку енергогенерації на біомасі/біогазі до 2022 р. і 2030 р. були розроблені Біоенергетичною асоціацією України [10, 11, 20, 21]. При існуючих цінах на викопні палива (у першу чергу, природний газ), теплову енергію та на біомасу впровадження котлів на біопаливі для виробництва теплової енергії є економічно доцільним і може рекомендуватися для об'єктів теплоенергетики в промисловому і бюджетному секторах. Реалізація таких проектів у житлово-комунальному господарстві перебуває сьогодні на межі рентабельності. Термін окупності проектів із впровадження котлів на деревині та соломі становить 2–3 роки для промислового та бюджетного секторів і 8–10 років – для ЖКГ.

Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямків розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, враховуючи високу залежність країни від імпортованих енергоносіїв, в першу чергу, природного газу, і великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії. На жаль, темпи розвитку біоенергетики в Україні досі істотно відстають від європейських. На сьогоднішній день частка біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні становить 1,78%. Щорічно в Україні для виробництва енергії використовується близько 2 млн. т у.п./рік біомаси різних видів. На деревину припадає найвищий відсоток використання економічно доцільного потенціалу – 80%, тоді як для інших видів біомаси (за винятком лушпиння соняшника) цей показник на порядок нижче. Найменш активно (на рівні 1%) реалізується енергетичний потенціал соломи зернових культур та ріпаку.

В Україні щорічно збирається понад 50 млн. т зернових культур. У значних обсягах солома і рослинні відходи, як побічні продукти сільськогосподарського рослинництва [16, 20].

Лісистість території України становить близько 16% її загальної площі.

Щорічно заготовляється 16–17 млн. м ділової деревини; відходи переробки деревини складають до 10 млн. м. куб. На даний час близько 70% відходів деревини у вигляді тирси, трісок, пелет і брикетів використовується як біопаливо.

Енергетичні культури – це окремі види дерев та рослин, що спеціально вирощуються для виробництва твердого біопалива. Вони поділяються на три окремі групи:

- швидкоростучі дерева;
- багаторічні трави (міскантус, шавнат);
- однорічні трави (сорго, тритикале).

До енергетичних рослин також належать традиційні сільськогосподарські культури, що вирощуються з метою виробництва біодизельного пального (ріпак, соняшник), біоетанолу (кукурудза, пшениця) та біогазу (кукурудза). Одним із напрямків використання біомаси є її переробка у рідке біопаливо: біодизель та біоетанол [7, 9].

Україна має необхідні умови для виробництва рідких біопалив, як за земельними ресурсами і рослинним потенціалом, так і за наявністю власних виробничих потужностей.

Вже на сьогодні потенціал біомаси в Україні, придатний для рентабельного виробництва рідких біопалив (біоетанолу і біодизелю) дає підстави стверджувати про перспективність цього напрямку. Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал рідкого біопалива в Україні є еквівалентним 1 млн. т н.е. Його використання дає змогу щорічно заощаджувати близько 1,2 млрд. м. куб. природного газу. Найбільший потенціал рідкого біопалива зосереджений у Вінницькій та Полтавській областях, де він становить понад 90 тис. т н.е./рік [10, 15].

1.2 Перспективи розвитку біоенергетики в Україні

Європейський досвід свідчить: енергія, вироблена з біомаси та інших відновлювальних джерел, відіграє все більш провідну роль у загальному

енергетичному балансі. Згідно з даними фахівців Біоенергетичної асоціації України, в ЄС частка відновлюваних джерел вже сьогодні становить 15%. При цьому саме біомаса складає 62% загального внеску відновлювальних джерел енергії. А в європейських країнах з найбільш високорозвиненим агропромисловим комплексом, таких, як Угорщина, Польща, Фінляндія, країни Балтії, за рахунок великого об'єму біоенергетичної сировини, виробництво енергії з біомаси сягає 95%. Враховуючи потенційні можливості України щодо кількості сировини для виготовлення біомаси, наша держава має усі шанси обійняти лідируючі позиції в галузі біоенергетики [2, 13].

За даними дослідження енергетичного балансу України, підготовленим Держстатом, за 2013 рік частка відновлювальних джерел енергії у валовому кінцевому енергоспоживанні досягла 3,45%, у тому числі біомаса - 2,2%, що становить 63% від усіх відновлювальних джерел енергії. Це свідчить про те, що порівняно з 2012 роком спостерігається помітний ріст внеску біомаси до загального постачання первинної енергії – на 23%. При цьому на 2015 рік Біоенергетична асоціація України прогнозує ще більше зростання цих показників у зв'язку з гострою необхідністю заміщення російського газу альтернативними видами палива. Як відомо, Національним планом дій з відновлюваної енергетики встановлено загальну мету з розвитку цього сектора в Україні до 2020 року: внесок ВДЕ до валового кінцевого енергоспоживання повинен досягти 11% відповідно до зобов'язань України як члена Енергетичного співтовариства [3, 17].

Фахівці з біоенергетики зазначають, що для виконання поставленої цілі в Україні є достатній потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії - більше 27 млн тонн умовного палива на рік. Основні її складові - первинні відходи сільського господарства. Але наразі на енергетичні потреби в Україні використовується лише 10% загального потенціалу біомаси – 2,7 млн т умовного палива на рік. Головним чином це деревна біомаса (86% від загального обсягу використання біомаси) та лушпиння соняшника (8%).

Найменш активно застосовуються рослинні відходи - 94 тис т соломи на рік, що становить менше 1% економічного потенціалу соломи в Україні [14, 24].

Українська влада намагається приймати всі необхідні заходи для розвитку біоенергетики. Протягом 2014 року було прийнято низку урядових постанов, спрямованих на стимулювання заміщення природного газу альтернативними видами енергії. Втім, незважаючи на деякий прогрес у розвитку біоенергетичних технологій, залишається низка бар'єрів, які створюють різноманітні перешкоди [6, 25].

В якості ще одного бар'єру для розвитку біоенергетики фахівці називають проблему спрощення процедури ліцензування виробництва альтернативних видів енергії. Також існує прогалина у діючому законодавстві, згідно з якою більшість енергетичних культур досі не віднесені до сільськогосподарських. Тому їх вирощування на землях сільськогосподарського призначення неможливе. А існуюча процедура включення до реєстру агрокультур є довгою - випробування тривають три роки. Таким чином, необхідно внести належні корективи до відповідних нормативних актів [5].

І це не єдині законодавчі проблеми, які створюють додаткові перешкоди для розвитку біоенергетики. Фахівці вважають, що потрібно врегулювати питання заготівлі деревного палива приватними компаніями, які мають відповідну техніку, в лісах державної форми власності. Разом з тим існує ціла низка обмежень для приватних компаній з цього виду діяльності. Окрім того, недосконалим є законодавство щодо «зеленого» тарифу на електроенергію, вироблену з біомаси та біогазу. Наприклад, за думкою фахівців в галузі біоенергетики, коефіцієнти «зеленого» тарифу є заниженими [28].

Україна відноситься до країн, які лише частково забезпечують себе традиційними видами енергоресурсів і змушена імпортувати близько 65% викопних енергоносіїв. Сучасна енергетична політика України значною мірою базується на імпорті енергетичної сировини, ціна на яку постійно

зростає, і ця тенденція посилюється з року в рік, оскільки видобуток викопних джерел енергії скорочується, а в найближчій перспективі запаси цих енергоносіїв будуть вичерпані [16, 20].

Тому освоєння нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) в Україні слід розглядати як важливий фактор підвищення рівня енергетичної безпеки та зниження антропогенного впливу енергетики на довкілля. Незважаючи на свою залежність від імпорту енергоресурсів, Україна мало приділяє уваги розвитку НВДЕ, частка яких в структурі енергоспоживання становить 0,8%, що значно менше, порівняно з іншими європейськими країнами [21].

Важливою складовою біоенергетичного сектору ЄС є енергетичні культури. Однією з головних цілей ЄС на 2020 рік є досягнення частки біомаси на рівні 14% валового кінцевого енерговикористання. За оцінкою ІТТФ, в Україні на сьогодні 3–4 млн. га сільськогосподарських земель, які не використовуються, але придатні для вирощування енергетичних культур [6, 23].

Враховуючи сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування рослин, найбільш перспективним видом біоенергетики для України є фітоенергетика, яка базується на біосировині рослинного походження. До основних переваг рослинної біомаси, як джерела енергії, можна віднести екологічну чистоту викидів, порівняно з викопними видами палива, відсутність негативного впливу на баланс вуглекислого газу в атмосфері. Під час згорання біопалива на основі рослинної біомаси в атмосферу викидається менше вуглекислого газу, ніж поглинається рослинами в процесі фотосинтезу, утворюється в 20–30 разів менше оксиду сірки і в 3–4 рази менше золи в порівнянні з вугіллям. Побічним продуктом в процесі виробництва рідкого та газоподібного біопалива та в результаті згорання твердого біопалива є органічна речовина, яку можна використовувати в якості добрив [15].

Основними пріоритетами фітоенергетики є пошук дешевої

біосировини, створення необхідної інфраструктури для вирощування енергетичних рослин та перероблення біомаси за допомогою хімічних чи біологічних процесів у різні види біопалива: рідкі (етанол, метанол, бутанол, біодизель), газоподібні (метан, синтезгаз, водень), і тверді (паливні гранули, брикети, тріска, солома, лузга, дрова) [23].

1.3 Біомаса як джерело теплової енергії

Біомаса – відновне джерело енергії. Під терміном «загальна біомаса» розуміють загальну кількість живої речовини у деякій екосистемі. Поновлювальні енергетичні ресурси становитимуть значну частку в енергетичному балансі економіки держав, зокрема України. Біомасу можна поділити на дві групи: первинна енергетична сировина, тобто деревина, солома і стічні осади (аналог торфу); перетворена енергетична сировина, така як біогаз, етанол, метанол, ефіри ріпакової олії, макулатура [7, 18].

Згідно з європейськими визначеннями застосування поновлювальних джерел енергії у вигляді біомаси безпосереднього палива чи біосировини для подальшого перетворення на паливо, біомаса – біодеградовані відходи та залишки продукції агропромислового комплексу, лісового господарства та галезей промисловості, вуглецевомісні органічні речовини рослинного і тваринного походження (деревина, солома, рослинні залишки переробного виробництва, гній, органічна частина твердих побутових відходів та торф) [30].

Кількість біомаси визначається за вагою речовини живих організмів. Абсолютна величина біомаси сучасних організмів земної кулі може бути визначена дуже приблизно. Зокрема, вага живих організмів Світового океану дорівнює приблизно 16 млрд т, організмів суші – приблизно 6 трлн т. [5, 33].

Ефективність біомаси як джерела енергії обумовлена легкістю її одержання та швидким поновленням запасів. Щорічний приріст біомаси еквівалентний 80 млрд тонн нафти. Світова потреба в енергії становить тільки 12 % енергії щорічного світового приросту біомаси [8, 29].

Україна має доволі великий потенціал біомаси, одержання енергії. Загальні річні обсяги відновлюваних ресурсів біомаси в Україні становили понад 115 млн тонн. За даними різних джерел біомаса може забезпечити від 10...15 до 21...27 млн тонн у.п. на рік, або від 5...8 % до 13% внутрішньої загальної потреби в енергії. Зокрема, сумарний річний потенціал лише тваринницької сільськогосподарської біомаси в Україні становить близько 14 тис. т у.п. та близько 17 млн м³ метану за рік [4].

Теоретичний сумарний потенціал біопалива в Україні становить 50 млн т у.п., технічний 30,23 млн т у.п., а економічно доцільний – 27,27 млн т у.п. Тобто, виходячи з теперішнього рівня загального споживання первинних енергоносіїв в Україні (240 млн т у.п. у 2012 р.), економічний потенціал біомаси може задовольнити близько 13% загальної потреби України в енергії [5].

Біомаса зараз займає одне з провідних місць серед інших видів альтернативних джерел енергії. Біомаса заміщує 1250 млн тонн у.п. щорічно, що складає 15% світового споживання первинних енергоресурсів, і є четвертим по значущості видом палива. Біомаса відіграє істотну роль в енергозабезпеченні промислово розвинутих країн: у США її частка складає близько 4%, у Данії 6%, у Канаді – 7%, в Австрії – 14%, у Швеції – 16% загального споживання первинних енергоресурсів [35].

За еколого-біоенергетичним потенціалом біомаси Україна набагато випереджає усі країни ЄС [4].

Термін «біомаса» стосується цілого ряду відновлюваних енергетичних технологій, що включають:

1. Спалювання рослинної біомаси:

- а) безпосередній спосіб - у відкритих (вогнища) або закритих топках (печі, котли);

- б) при попередній газифікації в спеціальних газифікаторах; в) спалювання комунального сміття.

2. Виробництво паливної олії з олійних рослин (наприклад, ріпак).
3. Спиртову ферментацію цукрової тростини, картоплі або довільного органічного матеріалу, що піддається такій ферментації.
4. Анаеробну метанову ферментацію органічної маси відходів.
5. Енергетичне використання біогазу сміттєзвалищ.

Отже, енергетичні аргументи на користь використання біомаси: різноманітні, досить прості, без зайвих трудовитрат, методи одержання енергії з біомаси; біомаса може вироблятися і використовуватися без значних технологічних інвестицій; накопичена у біомасі енергія є найменш капіталомістким джерелом відновлюваної енергії; виробництво біопалив з біомаси надає додаткові робочі місця, що особливо важливо для сільських територій; використання біомаси поліпшує паливний баланс регіону; переорієнтація частини сільськогосподарських площ на одержання біомаси зменшує негативні наслідки від перевиробництва продовольства [37].

Біологічні види палива (біопаливо) – тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива. До біопалив першого покоління належать біоетанол, біодизель; біопалив другого покоління — різні палива, одержані методами піролізу біомаси, або інші палива, відмінні від метанолу, етанолу, біодизелю; біопалив третього покоління — біоводень, палива одержані з водоростей [15, 36].

Сировинна база для біоенергетики

Основу сировинної бази для біоенергетики в Україні становлять органічна біомаса рослинного й тваринного походження та різні види відходів, придатні для переробки (рис. 1.1).

Згідно Закону України «Про альтернативні види палива» від 21.05.2009р. № 1391-VI. Біомаса – біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу (відходи сільського господарства, рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів [5,19].



Рис. 1.1. Сировинна база та основні напрямки виробництва енергії збіологічної сировини.

В Україні, враховуючи ґрунтово-кліматичні умови, джерела для біопалива експерти розташовують в такій послідовності: кукурудза, тритикале, пшениця, різні види сорго та проса, цукровий буряк, сояшник, ріпак, відходи сільського і лісового господарства, а також міскант, тополя, стебла і лузга сояшника; рекордсменом з накопичення енергії на гектар площі в наших умовах є картопля, але зовсім не вирішені проблеми її зберігання протягом тривалого часу до переробки [17].

Не визначені можливість і доцільність використання для одержання біопалива решток таких культур, як пшениця, ячмінь, кукурудза (солому, стебла кукурудзи, гичку кукурудзи, сої), враховуючи необхідність збереження органічної речовини ґрунту тощо (крім бадилля сояшника), але

є перспектива їх перероблення на хімічні продукти та біопаливо за допомогою "білої" хімії [7].

В останні роки все більше уваги приділяють ріпаку як сировині для одержання біопалива, але не проведено ґрунтовних досліджень з економічної ефективності його вирощування в різних регіонах України порівняно з іншими культурами, а також поки що не створено достатньо зимостійких сортів озимого ріпаку, і він періодично вимерзає на значних площах, сорти ярого ріпаку за врожайністю помітно поступаються озимому, а тому в умовах нашого аграрного виробництва підтримувати рівень 30 ц/га на 1 т складно [6].

Ще однією важливою культурою з погляду біоенергетики в Україні є цукровий буряк, технологія його вирощування, транспортування і зберігання добре розроблена, і у разі вирішення проблеми енергетичних витрат на його переробку можливе одержання біопалива з цієї сировини.

Значні перспективи для біоенергетики в Україні мають деякі нетрадиційні культури, здатні накопичувати велику біомасу, зокрема за рахунок того, що у них фотосинтез відбувається впродовж тривалого періоду – від ранньої весни до пізньої осені, а також швидкорослі деревні породи і нові сорти тополі, верби та інших деревних культур [2, 4, 21].

РОЗДІЛ 2

УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Умови проведення досліджень

Зона мішаних лісів в Україні репрезентована Українським Поліссям. Південна межа Полісся проходить поблизу Львова, Шепетівки, Житомира, Києва, Ніжина, Глухова.

Поверхня Полісся – хвилясто-горбиста рівнина, складена переважно піщаними і супіщаними льодовиковими відкладами.

Клімат помірно континентальний, літо тепле, вологе, у липні від $+17$ (на заході) до $+19^{\circ}\text{C}$ (на сході). Зима м'яка, із частими відлигами, особливо на заході. Температури січня з заходу на схід змінюються від $-4,5$ до -8°C . У середньому за рік в Українському Поліссі випадає 600-680 мм опадів. Кліматичні умови і рельєф обумовлюють велику густоту річкової сітки, утворення боліт.

Ґрунти зони дерново-підзолисті і болотні. Природну рослинність складають лісові, лучні і болотні види.

З лісів переважають соснові (бори), дубово-соснові (субори) і дубово-грабові. У ХУІ – ХУІІІ ст. вся територія Полісся на захід від Дніпра була покрита лісами. Нині лісистість складає лясше 30%.

Середня розораність Полісся – понад 30%, а ділянки середньо-підзолистих (досить родючих) ґрунтів розорані на 80%. Луки займають 10% території. Багато боліт осушено і перетворено на сільгоспугіддя.

Лісостепова зона простяглася від Прикарпаття до Середньоросійської височини. Північна межа (із Поліссям) проходить поблизу Львова, Шепетівки, Житомира, Києва, Ніжина, Глухова, а південна – по лінії Ананьїв – Знам'янка – Олександрія – Красноград – Балаклія - Куп'янськ.

Рельєф Лісостепу різноманітний. На Правобережжі зона займає Волино-Подільську і Придніпровську височини, на Лівобережжі - частину Придніпровської низовини і відроги Середньоросійської височини.

Зональними типами ґрунтів є сірі лісові ґрунти (під лісовими масивами), а також типові чорноземи (під лучним різно-травним степом). У заплавах річок поширені лучно-чорноземні ґрунти, Клімат Лісостепу помірно континентальний. Із заходу на схід січніві температури змінюються від -5 до -8°C , липневі - від $+18$ до $+22^{\circ}\text{C}$. На заході випадає 550–750 мм, на сході – 450 мм опадів на рік. Густота річкової сітки зменшується із заходу на схід.

У Лісостепу переважають широколистяні ліси, головним чином дуброви. Бук утворює великі масиви на крайньому заході. Граб характерний для лісів Придніпровської височини. На Лівобережжі домінує дуб із домішкою клена, липи, ясена. Соснові і сосново-дубові ліси займають піщані тераси річок.

Ландшафти Лісостепу сильно змінені людиною. За останні сторіччя лісистість зменшилася від 40–50 до 5–10%. Середня розораність Лісостепу складає 75%, а на Лівобережжі - навіть 90%. Природні умови сприятливі для вирощування пшениці, кукурудзи, гречки, цукрового буряка і багатьох інших культур.

Степова зона займає близько 40% території України. На півночі Степ межує з Лісостепом по лінії Ананьїв - Знам'янка - Олександрія - Красноград - Балаклія - Куп'янськ. Степ охоплює Причорноморську низовину, південні частини Придніпровської височини та Придніпровської низовини, Донецьку і Приазовську височини, а також рівнини Криму.

У порівнянні з іншими зонами України Степ одержує найбільшу кількість сонячного тепла, але найменшу кількість осадків. Із заходу на схід температури січня змінюються від -2 до -9°C , температури липня - від $+20$ до $+24^{\circ}\text{C}$. Річна сума опадів зменшується з північного заходу на південний схід - від 450 до 300 мм. Це є причиною маловодності степових річок.

Природних лісів у Степу дуже мало. Вони ростуть переважно в балках (байрачні дубові ліси), у заплавах рік (заплавні ліси), на піщаних терасах (соснові ліси). Є й штучні лісові масиви. Повсюдно в Степу створено лісові полезахисні смуги.

Степ сильно змінений людиною. Природна рослинність збереглася в заповідниках, на схилах річкових долин і балок,

У північних районах є лучні степи з пишним різнотрав'ям (конюшина, шавлія, сон-трава та ін.) і степовими злаками. Ґрунти – звичайні чорноземи, типові чорноземи. Далі на південь - різнотравно-типчаково-ковилові степи на звичайних чорноземах поступово переходять у типчаково-ковилові на південних чорноземах. Ще далі на південь – сухі степи з розрідженим травостоєм із злаків, полину, солянок на каштанових ґрунтах.

2.2 Характеристика об'єкту досліджень

Арундо тростинний (*Arundo donax* L.), або очерет гігантський – багаторічна рослина з родини тонконогових, з високими (до 8 м) прямими стеблами, дуже жорсткими і дерев'янистими, а всередині порожнистими і трубчастими, діаметром до 5 см. Рослина формує короткі, дерев'янисті кореневища. Листки – вузькі, довгі, лінійно-ланцетні, неопушені. Квіти дрібні, зібрані у густу, пухнасту волоть, яка складається з безлічі дрібних колосків по 2–7 квіток, в яких формується нежиттєздатне насіння. Температура відростання нових пагонів навесні становить 7 °С, оптимальна для вегетації рослин – 30 °С. Урожайність фітомаси – від 25 до 50 т/га. Енергопродуктивність рослин – до 100 Гкал/га [1].

Просо прутоподібне (*Panicum virgatum* L.) – багаторічна трав'яниста рослина (до 10–15 років на одному місці).

Рослини досягають висоти від 100–150 до 210–250 см. Число продуктивних пагонів на рослині становить від 12–14 до 30–35 штук. Рослини залежно від форми бувають прямі і напіврозлогі. Число метамерів на стеблі становить від 3 до 7, а у окремих форм – до 9. Діаметр у основі стебла в середньому становить 4–6 мм, але зустрічаються форми з тонкими і товстими стеблами. Листкова пластинка досягає довжини 50–60 см, у деяких форм може бути значно довшою; ширина – в середньому 11–14 мм. За формою волоть

буває розлогою, комоподібною, овальною, пірамідальною, стислою. Довжина волоті становить 30–40 см, ширина – 20–30 см. За масою 1000 шт. зернівки поділяють на три групи: з малою масою – до 1,5 г, із середньою масою – 1,5–1,8 і з великою масою – понад 1,8 г. Багаторічні кореневища при вегетативному розмноженні можна розділити на 8–25 (до 80) частин залежно від року життя і форми рослин. Кожна посадкова одиниця має довжину 5–7 см.

Міскантус гігантський (*M. × giganteus*) – це тераплоїдний гібрид міскантусу китайського (*M. sinensis* Anderss.) і міскантусу цукровіткового (*M. sacchariflorus* (Maxim.) Benth). Багаторічна трав'яниста рослина з C₄-схемою фотосинтезу.

Рослини досягають висоти 220–310 (може до 450–500) см. Число пагонів в кущі становить 10–15 (до 70). Стебло пряме, округле. Діаметр стебла – 12–25 мм. Число листків на стеблі – 11–15 штук, ширина їх – 2,2–2,9 см, довжина – 93–102 см. Волоть має веретеноподібну, конусоподібну або еліпсоподібну форму і досягає в довжину 30–33 см. Рослини мають рихлокущовий тип кущіння. Число кореневищ (ризом) у одній рослині становить від 18 до 37 шт, довжина їх – 10–15 см [19].

Сорго багаторічне (*Sorghum alatum* Parodi.) належить до родини тонконогових. Рослина заввишки 230–300 см. Основне стебло і всі бічні пагони зверху закінчуються волоттю. Листки – довголанцетні, 60–80 см завдовжки, 3–5 см завширшки. Чисельність їх на рослині коливається від 18 до 26 штук. Листки основою охоплюють стебло наполовину. Суцвіття – волоть довжиною 40–45 см. Насіння – видовжене, коричнево-чорне. Маса 1000 штук – 8,5–9,0 грамів. Коренева система добре розвинена і проникає в ґрунт на глибину 2,0–2,5 м. Під час посухи здатна розвивати вторинне коріння. Оптимальні строки сівби – I–II декада травня, коли ґрунт прогрівається на глибину 10 см до 12–14 °С. Польова схожість насіння становить 75–80 %. Оптимальна температура для розвитку – плюс 18–25 °С.

Сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench.) – однорічна трав'яниста рослина (яра форма). Рослини досягають висоти до 300 см. Стебло

пряме, діаметр біля основи 13–36 мм. Число міжвузлів на стеблі, залежно від висоти, коливається від 5–9 до 25. Листки довголанцетні, великі, довжиною 50–100 см і шириною – 1–6 см, у деяких форм – до 10 см та більше. Суцвіття – волоть довжиною 15–60 см різної форми (розлога, стисла, комова та ін.). Зерно сорго – голе або плівчасте, кулястої, подовжено-овальної, яйцевидної форми, білого, жовтого, коричневого, чорного забарвлення. Маса 1000 зернин – 27–33 (до 40) г. Коренева система мичкувата, сильно розвинена, заглиблюється в ґрунт до 150–200 см [1].

2.3 Методи дослідження

Під час виконання досліджень за зазначеною темою використовували загальноприйняті методики проведення досліджень [11], визначники, бібліотечні каталоги, альбоми [16], атласи [1], довідники [15] та спеціальні методичні рекомендації [20, 33]. Енергетичну цінність сировини визначали на калориметрі ІСО 200. Енергетичну продуктивність рослин визначали на основі теплоємності та урожайності фітосировини з урахуванням методик [8, 22].

2.4 . Аналіз шкідливих та небезпечних чинників

Під робочим місцем з комп'ютерною технікою розуміють відокремлену ділянку загального робочого приміщення (кабінету, залу, цеху і т.п.), обладнану необхідним комплексом технічних засобів обчислювальної техніки, і в межах якої постійно або тимчасово перебуває користувач (оператор) у процесі своєї трудової діяльності.

На робочих місцях з комп'ютерною технікою можна виділити два види просторових полів: поля, що створюються власне персональним комп'ютером (ПК) і поля, породжені іншими джерелами, що оточують робоче місце.

Сучасна комп'ютерна техніка є енергонасиченим апаратом зі

споживанням до 200-250 Вт, що містить декілька електро- і радіоелектронних пристроїв з різними фізичними принципами дії. Тому вона створює навколо себе поля із широким частотним спектром і просторовим розподілом, такі як:

—електростатичне поле (виникає за рахунок наявності електростатичного потенціалу на екрані електронно-променевої трубки, на РКЕ таке поле відсутнє);

—змінні низькочастотні електричні поля;

—змінні низькочастотні магнітні поля.

Потенційно можливими шкідливими факторами можуть бути також:

—електромагнітне випромінювання радіочастотного діапазону;

—електромагнітні поля, створювані сторонніми джерелами на робочому місці зкомп'ютерною технікою.

Джерелами змінних електричних і магнітних полів у ПК є вузли, у яких присутня висока змінна напруга, і вузли, що працюють з великими струмами. Рівні напруженості електромагнітних полів за електричними складовими та густиною магнітних потоків (індукції) у цих піддіапазонах регламентуються чинним в Україні нормативним актом ДСанПіН 3.3.2.007-98 та загальноєвропейським стандартом MPR II, відомим під назвою „шведський стандарт”. Ці ж діапазони розглядаються в універсальному рекомендаційному стандарті ТСО'99. Джерелами ЕМВ є не тільки дисплеї, сконструйовані на основі ЕПТ, але і рідкокристалічні та плазмені монітори, високочастотні перетворювачі джерела живлення портативних комп'ютерів. Монітори на основі рідких кристалів не генерують шкідливих випромінювань, властивих звичайним моніторам, у них відсутнє рентгенівське випромінювання і електростатичне поле. Існує думка, що в рідкокристалічних дисплеїв зовсім відсутні ЕМП. Однак результати досліджень, проведених у наукових центрах, показали, що така точка зору не має під собою підстав. За низької напруги мережі живлення такі дисплеї дійсно не мають електростатичного поля, але перемінні електричні і перемінні магнітні поля існують. ЕМП рідкокристалічних (РК) моніторів не

перевищують допустимих норм, але тільки на відстані 50 см і більш від екрана. На менших відстанях може спостерігатися перевищення норм. Якщо до того ж моніторії системні блоки не заземлені, то ЕМВ на робочому місці користувачів комп'ютерів від моніторів на основі ЕПТ і РК моніторів не відрізняються, а їх рівні, за таких умов, практично завжди перевищують допустимі норми. Не підтвердилася і розповсюджена, помилкова думка про повну безпеку портативних персональних комп'ютерів типу "Note Book". Такі персональні комп'ютери повністю безпечні за рівнем електростатичного потенціалу (через відсутність у них високої напруги постійного струму). Однак, через наявність у їх складі високочастотних перетворювачів джерела живлення деякі типи даних персональних комп'ютерів мають значне перевищення норм за рівнями електромагнітних полів.

Джерелом ЕМВ на робочому місці з ПЕОМ може бути безпроводний зв'язок Wi-Fi. У спеціалізованій літературі користувачами персональних комп'ютерів обговорюється не тільки його функціональні можливості, а і безпечність для персоналу. Потужності випромінювачів модулів обміну інформацією у таких приладах досить низька (30...50 мВт), але вони працюють на надвисоких частотах (1,8...2,4 ГГц) і випромінювання поширюється в усі боки від антени, що також може дати негативні наслідки як для користувачів, так і для деяких електронних приладів, якими обладнане робоче місце користувача персонального комп'ютера. В деяких європейських країнах, наприклад Швеції, використання безпроводного зв'язку Wi-Fi в учбових закладах заборонено, в інших країнах (Великобританії, Німеччині, Франції) ввели обмеження на його використання із подальшою тенденцією до повної заборони.

Деякі вчені висловлюють занепокоєння, що електромагнітні випромінювання від безпроводного зв'язку Wi-Fi можуть викликати втрату концентрації уваги, втому, головний біль, проблеми з пам'яттю і відхилення в поведінці, а в довгостроковій перспективі навіть може привести до розвитку ракових пухлин. Вважається, що діти більше піддані впливу шкідливих

факторів, тому що товщина кісток їхньої черепної коробки менше, а нервова система більш вразлива. Остаточну відповідь на питання чи має Wi-Fi який-небудь вплив на мозок людини чи ні навіть найдосконаліші лабораторії зможуть дати через 30-40 років. Адже вплив може і не мати помітних наслідків безпосередньо в перші роки використання безпроводних комунікацій. Електромагнітні поля, породжені сторонніми (що не входять до складу ПЕОМ) джерелами, називають іноді фоновими полями. Характер цих полів, їхній просторовий розподіл і рівні визначаються фізичними особливостями джерел, положенням їх стосовно робочого місця.

Джерелами електромагнітних полів та випромінювань на робочому місці користувача є додаткові та допоміжні пристрої, які підключаються до комп'ютера і знаходяться безпосередньо поблизу оператора. Це принтери, сканери, сканери штрихових кодів та сканери (пристрої) запису/зчитування інформації з інтегрованих мікросхем пластикових карток. Пристрої запису/зчитування інформації з інтегрованих мікросхем мають досить великі робочі струми (до 150 мА) та здійснюють індуктивне живлення безконтактних мікросхем і обмінюються інформацією з ними та контактними схемами на робочих частотах 125 кГц та 13,56 МГц. Такі прилади є джерелами середньочастотних електромагнітних полів зі складними просторовими конфігураціями полів. Інтенсивними джерелами електромагнітних полів є живлячі кабелі, силові щити і особливо транзитні силові кабелі та потужні розподільчі пристрої. Джерелами фонових низькочастотних полів є також інші технічні засоби, у тому числі побутові (кондиціонери, вентилятори, пиłosоси, кухонна техніка), а також масивні не заземлені металеві предмети (ґрати, стелажі і т.п.).

Компонентами загального електромагнітного фону є також джерела високочастотних електромагнітних випромінювань, які розташовані безпосередньо у робочих приміщеннях це, перш за все, радіотелефони та радіоподовжувачі. Напруженості полів, які створюються радіотелефонами на частоті 900 МГц за електричною складовою дорівнює близько 10 В/м, що

негативно впливає не тільки на оператора, але і на стабільність роботи технічних засобів.

У побутових умовах джерелами фону є, у першу чергу електропроводка, а також практично усе електрообладнання: електричні щити, розетки, вимикачі, освітлювальні прилади, холодильники, кондиціонери і т.ін. Особливої уваги потребують випадки появи екстремальних електричних і магнітних полів сторонніх джерел, що можуть не тільки багаторазово перевищувати гігієнічні вимоги, але і порушують нормальну роботу ПК та іншої, з'єднаної з нею техніки. Так, наприклад, магнітне поле промислової частоти 50 Гц із напругою більше тисячі нанотесла (1 мкТл) викликає помітну для очей просторову і тимчасову нестабільність (тремтіння і мерехтіння) зображення на екрані дисплея ПЕОМ із частотою, що дорівнює різниці між частотою кадрової розгортки дисплея і частотою 50 Гц. У таких випадках виникають ефекти опосередкованого впливу на оператора ПК магнітного поля промислової частоти 50 Гц. Опосередкований вплив відбувається за схемою „поле – відеомонітор – оператор”. Просторова та часова нестабільність зображення на моніторі (тремтіння) є шкідливим для зору користувача, негативно впливає на його психологічний та емоційний стан. Повну гарантію безпеки робочого місця може дати лише його детальне обстеження за рівнями полів і атестація робочого місця уповноваженими на це організаціями і фахівцями.

Проводи живлення бажано прокладати в екрануючих металевих оболонках, аботрубках.

Місця групового підключення ПК доцільно оснащувати екранованими щитками із достатньою кількістю розеток і розміщеними з урахуванням найбільшої рівновіддаленості їх від робочих місць користувачів ПК й інших співробітників, що постійно працюють у приміщенні.

Доцільно до кожного групового місця підключати не більш 2 – 3-х користувачів ПК. Виконання перерахованих вище вимог може забезпечити зниження в десятки і сотні раз загального електромагнітного поля в

приміщенні. Важливим фактором для забезпечення нормальної електромагнітної обстановки на робочих місцях користувачів ПК є правильна організації самих робочих місць.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

3.1 Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України

Енергетичні культури родини тонконогових різняться між собою за тривалістю вегетаційного періоду, інтенсивністю росту і розвитку, формою, забарвленням продуктивних органів та їх будовою, відношенням до умов навколишнього середовища, технологією вирощування і особливостями збирання врожаю біомаси. Наводимо ілюстративний матеріал (рис. 1–5) та морфолого-біологічні особливості енергетичних рослин [1, 16].

Арундо тростинний (*Arundo donax* L.), або очерет гігантський – багаторічна рослина з родини тонконогових, з високими (до 8 м) прямими стеблами, дуже жорсткими і дерев'янистими, а всередині порожнистими і трубчастими, діаметром до 5 см. Рослина формує короткі, дерев'янисті кореневища. Листки – вузькі, довгі, лінійно-ланцетні, неопушені. Квіти дрібні, зібрані у густу, пухнасту волоть, яка складається з безлічі дрібних колосків по 2–7 квіток, в яких формується нежиттєздатне насіння. Температура відростання нових пагонів навесні становить 7 °С, оптимальна для вегетації рослин – 30 °С. Урожайність фітомаси – від 25 до 50 т/га. Енергопродуктивність рослин – до 100 Гкал/га.



Рис. 3.1. Арундо тростинний (*Arundo donax* L.)

Міскантус гігантський (*M. × giganteus*) – це тераплоїдний гібрид міскантусу китайського (*M. sinensis* Anderss.) і міскантусу цукровіткового (*M. sacchariflorus* (Maxim.) Benth). Багаторічна трав'яниста рослина з C_4 -схемою фотосинтезу.

Рослини досягають висоти 220–310 (може до 450–500) см. Число пагонів в кущі становить 10–15 (до 70). Стебло пряме, округле. Діаметр стебла – 12–25 мм. Число листків на стеблі – 11–15 штук, ширина їх – 2,2–2,9 см, довжина – 93–102 см. Волоть має веретеноподібну, конусоподібну або еліпсоподібну форму і досягає в довжину 30–33 см. Рослини мають рихлокущовий тип кущіння. Число кореневищ (ризом) у одній рослині становить від 18 до 37 шт, довжина їх – 10–15 см.

Відростання пагонів навесні розпочинається з другої половини квітня, кущіння – кінець червня, вихід у трубку – кінець серпня. Вегетація завершується в фазі появи волоті (найчастіше в фазі виходу в трубку) у першій половині жовтня. Життєвий цикл рослин триває 15–20 років.

Урожайність зеленої фітомаси становить від 60 до 150 т/га, сухої маси – 10–15 (до 32) т/га. Енергетична продуктивність рослин становить 67–84 (до 130) Гкал/га [1].



Рис. 3.2. Міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*)

Просо прутоподібне (*Panicum virgatum* L.) – багаторічна трав'яниста

рослина (до 10–15 років на одному місці).

Рослини досягають висоти від 100–150 до 210–250 см. Число продуктивних пагонів на рослині становить від 12–14 до 30–35 штук. Рослини залежно від форми бувають прямі і напіврозлогі. Число метамерів на стеблі становить від 3 до 7, а у окремих форм – до 9. Діаметр у основі стебла в середньому становить 4–6 мм, але зустрічаються форми з тонкими і товстими стеблами. Листкова пластинка досягає довжини 50–60 см, у деяких форм може бути значно довшою; ширина – в середньому 11–14 мм. За формою волоть буває розлогою, комоподібною, овальною, пірамідальною, стислою. Довжина волоті становить 30–40 см, ширина – 20–30 см. За масою 1000 шт. зернівки поділяють на три групи: з малою масою – до 1,5 г, із середньою масою – 1,5–1,8 і з великою масою – понад 1,8 г. Багаторічні кореневища при вегетативному розмноженні можна розділити на 8–25 (до 80) частин залежно від року життя і форми рослин. Кожна посадкова одиниця має довжину 5–7 см.

На відміну від більшості багаторічників, просо багаторічне проходить повний цикл розвитку (від насіння до насіння) протягом першого вегетаційного періоду. Завершує інтенсивну вегетацію в III декаді серпня – кінці жовтня залежно від генотипу. Після перезимівлі, рано навесні (II декада квітня) починається інтенсивне відростання рослин. Фаза виходу в трубку настає з другої декади липня. Цвітіння проходить з третьої декади липня до першої декади серпня. Достигання – кінець вересня – середина жовтня. Вегетаційний період – 175–185 діб.

Урожайність надземної фітомаси рослин в період появи волоті становить 42–64 т/га, в період цвітіння – 42,7–70,2 т/га; сухої маси – 10–15 т/га; насіння – 500–600 (іноді до 1000) кг/га. Енергопродуктивність рослин – 40–60 (до 80) Гкал/га.



Рис. 3. Просо прутноподібне (*Panicum virgatum* L.)

Сорго багаторічне (*Sorghum alatum* Parodi.) належить до родини тонконогових. Рослина заввишки 230–300 см. Основне стебло і всі бічні пагони зверху закінчуються волоттю. Листки – довголанцетні, 60–80 см завдовжки, 3–5 см завширшки. Чисельність їх на рослині коливається від 18 до 26 штук. Листки основою охоплюють стебло наполовину. Суцвіття – волоть довжиною 40–45 см. Насіння – видовжене, коричнево-чорне. Маса 1000 штук – 8,5–9,0 грамів. Коренева система добре розвинена і проникає в ґрунт на глибину 2,0–2,5 м. Під час посухи здатна розвивати вторинне коріння. Оптимальні строки сівби – I–II декада травня, коли ґрунт прогрівається на глибину 10 см до 12–14 °С. Польова схожість насіння становить 75–80 %. Оптимальна температура для розвитку – плюс 18–25 °С [5].

Урожайність зеленої маси на початку формування волоті забезпечує 30–35 т/га, в період цвітіння – 45–50 т/га і в період плодоношення – 65–75 т/га, насіння становить 1,5–1,7 т/га. Вихід сухої фітосировини – 11–14 т/га. Енергетична цінність становить 3750–3810 ккал/кг



Рис. 3. 4. Багаторічне сорго (*Sorghum alnum* Parodi.)

Сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench.) – однорічна трав'яниста рослина (яра форма). Рослини досягають висоти до 300 см. Стебло пряме, діаметр біля основи 13–36 мм. Число міжвузлів на стеблі, залежно від висоти, коливається від 5–9 до 25. Листки довголанцетні, великі, довжиною 50–100 см і шириною – 1–6 см, у деяких форм – до 10 см та більше. Суцвіття – волоть довжиною 15–60 см різної форми (розлога, стисла, комова та ін.). Зерно сорго – голе або плівчате, кулястої, подовжено-овальної, яйцевидної форми, білого, жовтого, коричневого, чорного забарвлення. Маса 1000 зернин – 27–33 (до 40) г. Коренева система мичкувата, сильно розвинена, заглиблюється в ґрунт до 150–200 см.

Як однорічник сорго проходить всі етапи органогенезу за один рік. Проходить наступні фазирозвитку: сходи, кушіння, вихід у трубку, викидання волоті, цвітіння, молочно-воскова стиглість і досягання. Цвітіння проходить в липні-серпні, досягання – з другої половини серпня до кінця вересня. Вегетаційний період – 145–155 діб.

Урожайність фітосировини – 60–120 т/га, насіння – 900–1800 кг/га. Енергопродуктивність рослин – 35–70 (до 100) Гкал/га.



Рис. 3.5 Сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench.)

На основі багаторічних досліджень визначено, що потенціал урожайності енергетичних культур, поряд з їхніми видовими особливостями, реакцією на ґрунтово-кліматичні умови, залежить від агрохімічних властивостей ґрунту, способів його обробітку, застосовування добрив, біопрепаратів, строків та способів сівби / висаджування, догляду за рослинами, специфіки збирання врожаю, та інших факторів.

Характеристика енергетичних культур за потенціалом урожайності та періодом надходження фітосировини залежно від температурного режиму і кількості опадів за агрокліматичними зонами наведена нижче (табл., рис.3.6).

Узагальнення результатів досліджень дозволило провести порівняння за періодом надходження біомаси енергетичних культур (рис. 3.6).

Порівняльна характеристика енергетичних культур за періодом надходження біомаси дає можливість стверджувати, що за правильного підходу в менеджменті посівів, урожайність сухої маси (сировини для біопалива: твердого, рідкого та газоподібного) – від 10 до 15 т/га, можливо стабільно отримувати протягом тривалого часу – із серпня – вересня попереднього року по лютий – березнь наступного року.

Відповідно до агрокліматичного районування в Україні є зональні особливості підбору асортименту та технології вирощування сільськогосподарських і енергетичних культур. У зв'язку з чим зроблено

спробу розподілу місць вирощування злакових енергетичних культур на території України з урахуванням біологічних особливостей рослин (див. табл. 3.1).

Таблиця 3. 1

Порівняльна характеристика енергетичних культур за урожайністю зеленої маси та виходом сухої речовини залежно від умов вирощування

Енергетична культура	Температура, °C	Кількість опадів, мм	Агрокліматична зона	Урожайність зеленої маси, т/га	Вихід сухої речовини, т/га
Арундо тростинний	20-30	>500	П*	50-150	-
Міскантус гігантський	20-30	>500	П, Л	60-150	10-15
Просо прутноподібне	20-30	400-500	П, Л, С	43-70	10-15
Сорго багаторічне	20-30	400-500	Л, С	65-75	11-14
Сорго цукрове	>30	<400	Л, С	60-120	-

* Примітка: П – Полісся, Л – Лісостеп, С – Степ.

Культура	2020 рік				2021 рік				2022 рік				2023 рік			
	В*	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З
Арундо тростинний																
Міскантус гігантський																
Просо прутноподібне																
Сорго багаторічне																
Сорго цукрове																
Позначення:																
		– сімба / висаджування								– догляд за рослинами						
		– збирання врожаю														

Рис. 3. 6 Логістичний ланцюг вирощування, догляду за рослинами, збирання врожаю злакових енергетичних культур, 2020–2023 рр.

* Примітка: в – весняний період, л – літній період, о – осінній період, з – зимовий період.

З урахуванням морфолого-біологічних особливостей, відношенням рослин до температурного режиму та кількості опадів за вегетаційний період енергетичні культури родини тонконогових в Україні доцільно розміщувати наступним чином: арундо тростинний, міскантус гігантський та просо

прутоподібне – зона Полісся, міскантус гігантський, просо пруттоподібне, сорго багаторічне та сорго цукрове – Лісостеп, просо пруттоподібне, сорго багаторічне та сорго цукрове – Степ України. Поряд із цим, за дотримання відповідних умов зрошення у степовій зоні можна вирощувати також різні культури роду міскантус.

3.2 Біомаса як об'єкт альтернативної сировини та методи перетворення її в паливо

Методи одержання енергії з біомаси

Практично всі види "сирої" біомаси досить швидко розкладаються, тому лише деякі придатні для довготривалого зберігання. Через відносно низьку енергетичну щільність транспортування біомаси на великі відстані є недоцільним. Тому в останні роки значні зусилля були зроблені для пошуків оптимальних методів її використання [25].

Методи одержання енергії з біомаси засновані на наступних процесах:

- Пряме спалювання біомаси.
- Термохімічне перетворення для одержання збагаченого палива.

Процеси цієї категорії включають піроліз, газифікацію і зрідження.

- Біологічне перетворення. Такі природні процеси, як анаеробне зброджування і ферментація призводять до утворення корисного газоподібного або рідкого палива.

У деяких з перерахованих процесів побічним продуктом є тепло. Воно зазвичай використовується на місці утворення або на невеликому видаленні для теплопостачання, в хімічних процесах або для виробництва пари і подальшого одержання електроенергії. Основним продуктом процесів є тверде, рідке або газоподібне паливо: деревне вугілля, замітники або добавки до бензину, газ для продажу або виробництва електроенергії з використанням парових або газових турбін[7].

Термохімічні процеси переробки біомаси

У даному розділі розглядаються деякі основні принципи термохімії в процесах переробки біомаси, включаючи такі процеси, як спалювання, газифікація, піроліз і зрідження. Всі ці процеси протікають при високій температурі, а іноді і при високому тиску. На рис. 2.3. схематично представлені термохімічні методи переробки лігноцелюлозної біомаси, склад якої можна виразити загальною формулою $(\text{CH}_2\text{OH})_n$. Як це видно при перетворенні целюлози в метан або метанол, відношення Н/С подвоюється і залишається майже постійним, якщо біомаса зріджується над каталізатором. Збільшення відношення Н/С можна досягти шляхом введення в процес піролізу водню (у складі водяної пари) або видалення вуглецю у вигляді вуглистої речовини. Каталізатори у вигляді лужних металів при зрідженні біомаси стимулюють видалення з неї кисню з моно оксидом вуглецю. Багато видів біомаси містять невеликий відсоток сірки, азоту і зольних сполук, які в різних кількостях містяться також в рідких і твердих продуктах, одержуваних у результаті піролізу та зрідження [10].

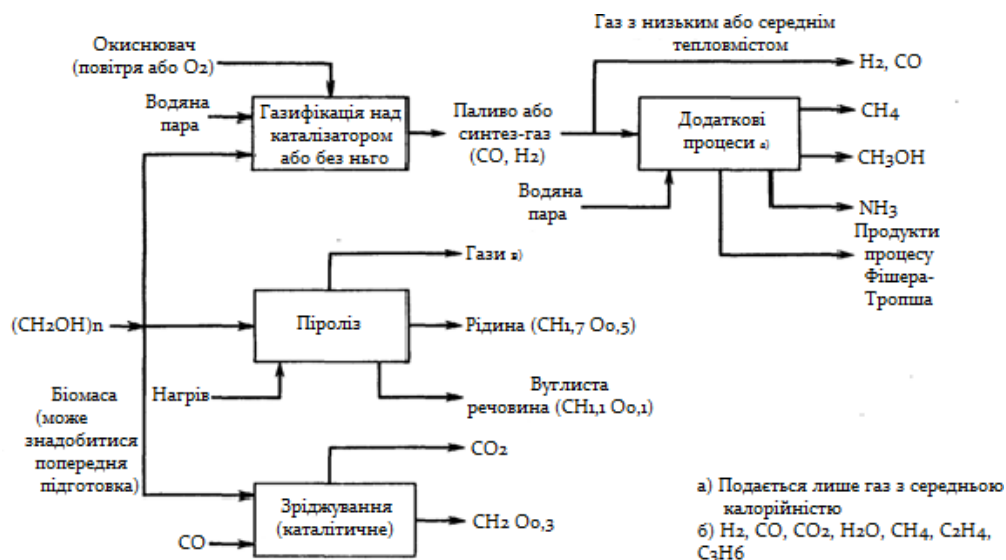


Рис. 3.7 Загальна схема термохімічного перетворення біомаси

Газифікація

Базові принципи газифікації вивчаються і розвиваються з початку дев'ятнадцятого століття. Під час Другої світової війни близько мільйона автомобілів приводилися в рух за допомогою газифікаторів на біомасі.

Інтерес до газифікації знову зріс під час енергетичної кризи 70-х років, а потім впав разом з зниженням цін на нафту в 80-х роках. За оцінками Світового Банку (1989) всього лише 1000-3000 газифікаторів встановлено у світі, переважно в Південній Америці для виробництва деревного вугілля.

У процесі газифікації деревини утворюється горючий газ, що є сумішшю водню, чадного газу (монооксиду вуглецю), метану та деяких негорючих супутніх компонентів. Це досягається частковим спалюванням і частковим нагрівом біомаси (з використанням тепла обмеженого горіння) у присутності деревного вугілля (природного продукту спалювання біомаси). Газ може використовуватися замість бензину. При цьому потужність автомобільного двигуна знижується на 40%. Можливо, що в майбутньому цей вид палива стане основним джерелом енергії для електростанцій [8].

Методи газифікації

Залежно від характеру контакту частинок біомаси з газовою фазою методи газифікації можуть бути класифіковані на систему з нерухомим шаром (одна або декілька ступенів), систему з псевдозрідженим шаром та інші системи (наприклад, система з проталкуванням сировини або з рідким теплоносієм). Типи газифікаторів, розроблені міністерством енергії. При вмісті золи 1-2% і вологості більше 70%, наприклад в деревині без попередньої обробки, термічна переробка деревини без введення додаткового палива практично нездійсненна. Крім того, не рекомендується проводити термічну переробку водоростей з вмістом 82% води або торфу з вмістом 90% води без їх попередньої підготовки. Зниження вологості до прийнятних меж може бути досягнуто механічним зневодненням або сушінням в польових умовах. Згідно з експериментальними даними, витрата тепла при термічній переробці звичайного пального сировини знаходиться в межах, близьких до 21000 кДж/кг. В системі газифікації з нерухомим шаром (рис.3.1) при протиточному або прямоточному русі газу або твердих матеріалів в газифікаторі утворюються різні температурні зони, що сприяють перетворенню зв'язаного вуглецю в газ. У протиточних системах газифікації

спадний шар проходить через зони сушки / видалення летких компонентів при високій (низькій) температурі; зону розкладання пором та реакцією, що знижують вміст вуглецю; зону високотемпературного окиснення вуглецю, в якій утворюються горючі гази, і зону збору і вивантаження золи (зола може бути гранульованою або шлакоподібною залежно від застосовуваної технології). Система з нерухомим шаром чутлива до розміру часток сировини, що підводиться, оскільки наявність великих часток може призвести до утворення непроникного шару. Крім газоподібних вуглеводнів важче метану в газифікаторах з нерухомим шаром можна одержувати смоли і рідкі продукти. Вибір найбільш відповідного методу газифікації частовизначається типом і умовами підведення сировини, вимогами до вмісту вологи і зольних елементів (наприклад, високий або низький вміст лужних металів) [37].

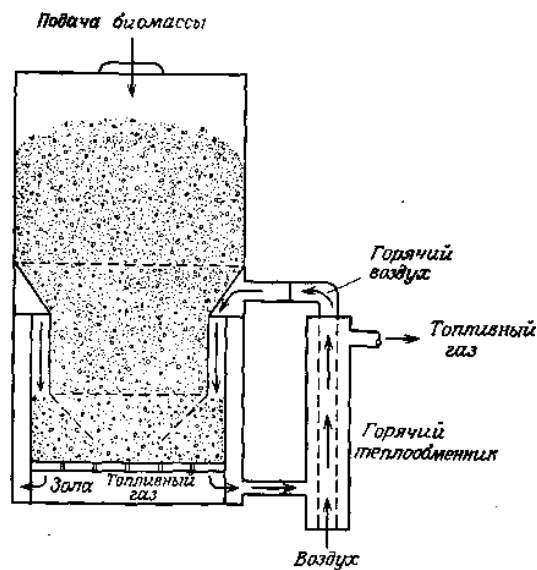


Рис. 3.8 Система газифікації з нерухомим шаром.

Системи з псевдо зрідженим шаром допускають використання твердої сировини з розмірами частинок, що змінюються в широкому діапазоні, що забезпечує досить однорідний розподіл температури завдяки гарному перемішуванню рідких і твердих матеріалів. Зола і не перетворений вуглець виводяться з утвореним потоком газів. В одноступінчатих газифікаторах першого покоління втрати вуглеводню залежать від температури в нижній

частині газифікатора, яка обмежується експлуатаційними вимогами і повинна бути нижче температури розм'якшення золи, щоб звести до мінімуму можливість утворення клінкеру. У багатоступеневих газифікаторах втрати вуглецю можуть бути знижені в результаті правильного ведення процесу в оптимальному температурному інтервалі з агломерацією золи. У промисловості для газифікації вугілля застосовуються системи поштовхуваного типу (процес Koppers-Totzek). Загальною вимогою для таких систем з малим часом контакту частинок біомаси з газовою фазою є збільшення швидкості реакції подрібненого вугілля. Однак у випадку переробки біомаси подрібнення може виявитися непрактичним або небажаним, оскільки біомаса містить багато вологи, а багато видів її володіють м'якою і волокнистою структурою [9].

Методи оцінки одержання продуктів газифікації біомаси

При належній організації процесу контактування і застосуванні багатоступеневих систем (або інших пристроїв в газифікаторі специфічного типу) одні реакції можуть протікати більш інтенсивно, ніж інші. Нижче наводиться один із можливих методів оцінки одержання продуктів газифікації біомаси в одноступінчатих реакторах, що включає наступні етапи:

- визначення основи для розрахунку (наприклад, 1000 кг);
- вибір біомаси;
- вираження сировини для газифікації в молях з урахуванням вологи і золи сировини;
- вибір типу газифікатора і умов газифікації (температура, тиск) на підставі таких показників, як вологість сировини, розміри частинок і т. п., з урахуванням кінцевої характеристики одержуваного газу залежно від його призначення (наприклад, паливний газ низького тиску, синтез - газ високого тиску тощо);
- визначення деяких привходячих умов.

Рідкі продукти. У газифікаторах деякого типу (наприклад, в газифікаторах з нерухомим шаром) виходять рідкі вуглеводні, пари яких

конденсуються при охолодженні продуктів газифікації до 50-100 ° С перед очищенням газу. У газифікаторах іншого типу (наприклад, прошовхуючі газифікатори, газифікатори з високими температурами: 1000-1300 °С) утворюються в основному не сконденсовані вуглеводні, оскільки потенційні рідкі продукти в такому температурному інтервалі піддаються крекінгу і перетворюються на газ. При виборі біомаси кількість і склад рідких продуктів краще всього визначати експериментально. Вуглець і водень, що містяться в конденсованих продуктах, не можуть бути використані для виробництва водню і СО без рециркуляції через газифікатор. Продукти, що конденсуються роблять також вплив на тепловий баланс газифікатора, оскільки вони виходять з нього у вигляді пари [10].

Великий вихід метану та інших вуглеводневих газів спостерігається при високих тисках і низьких температурах газифікації. При розрахунку виходу метану необхідно враховувати тип сировини і газифікатора. Очевидно, що в газифікаторах з високими температурами або з нерухомим шаром вихід метану з будь-якої сировини буде

незначним. Значні виходи метану спостерігаються у вугільних газифікаторах з нерухомим шаром зворотним потоком газів і парів. При низькотемпературній верхній зоні видалення летких речовин 5-10% поданого вуглецю може бути перетворено в метан, що досягається при переробці біомаси газифікаторів з нерухомим шаром і зворотним потоком. Вихід метану з газифікатора при переробці біомаси пропорційний частці утворення летких речовин.

РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

З переходом до засад ринкової економіки для України питання використання біопалива набувають особливого значення у зв'язку з тим, що Україна є енергодефіцитною країною, яка свої потреби в первинних енергоресурсах задовольняє за рахунок їх власного виробництва лише на 45%; в паливно-енергетичному балансі України домінує природний газ, його частка становить 41%, що значно перевищує відповідні показники таких країн, як США та Велика Британія. Скорочення споживання природного газу, розвиток енергозбереження та вирішення нагальних екологічних проблем – найбільш актуальні задачі. Енергетична безпека країни суттєво залежить від ступеню диверсифікованості енергоносіїв, що використовуються для задоволення її енергетичних потреб, тому нагальною є необхідність пошуку і впровадження альтернативних та відновлюваних джерел енергії і енергозберігаючих технологій. Серед всіх відновлюваних джерел енергії, біомаса є найбільш перспективною для заміщення природного газу та інших викопних палив в Україні. Біомаса – це вуглецевомісткі органічні речовини рослинного та тваринного походження (деревина, солома, рослинні залишки сільськогосподарського виробництва, гній, органічна частина твердих побутових відходів та іноді торф). Для виробництва енергії переважно застосовують тверду біомасу, а також отримані з неї рідкі та газоподібні палива – біогаз, біодизель, біоетанол. Сьогодні у паливно-енергетичному балансі України біоенергетика становить лише 0,8% споживання енергоресурсів. Для прикладу, в ЄС частка відновлювальних джерел становить 7%. Загальний світовий обсяг інвестицій на вироблення біопалива становить 15,9 млрд. дол. Для розвитку біоенергетики потрібно буде вирішити наступні питання: по-перше, прийняти політичне рішення про перехід і підтримку біопалива, по-друге, врегулювати нормативно-правову та

нормативно-технічну базу, по-третє, створити економічні умови для підтримки біопалива. Окрім енергетичних проблем, застосування біомаси та біопалив може допомогти також у вирішенні ряду важливих екологічних проблем. По-перше, це стан повітря, забрудненого шкідливими речовинами вихлопних та димових газів. По-друге, це великі обсяги викидів в атмосферу парникових газів – діоксиду вуглецю, метану та інших. Біомаса є відновлюваним, екологічно чистим паливом за умови екологічно раціонального виробництва та використання.

Проте проблемі ефективного використання біоенергетичного потенціалу сільськогосподарських підприємств приділяється недостатньо уваги, в той час як виробництво біопалива, вирішення техніко-технологічних, екологічних, організаційно-економічних, законодавчих аспектів знаходиться в центрі уваги багатьох вчених та фахівців різних організацій. У зв'язку з цим необхідними є розробки показників для оцінки альтернативності використання біоенергетичного потенціалу у взаємозв'язку із продовольчою безпекою, енергозабезпеченням, збереженням екологічної рівноваги.

Якщо врахувати, що така кількість рослинної маси еквівалентна 5 і 8 млн. т умовного палива, відповідно, значення такого виду біопалива важко переоцінити. Так, енергія, що може бути отримана при використанні такої кількості палива, перевищує потужності усіх опалювальних котелень, що експлуатуються у сільській місцевості. Використання соломи в таких обсягах дозволило б зекономити від 4,5 до 14 млрд м³ природного газу. Основними складовими потенціалу біомаси є сільськогосподарські відходи та енергетичні культури. Серед сільськогосподарських відходів найбільший економічний потенціал мають відходи виробництва соняшника (стебла, кошики, лушпиння), потім йдуть відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, листя, стрижні початків).

Доцільність переходу на інші види палива можна визначити простим розрахунком на основі порівняння вартості паливної складової 1 Гкал теплоти.

Таблиця 4.1

**Економічна ефективність вирощування високопродуктивних
біоенергетичних культур**

№	Статті витрат (грн)	Міскантус	
		за 2 роки вегетації	за 2 роки вегетації
1	Оплата праці з нарахуванням	1209,92	274
2	Паливо-мастильні матеріали	3077,20€	412
3	Амортизаційні відрахування	783,95	275-
4	Поточний ремонт	548,78	383
5	Насіння, черенки, ризоми	15000	-
6	Мінеральні добрива	3375,37	663,5
7	Засоби захисту рослин	1179,00	-
9	Інші витрати	579,00	182
10	Плата за оренду землі	1888,50	629,5
11	Всього виробничих витрат	27691,72	2188,5
12	Витрати на транспортування	1385	109
14	Повна собівартість	29077	2298
15	Ринкова ціна 1 т/грн. сировини	950	950
16	Валові надходження	30400	19000
17	Прибуток		
18	Рівень рентабельності %	4,5%	726,8%
19	Урожайність т/га	25,3	25
	Собівартість 1т/ грн.	1149,3	114,9

Міскантус – відноситься до родини злакових (Gramineae), багаторічна трав'яниста культура з добре розвиненою кореневою системою, яка досягає більше 2,5 м глибини. Така коренева система сприяє дуже хорошему використанню елементів живлення та вологи з нижніх горизонтів ґрунту.

Стебла є міцними і відрізняються великою витривалістю до механічних пошкоджень, оскільки містять значну кількість лігніну і целюлози. Рослини досить добре перезимовують, стійкі до опадів і вітру. Вимогливість міскантусу щодо води набагато вища, ніж доступні середньорічні опади — біля 600 – 700 мм на рік. Але, незважаючи на це, споживання води на продукування 1 кг сухої маси досить не- високе. Ґрунти під насадження міскантусу повинні бути нейтральні (рН = 6,5).

Показники економічної ефективності виробництва енергетичних культур оцінювали за фактичними витратами за відповідними нормативами.

Ціни на матеріали, сировину, продукцію тощо приймали станом на листопад 2023 року.

Аналіз структури витрат коштів на 1 га посіву традиційних для України енергетичних культур, зокрема, міскантусу, (табл. 1) свідчить, про те, що їх найбільшою складовою частиною є мінеральні добрива, засоби захисту та насіння, які в усіх випадках дорівнюють 50 % від загальних витрат.

Другою за величиною статтею витрат є паливо-мастильні матеріали. Що стосується показників економічної ефективності виробництва біоенергетичних культур, то міскантус на 3-й рік вегетації і кожен наступний — 19000 грн. грошових надходжень, 16700 грн. прибутку, при рівні рентабельності 726

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. За відношенням до ґрунтово-кліматичних умов України енергетичні культури досить різняться. Це пов'язано з їхнім походженням, біологічними особливостями, пристосувальними реакціями при інтродукції рослин та агротехнічними вимогами вирощування.

2. На Поліссі ґрунтово-кліматичні умови найбільш відповідають біологічним особливостям і сприятливі для вирощування арундо тростинного та міскантусу гігантського. Умови Лісостепу та Степу більш прийнятні для проса прутоподібного, сорго багаторічного та сорго цукрового.

3. З-поміж злакових енергетичних культур найбільший потенціал за врожайністю сухої маси мають арундо тростинний, міскантус гігантський. Дещо меншу продуктивність мають сорго багаторічне та просо прутоподібне за багаторічного циклу вирощування в ґрунтово-кліматичних умовах, що відповідають їх біологічним особливостям.

Енергетичний сектор України залежить від імпорту викопних видів палива (природного газу, нафти, кам'яного вугілля), що становить значний ризик для енергетичної безпеки країни. Суттєвого зниження цих витрат можливо досягти за рахунок розвитку відновлюваних джерел енергії, у тому числі використання біоенергетичних культур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атлас енергетичного потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. К., 2016. 54 с.
2. Базилюк А.В., Коваленко С.О. Тіньова економіка в Україні. – К.: НДЕІ Мінекономіки України, 1998. – 206 с.
3. Гелетуха Г. Г. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Київ, 2014. 33 с.
4. Гелетуха Г.Г. Аналіз розвитку секторів біоенергетики в Європейському. Промислова теплотехніка. 2011. № 2. С. 71–77.
5. Гументик, М. Я. Вирощування та використання органічної сировини для виробництва енергії. Збірник наукових праць ІБКіЦБ НААН. Випуск 14. «Новітні технології вирощування сільськогосподарських культур». Київ, 2012. С. 446-448.
6. Гументик, М. Я. Оптимізація елементів технології вирощування міскантусу в умовах західного Лісостепу України. Зб. наук. праць Вінницького національного аграрного університету. Вип. 1(57), Серія: Сільськогосподарські науки. Вінниця, 2012. С. 168–173
7. Долінський А.А.. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики. Вісник НАН України. 2006. №2. С.24-32.
8. Дубровін В. О., Голуб Г. А., Драгнєв С. В. Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси. К.: ТОВ «Віолпринт», 2013. 25 с.
9. Дубровін, В. О. Біопалива (технологія, машини і обладнання). К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація».– 2004. – 256 с.
10. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Інформаційно-аналітичний бюлетень «Відомості Міністерства палива та

енергетики України». Спеціальний випуск. 2006. 113 с.

11. Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. К.: Дія, 2005. 288 с.

12. Закон України про внесення змін до Закону України «Про альтернативні джерела енергії» щодо віднесення теплових насосів до обладнання, яке використовує відновлювані джерела енергії / Відомості Верховної Ради, 2017, № 1, ст.1.

13. Калетнік Г. М. Розвиток ринку біопалив в Україні : моногр. К.: Аграрна наука, 2008. 464 с.

14. Ковалко М.П., Денисюк С.П.; Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. К. : УЕЗ,2008 . 506с.

15. Кулик М. І. Довідник: ботаніко-біологічна характеристика, особливості вирощування та використання енергетичних культур. Частина перша: світлчграс. Полтава, 2014. 130 с.

16. Кулик М. І. Енергетичні культури: альбом. Полтава, 2017. 38 с.

17. Курило В. Л. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку. Біоенергетика. 2013. Вип. № 1. С. 5–10.

18. Курило В. Л. Міскантус – перспективна енергетична культура для виробництва біопалива. Агробіологія : зб.наук.праць Білоцерківського НАУ, 2010. № 4 (80). С. 62–66.

19. Курило В. Л., Кулик М. І. Енергетичні культури для виробництва біопалива : довідник. Полтава, 2017. 74 с.

20. Методи визначення якості. ДСТУ 4138– 2002. Насіння сільськогосподарських культур [введ. з 01.01.2004 р.]. К.: Держспоживстандарт України, 2003. –173 с.

21. Мороз О. В. Світчграсс як нова фітоенергетична культура. Цукрові буряки. 2011. №3. С. 12–14.
22. Морозов Р. В. Оцінка біоенергетичного потенціалу рослинних відходів та енергетичних культур у сільському господарстві. Науковий вісник Херсонського державного університету, 2015. Випуск 10. Частина 3. С. 111–117.
23. Постанова НКРЕ «Про затвердження Порядку встановлення, перегляду та припинення дії «зеленого» тарифу для суб'єктів господарської діяльності», від 02.11.2012. № 1421.
24. Рахметов Д. Б. *Panicum virgatum* L. – перспективний інтродуцент у Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НААН України. Інтродукція рослин. – Вип. 3(63), 2014. С. 4– 12.
25. Рахметов Д. Б. Міскантус в Україні: інт- родукція, біологія, біоенергетика. Київ : Фітосоціоцентр, 2015. 158 с.
26. Рахметов Д. Б. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні. К.: Аграр Медіа Груп, 2011. 398 с.
27. Роїк М. В. Ефективність вирощування високопродуктивних енергетичних культур. Вісник Львівського національного аграрного університету. 2011. №15(2). С.85–90.
28. Роїк, М. В. Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва твердого біопалива. Біоенергетика. № 2. 2013. С. 18-19.
29. Сінченко, В. М. Інвестиційна привабливість проєктів з вирощування біомаси. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2017. № 10. С. 24–34.
30. Фучило, Я. Д. Плантаційне лісовирощування: теорія, практика,

перспективи. К.: «Логос», 2011. 464 с.

31. Keoleian, G. A., Volk, T. A. (2005) Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24:385–406. DOI: 10.1080/07352680500316334

32. Lewandowski, I., Schmidt, U. (2006) Nitrogen, energy and land use efficiencies of miscanthus, reed canary grass and triticale as determined by the boundary line approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (112): 335–346. doi:10.1016/j.agee.2005.08.003

33. Kulyk M. Methods of calculation productivity phytomass switchgrass in Ukraine. Poltava, 2012. 10 p.

34. Rossa B, Twaers A. V., Naidoo G, von Willert D. J. (1998). *Arundo donax* L. (Poaceae) – a C₃ species with unusually high photosynthetic capacity. *Botanica Acta*. 111 : 216–21.

35. Saltonstall K., Lambert A., Meyerson L.A. (2010). Genetics and reproduction of common (*Phragmites australis*) and giant reed (*Arundo donax*). *Invasive Plant Sci. Manag.* 3 : 495–505.

36. Spencer D. F., Ksander G. G. (2006). Estimate *Arundo donax* ramet recruitment using degree-day based equation. *Aquat. Bot.* 85 : 282–288.

37. Switchgrass Ukraine : overview of switchgrass research and guidelines / Elbersen, H.W.; Kulyk, M.; Poppens, at all. Wageningen : Wageningen UR – Food & Biobased Research. – 26 p.

ДОДАТКИ