

УДК 620.92

ПОТОЧНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОЩУВАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ РОСЛИН В УКРАЇНІТрибой О.В.¹, Железна Т.А.², канд. техн. наук, Драгнєв С.В.³, канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна

¹молодший науковий співробітник, tryboi@secbiomass.com, <https://orcid.org/0000-0002-8824-5074>²провідний науковий співробітник, zhelyezna@secbiomass.com, <https://orcid.org/0000-0002-9607-3022>³старший науковий співробітник, dragnev@secbiomass.com, <https://orcid.org/0000-0003-3754-4186><https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2024.8>

Розглянуто потенціал вирощування енергетичних рослин в Європі. Показано місце енергетичних рослин в поточному і перспективному потенціалі біомаси в Україні. Проаналізовано поточний стан розвитку даного сектору біоенергетики в ЄС і в Україні. Представлено техніко-економічні показники проєктів з вирощування енергетичних рослин для умов України. Запропоновано напрямки підвищення економічної привабливості відповідних проєктів.

The potential of growing energy crops in Europe is considered. The place of energy crops in Ukraine's current and prospective biomass potential is shown. The current state of development of this bioenergy sector in the EU and Ukraine is analyzed. Technical and economic indicators of projects on cultivating energy crops for Ukraine's conditions are presented. Directions to improve the economic attractiveness of respective projects are proposed.

Бібл. 13, табл. 5, рис. 3.

Ключові слова: біомаса, потенціал біомаси, біопаливо, енергетичні рослини, енергетична верба, міскантус.

АДЕ – альтернативні джерела енергії;

БАУ – Біоенергетична асоціація України;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;

ТОВ – товариство з обмеженою відповідальністю;

н.е. – нафтовий еквівалент;

р.м. – робоча маса;

с.р. – суха речовина;

LHV – нижча теплота згорання;

W – вологість.

Актуальність роботи обумовлена нагальною необхідністю переходу зі споживання викопних палив на відновлювані джерела енергії, зокрема біомасу, для забезпечення диверсифікації джерел енергопостачання та сталого розвитку. Додатково такий «зелений» перехід сприяє скороченню викидів парникових газів, що, в свою чергу, уповільнює процес глобального потепління. Стале вирощування енергетичних рослин дає можливість щорічно отримувати великі обсяги біомаси для потреб енергетики без створення конкуренції виробництву харчових продуктів і кормів, а також дозволяє відновлювати родючість малопродуктивних та деградованих земель.

Метою роботи є аналіз поточного стану розвитку даного сектору біоенергетики в Україні, а також розробка рекомендацій для створення сприятливих умов для реалізації проєктів із вирощування енергетичних рослин. **Методи дослідження** включають проведення розрахунків, вивчення та аналіз літературних, статистичних та інших даних.

Загальна характеристика енергетичних рослин

Енергетичні рослини – це культури, які вирощуються з метою отримання біомаси як паливної сировини для подальшого виробництва енергії або біопалив. Їх перевагою є можливість вирощування на маргінальних або низькоякісних землях, тобто таких, що непридатні для культивування звичайних сільськогосподарських культур. Деякі енергорослини є посухостійкими (наприклад, просо прутноподібне, сорго багаторічне), інші – морозостійкими (міскантус, сильфій пронизанолистий). Одним з ключових моментів планування створення плантації є підбір культури до конкретних умов ділянки. Перевагу слід віддавати посадковому матеріалу, який пройшов випробування за місцевих умов та вдало зарекомендував себе на ринку. Іноді енергетичні рослини висаджують для фіторе mediaції забруднених земель через їх здатність накопичувати та нейтралізовувати шкідливі речовини. Наприклад, міскантус гігантський, верба прутковидна, тополя можуть поглинати важкі ме-

тали; верба, гірчиця сарапетська, очеретянка звичайна – радіонукліди; рогіз, кукурудза – пестициди.

Енергетичні рослини можна класифікувати по виду (деревні, трав'яні), циклу вирощування (однорічні, багаторічні) і типу (олійні, цукристі, крохмалевмісні, лігноцелюлозні). Прикладами деревних культур є верба, тополя, павловнія (багаторічні рослини), прикладами трав'яних – міскантус, просо прутіподібне, арундо тростинний (однорічні рослини). З олійних енергорослин (ріпак, ріжій) можна виробляти біодизель, з цукристих і крохмалевмісних (сорго цукрове, кукурудза) – біоетанол, з лігноцелюлозних (верба, тополя) – передові рідкі біопалива або навіть біометан (шляхом термохімічної газифікації біомаси).

Оптимальними для створення плантацій є ґрунти з кислотністю 5...7,5 або необхідний посадковий матеріал, толерантний до рівня рН поза цими межами. Врожай однорічних енергетичних рослин збирають кожного року, багаторічних – зазвичай один раз на 2...3 роки. Життєвий цикл плантації може тривати від 10 до 50 років в залежності від виду рослини. Річна врожайність біомаси коливається від 4...10 т с.р./га (павловнія, тополя) до 25...50 т с.р./га (арундо тростинний) (табл. 1).

Деревні та трав'яні енергетичні рослини мають хороші паливні характеристики, що є близькими до показників лісової деревини. За вмістом хлору (~0,03%) і температурою плавлення золи (~1300 °С) ці показники значно кращі, ніж у соломі (в середньому 0,5% і 950 °С, відповідно) (табл. 2). Біомаса деревних/трав'яних енергорослин заготовлюється у вигляді трісок, після чого може безпосередньо використовуватися як паливо або як сировина для виробництва гранул та брикетів. Уцільнену біомасу можна ефективно

транспортувати на довгі відстані через її високу питому енергемісткість і насипну щільність. Так, наприклад, питомий енерговміст брикетів з міскантусу становить 9...10 ГДж/м³, насипна щільність – 500...600 кг/м³, а для тріски з міскантусу ці показники складають 3,4...3,7 ГДж/м³ і 200...220 кг/м³, відповідно.

Орієнтовну залежність між потужністю котла і площею плантації верби/міскантусу, необхідною для забезпечення котла біопаливом (трісками) наведено на рис. 1. Дані відповідають наступним умовам: тривалість опалювального сезону – 178 днів, ККД котла – 85%, номінальне навантаження – 70%, врожайність верби (W50%) 2...6 зборів (1 і 7 зборів) – 20 (12) т/га/рік (збір один раз на три роки), врожайність міскантусу (W20%) 3...20 зборів (1, 2 зборів) – 20 (5, 12) т/га/рік.

Потенціал вирощування енергетичних рослин в Європі

В ЄС-27 і Об'єднаному Королівстві енергетичні рослини вирощуються на близько 118,5 тис. га, у тому числі тополя – 21,5 тис. га, верба – 24,2 тис. га, міскантус – 29,0 тис. га (дані 2021 р.). Найбільші плантації розташовані в Польщі (17,8 тис. га), Німеччині (15,8 тис. га), Великобританії (13 тис. га), Швеції (11,6 тис. га), Греції (11 тис. га). В Польщі вирощують, в основному, тополя і вербу, в Німеччині – міскантус та інші трав'яні енергорослини, у Великобританії – міскантус, у Швеції – вербу [7].

За даними різних авторів, потенційна площа сільськогосподарських земель, доступних для створення плантацій енергетичних рослин в Європі, оцінюється на сьогодні у 7...42 млн га, а до 2030 р. – у 7...52 млн га. Крім того, потенційна площа пасовищ, доступних для культивування деревних та трав'яних енерге-

Табл. 1. Характеристики вирощування енергетичних рослин [1-3]

Назва	Вимоги до ґрунту, рН	Цикл плантації, років	Періодичність збору врожаю	Врожайність біомаси, т с.р./га/рік	LHV, МДж/кг с.р.
Верба прутівидна	5..7	20...25	1 раз на 2...3 роки	7,2...10,1	16,7...18,4
Павловнія	5..7	45...50	1 раз на 3 роки	3,6...8	16,7
Тополь	6..7	20...25	1 раз на 2...3 роки	4...10	17,7...18,7
Міскантус	5,5...7,5	20...25	щорічно	16,4...28	16,8...20,4
Просо прутіподібне	5,5...7	10...15	щорічно	8,5...15	15,9...17,7
Сорго багаторічне	5...8,5	8...10	щорічно	10...17	16,5
Сильфій пронизанолістий	5,5...7,5	15...20	щорічно	11,6...21,9	14,6...17,9
Арундо тростинний	4,8...7	30...50	щорічно	25...50	16...18

Табл. 2. Елементний склад і паливні характеристики біомаси енергетичних рослин [4-6]

Показники	Міскантус	Верба	Тополя	Солома ²⁾	Тріски з лісової деревини ²⁾	Обрізки плодкових деревини ²⁾
Вологість при збиранні, %	15...23	40...53	50...55	15...20	35...55	35...40
Насипна щільність ¹⁾ , кг/м ³	200...220	220...300	220...300	50...60	240...350	150
Нижча теплота згорання, МДж/кг р.м.	10...14	8...10	8...10	13,5...15	8...12	9...12
Елементний склад, %:						
вуглець С	47,0	50,3	48,0	42...43	50	47...48
водень Н	5,6	6,0	5,9	5,0	6,0	5,0...6,7
кисень О	45,8	42,6	45,3	37...38	43	44...46
хлор Cl	0,04	0,02...0,03	0,03...0,04	0,14...0,97	0,02	0,02...0,05
азот N	0,16...1,37	0,5...1,0	0,77...0,9	0,4...0,6	0,3	0,54...0,85
сірка S	0,28	0,03...0,34	0,03...0,2	0,05...0,2	0,05	0,18...0,20
Зольність, %	2,3...3,7	1,5...2	0,5...1,9	2...4	0,5...1,5	2,0...4,8
Температура плавлення золи, °С	1250...1385	>1500	1160...1500	850...1050	1000...1400	1000...1300

1) Для міскантуса, верби і тополі вказано насипну щільність подрібненої біомаси. 2) Для порівняння.

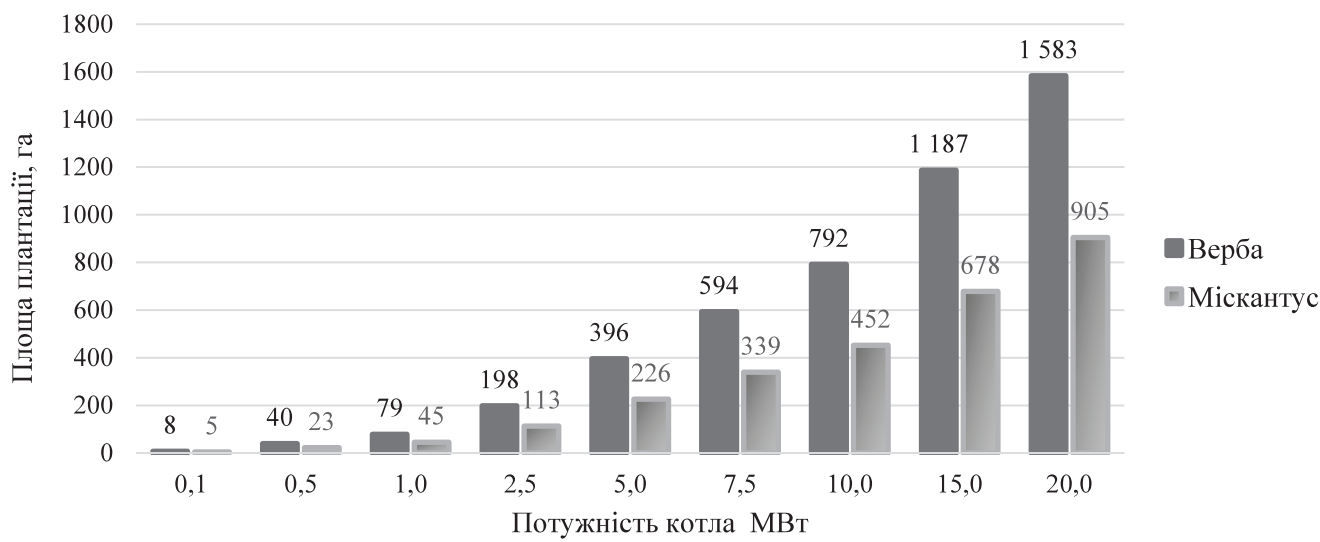


Рис. 1. Залежність між потужністю котла і необхідною площею плантації енергетичних рослин

тичних рослин, складає наразі близько 10 млн га, а до 2030 р. може збільшитися до 15...19 млн га. При оцінці потенціалу площ під плантації розглядаються вільні сільськогосподарські та низькопродуктивні землі. Нижня межа результатів відповідає застосуванню жорсткіших критеріїв сталості. Виходячи з наведених оцінок по площах вільних/низькопродуктивних земель,

поточний технічний потенціал енергетичних рослин в Європі становить 64,5...289 млн т н.е./рік, а потенціал у 2030 році – 79...377 млн т н.е./рік [8].

В Євросоюзі для енергетичних рослин разом з сільськогосподарськими залишками використовується термін агробіомаса. Європейська біоенергетична асоціація (Bioenergy Europe) оцінює потенціал

агробіомаси в ЄС-27 та Об'єднаному Королівстві у 2050 р. в діапазоні 124...444 млн т н.е./рік (рис. 2). При цьому 60...80% цього потенціалу припадає саме на енергорослини, що свідчить про їх вагомий роль у розвитку європейської біоенергетики. Загалом агробіомаса є найбільшою складовою енергетичного потенціалу біомаси Європи у 2050 р. із часткою 60...70% від загального обсягу. Збільшення площ під енергетичними рослинами є частиною стратегій країн ЄС для досягнення нульового балансу викидів парникових газів до 2050 року.

Поточний стан та потенціал вирощування енергетичних рослин в Україні

В Україні, як і в ЄС, потенціал вирощування енергетичних рослин визначається, головним чином, наявною площею вільних сільськогосподарських та малопродуктивних земель, на яких можна закласти відповідні плантації. За оцінками фахівців Інституту технічної теплофізики НАН України, поточний економічний потенціал енергорослин для отримання твердого і газоподібного біопалива в Україні становить 5,44 млн т н.е./рік (дані 2021 р.). До 2050 р. цей потенціал може більш ніж подвоїтися, сягнувши 11,20 млн т н.е./рік (табл. 3). Основні фактори росту включають збільшення удвічі площ під деревними/трав'яними енергетичними рослинами, а також ріст врожайності цих культур і силосу кукурудзи на біогаз. Прогнозується, що у 2050 р. 10% теоретичного потенціалу деревних/

трав'яних енергетичних рослин буде використано для отримання біометану шляхом термохімічної газифікації біомаси. Крім того, передбачається, що у 2050 р. буде вироблятися біодизель з олійних енергорослин, які вирощуються на незадіяних сільськогосподарських або малопродуктивних землях.

У поточному потенціалі біомаси загальна частка енергетичних рослин становить 21%, приблизно порівну між деревними/трав'яними культурами (тверде біопаливо) та силосом кукурудзи (біогаз). До 2050 р. ця частка може зрости до 26% із найбільшим внеском деревних/трав'яних енергорослин (16%), призначених для отримання твердого біопалива (див. табл. 3).

Однією з найбільш точних оцінок потенціалу є використання аналізу супутникових знімків, який дозволяє врахувати землі, які фактично знаходяться у сільськогосподарському обробітку, хоча формально можуть належати до інших категорій земель (наприклад, землі запасу). Така оцінка потенціалу земель, доступних для вирощування енергетичних рослин, була виконана в рамках проєкту Bioplant-EU програми Горизонт 2020. За п'ятирічний період було проаналізовано рослинний покрив земель в Україні та визначено ділянки площею 10 га та більше, що не були задіяні в сільськогосподарському виробництві протягом щонайменше п'яти років, та які не належать до заповідних чи природоохоронних територій. Було ідентифіковано 30570 земельних ділянок загальною площею 820,42 тис. га (рис. 3).

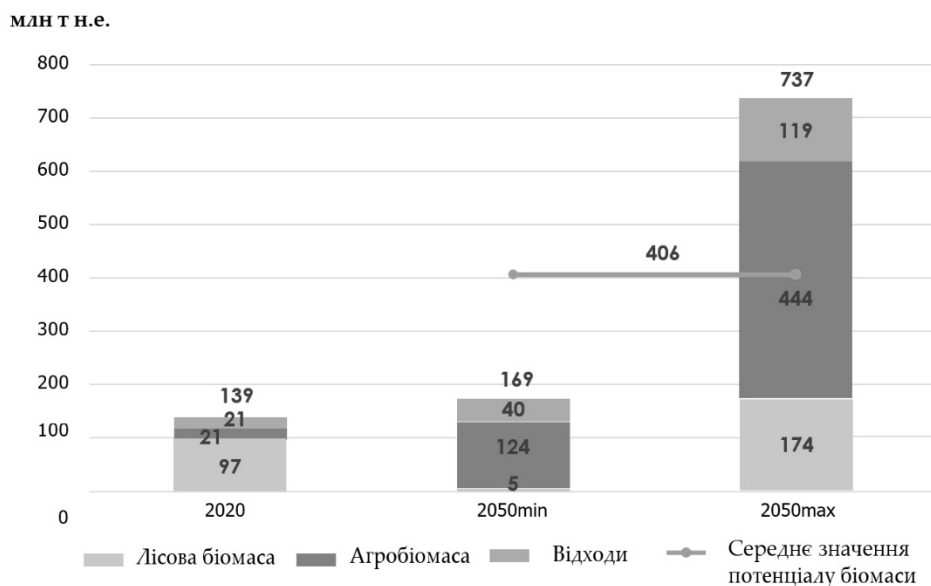


Рис. 2. Споживання біомаси у 2020 р. і потенціал біомаси до 2050 р. в ЄС-27 та Об'єднаному Королівстві [7]

Табл. 3. Оцінка поточного і перспективного потенціалу енергетичних рослин в Україні¹⁾ [9]

Вид біомаси / біопалива	Теоретичний потенціал виробництва	Потенціал, доступний для енергетики (економічний)		
		Частка теоретичного потенціалу, %	млн т н.е./рік	Частка загального потенціалу біомаси, %
ТВЕРДА БІОМАСА:	млн т/рік			
Верба, тополя, міскантус на тверде біопаливо:				
2021 р. (0,5 млн га)	6,00	100	2,58	10
2050 р. (1 млн га) ^{2) 3)}	18,00	90	6,96	16
РІДКІ БІОПАЛИВА:	млн л/рік			
Біодизель з олійних енергетичних рослин:				
2050 р. (0,5 млн га)	360	100	0,29	1
2050 р. (1 млн га)	720	100	0,58	1
БІОГАЗ/БІОМЕТАН:	млрд м ³ CH ₄ /рік			
Біогаз з силосу кукурудзи як енергетичної рослини:				
2021 р. (1 млн га)	3,00	100	2,57	10
2050 р. (1 млн га) ⁴⁾	3,75	100	3,22	8
Біометан, отриманий шляхом термічної газифікації біомаси деревних/трав'яних енергетичних рослин: 2050 р. (1 млн га) ²⁾	5,63	10	0,44	1
ВСЬОГО:				
2021 р. (поточний потенціал)			5,44	21%
2050 р. (перспективний потенціал)			11,20	26%

1) Без урахування тимчасово окупованих територій України станом на 2021 рік.

2) У 2050 р. 10% теоретичного потенціалу деревних/трав'яних енергетичних рослин відведено на отримання біометану шляхом термохімічної газифікації біомаси.

3) Передбачено ріст врожайності у 1,5 разів.

4) Передбачено ріст врожайності у 1,25 разів.

На сьогодні плантації енергетичних рослин в Україні займають лише близько 6 тис. га. При цьому загальні площі, що можуть бути задіяні для цього без негативного впливу на виробництво продуктів харчування і кормів, оцінюються різними експертами у 3...8 млн га [2, 11]. Наразі в Україні вирощують, в основному, вербу і міскантус гігантський. Окрім зазначених культур, Державний реєстр сортів рослин придатних для поширення в Україні, включає також павловнію, просо прутоподібне, міскантус цукрокрітковий та міскантус китайський.

Найбільш активними і відомими компаніями на ринку енергетичних рослин України є «Салікс Енерджі», «УкрАгроЕнерго», «ЕнергоАграр», «Екосолум», «Енер-

гетична верба». Всі зазначені компанії виконують продаж посадкового матеріалу, консультують з вибору енергетичних рослин для умов земельної ділянки, надають послуги з посадки плантації та догляду за нею. Найбільші плантації має ТОВ «Салікс Енерджі» – 1700 га у Волинській та Львівській областях (табл. 4). Окрім плантацій, енергетичний кластер цієї компанії включає три котельні на деревних трісках загальною потужністю 3,4 МВт у населених пунктах Іваничі, Павлівка і Нововолинськ Волинської області. Деревне біопаливо для котелень постачається з власних плантацій верби ТОВ «Салікс Енерджі». Енергетичний кластер компанії успішно функціонує з 2014 року.



Рис. 3. Потенціал малопродуктивних та деградованих земель для вирощування енергетичних рослин в Україні [10]

Табл. 4. Основні компанії на ринку енергетичних рослин України [12]

Назва компанії	Висаджені площі енергетичних рослин компанії, га (області України) ¹⁾	Додаткова інформація про діяльність компанії
ТОВ «Салікс Енерджі»	1700 га верби (Волинська, Львівська)	Надання в оренду посадкової техніки. Наявність власних сортів енергорослин (верба).
ТОВ «УкрАгроЕнерго» (Група компаній «Укртепло»)	82 га (Київська, Житомирська)	Надання в оренду посадкової техніки.
ТОВ «ЕнергоАграр» ²⁾	400 га (Київська), 40 га (Івано-Франківська), 50 га (Житомирська)	Надання в оренду посадкової техніки (власного дизайну та конструкції). Наявність власних сортів енергорослин (міскантус).
ТОВ «Екосолум»	165 га (Сумська, Полтавська, Кіровоградська, Івано-Франківська, Закарпатська)	Наявність ліцензійного посадкового матеріалу (шведські сорти верби і тополі).
ТОВ «Енергетична верба»	10 га верби (Київська, Вінницька, Житомирська)	Наявність власних сортів енергетичних рослин (верба).

1) Для всіх компаній, крім ТОВ «ЕнергоАграр», висаджені площі співпадають з власними площами.

ТОВ «ЕнергоАграр» має власну плантацію енергетичних рослин (190 га) у Хмельницькій області.

2) Послуги з посадки плантації з наданням гарантій схожості за умови використання посадкового матеріалу ТОВ «ЕнергоАграр».

Техніко-економічне обґрунтування проєктів вирощування енергетичних рослин для умов України

Проекти з вирощування енергетичних рослин є доволі важкими для практичної реалізації, оскільки чутливі до багатьох факторів, що впливає на їх економічні показники. Зазвичай термін окупності таких проєктів становить 7...9 років, що є на межі рентабельності і економічної доцільності. Біоенергетична асоціація України розробила і запропонувала кілька інструментів стимулювання розвитку даного сектору в країні [13]. Одним з них є уведення державної підтримки

на вирощування енергетичних рослин. За субсидії 700...800 євро/га термін окупності відповідних проєктів може скоротитися до близько 5...7 років в залежності від виду культури та вихідних умов.

Інші механізми підтримки сектору енергетичних рослин, запропоновані БАУ, включають збільшення строку договору оренди землі до 20 років; спрощення оренди малопродуктивних земель для вирощування енергорослин (без проведення земельних торгів); обмеження максимального розміру орендної плати за малопродуктивні та деградовані землі, на яких розташовані плантації,

Табл. 5. ТЕО проєктів виробництва деревних трісок з плантацій енергетичної верби і міскантуса

Показники	Верба (в скобках вказано значення при субсидії 700 євро/га)	Міскантус (в скобках вказано значення при субсидії 700 євро/га)
Основні характеристики плантації:		
Площа плантації, га	1200	400
Цикл вирощування, років	3	1
Площа плантації, яка щорічно збирається, га	400	400
Прогнозована врожайність біомаси*, т/га/рік	20	20
Відстань до локального складу на полі, км	2	2
Відстань до центрального складу, км	25	25
Вихідні економічні дані проєкту:		
Капітальні витрати, млн грн, у тому числі:	128,3 (93,3)	70,7 (59,1)
- машини і обладнання	58,3	47,6
- саджанці і добрива	70,0 (35,0)	23,1 (11,5)
Капітальні витрати питомі, євро/га	2570 (1870)	4250 (3550)
Щорічна вартість оренди 1 га (без ПДВ), грн/рік	1500	1500
Площа земель в оренді, га	1200	400
Мінімальна заробітна плата працівників, грн/міс.	10000	10000
Частка кредитних коштів, %	60	60
Ставка дисконтування, %	6	6
Ціна продажу трісок з біомаси (без ПДВ), грн/т	2000	3000
Ціна заміщеного природного газу (без ПДВ), тис. грн/1000 м ³	12,9	12,9
Потужність котельні, МВт	15,2	8,8
Основні економічні показники реалізації проєкту:		
Внутрішня норма рентабельності (IRR)	14,7% (18,3%)	17,8% (20,8%)
Чиста приведена вартість (NPV), млн грн	184,3 (216,9)	97,9 (108,6)
Простий термін окупності, років	8,7 (7,6)	6,8 (6,1)
Дисконтований термін окупності, років	10,6 (8,9)	8,1 (7,1)
Індекс прибутковості (PI)	2,4 (3,3)	2,4 (2,8)

* За вологості 50% для верби та 20% для міскантуса.

до 5% нормативної грошової оцінки. Таке обмеження унеможливить непередбачувану зміну орендної плати протягом строку оренди та позитивно вплине на економічні показники проєктів з вирощування енергетичних рослин. Відповідні законопроекти було розроблено та зареєстровано у Верховній Раді України ще у 2021 році (№ 5227 та № 5228 від 12.03.2021). Законопроект № 5227 також закладає законодавчі основи для механізму підтримки даного сектору біоенергетики, оскільки у ньому передбачено, що стимулювання виробництва та споживання енергії з АДЕ, може здійснюватися шляхом державної підтримки вирощування енергетичних рослин у порядку, визначеному Кабінетом Міністрів України.

Приклади ТЕО проєкту з вирощування енергетичної верби і міскантуса з метою виробництва і продажу трісок представлено в табл. 5. За існуючих умов, простий термін окупності проєкту становить 8,7 років для верби та 6,8 років для міскантуса. При наявності субсидії 700 євро/га для верби і для міскантуса простий термін окупності скоротиться до 7,6 та 6,1 років, відповідно. Кращі економічні показники можна отримати, якщо компанія, яка реалізує крупний проєкт з вирощування енергетичних рослин, вже має власну техніку і її покупку не треба враховувати у капітальних витратах. За таких умов, простий термін окупності проєкту для верби скоротиться до 6,9 років (5,8 років при субсидії 700 євро/га), а для міскантуса – до 3,9 років (3,2 роки при субсидії 700 євро/га). Можливим варіантом (за відсутності власної техніки) є покупка обладнання для збору врожаю і оренда техніки для закладання плантації.

Висновки та рекомендації для України

Вирощування енергетичних рослин є важливим і перспективним напрямком розвитку біоенергетики України. З біомаси енергорослин можна отримувати тверді (тріски, гранули, брикети), рідкі (біодизель, біоетанол) та газоподібні (біогаз, біометан) біопалива для ефективного заміщення викопних енергоносіїв. Суттєвою перевагою енергетичних рослин є забезпечення надійності і сталості поставок біомаси. Вже сьогодні в країні є приклади успішної діяльності комерційних компаній на цьому ринку. Україна має значний потенціал для розвитку даного сектору завдяки наявності великих площ незадіяних сільськогосподарських та малопродуктивних/деградованих земель. За поточних умов, проєкти з вирощування енергетичних рослин знаходяться на межі рентабельності і тому є малопривабливими для значних інвестицій. Для покращення економічних показників таких проєктів вважаємо за необхідне запровадити механізми стимулювання, запропоновані БАУ і передбачені проєктами законів

№ 5227 та № 5228 від 12.03.2021. Зокрема, ефективною підтримкою буде введення державної субсидії на вирощування енергетичних рослин у розрахунку на гектар площі плантації. Впровадження запропонованих механізмів підтримки дозволить суттєво підвищити привабливість проєктів з вирощування енергетичних рослин для інвестицій. Це сприятиме досягненню енергетичної незалежності України і розвитку місцевої економіки регіонів, де розташовані плантації енергетичних рослин.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Database for the physico-chemical composition of (treated) lignocellulosic biomass, micro- and macroalgae, various feedstocks for biogas production and biochar.* <https://phyllis.nl/>
2. Tryboi O., Zheliezna T., Drahnev S. Agricultural biomass feedstock for biofuels production in Ukraine // *Technium*. – 2023, v. 14, p. 94-99. <https://doi.org/10.47577/technium.v14i.9686>
3. Кургак В.Г., Слюсар С.М. Продуктивність багаторічних трав'янистих рослин при вирощуванні для енергетичних потреб // *Вісник аграрної науки*. – 2021, т. 99, № 11, с. 48-54. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-06>
4. Гелетуша Г.Г., Железна Т.А., Трибой О.В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Частина 2 // *Промислова теплотехніка*. – 2015, т. 37, № 5, с. 58-67. <https://doi.org/10.31472/ihe.5.2015.07>
5. Драгнев С.В., Железна Т.А., Баишовий А.І. Техніко-економічне обґрунтування проєктів виробництва твердого біопалива з біомаси від обрізки багаторічних сільськогосподарських насаджень в Україні // *Теплофізика та теплоенергетика*. – 2021, т. 43, № 2, с. 68-76. <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2021.8>
6. Гелетуша Г.Г., Железна Т.А., Драгнев С.В., Баишовий А.І. Аналіз можливостей виробництва і споживання паливних брикетів з біомаси сільськогосподарського походження в Україні. Частина 1 // *Промислова теплотехніка*. – 2018, т. 40, № 4, с. 62-68.
7. Geelen J., Jossart J.M., Nicolescu D. Biomass Supply. Bioenergy Europe Statistical Report, 2022.
8. Faaij A.P.C. Securing sustainable resource availability of biomass for energy applications in Europe; review of recent literature. Bioenergy Europe materials, 2018. <https://energy.nl/media/downloads/Bioenergy-Europe-EU-Biomass-Resources-Andr%C3%A9-Faaij-Final.pdf>

9. Гелету́ха Г.Г., Желєзна Т.А., Кучерук П.П., Драгнєв С.В. Аналіз перспективних напрямків використання енергетичного потенціалу біомаси України // Теплофізика та теплоенергетика. – 2023, т. 45, № 2, с. 77-86. <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2023.9>
10. *Promoting sustainable use of underutilized lands for bioenergy production through a web-based platform for Europe* – Bioplat-EU, EU Horizon 2020 project, 2018-2021. <https://bioplat.eu/>
11. *Ivanina V.* Report of general understanding of marginal lands. Horizon 2020 Project SEEMLA, 2016
https://www.seemla.eu/wp-content/uploads/2019/01/Final_D2.1_report-IBCSB_forsubmission-29072016_WB-finalized.pdf
12. Трибой О.В. Вирощування та постачання енергетичних рослин на об'єкти енергетики. Презентація на тренінг-курсах з підвищення кваліфікації працівників у секторі біоенергетики, 08.12.2023.
<https://uabio.org/news/15539/>
13. Гелету́ха Г.Г. Енергетичні рослини для біоенергетичних проєктів: бар'єри та перспективи в Україні. Презентація на семінарі «Енергетичні культури для біоенергетичних проєктів: перспективи для України», 09.09.2020, Київ.
<https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/09/Geletukha-energy-crops-09-September-2020.pdf>

CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE GROWING AND USE OF ENERGY CROPS IN UKRAINE

Tryboi O.V.¹, Zheliezna T.A.², Drahnev S.V.³

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine

¹*Orcid.org/0000-0002-8824-5074, e-mail: tryboi@secbiomass.com*

²*PhD (Engin.), orcid.org/0000-0002-9607-3022, e-mail: zhelyezna@secbiomass.com*

³*PhD (Engin.), orcid.org/0000-0003-3754-4186, e-mail: dragnev@secbiomass.com*

<https://doi.org/10.31472/tpe.2.2024.8>

The purpose of the work is to analyze state of the art of Ukraine's energy crops sector, as well as to develop recommendations for creating favorable conditions for the implementation of respective projects in the country. Energy crops are plants that are grown to obtain biomass as a fuel or feedstock for the further production of energy, biomass fuels or biofuels. Their advantage is the possibility of cultivation on marginal or low-quality lands, that is those that are unsuitable for the cultivation of common agricultural crops. Wood and grass energy crops have good fuel characteristics, which are close to those of forest wood. As for chlorine content and ash melting point, these indicators are much better than those of straw. In Ukraine, as in the EU, the potential for growing energy crops is determined mainly by the available area of unused agricultural and low-productivity land on which respective plantations can be created. Experts of the Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine estimate the current economic potential of energy crops for obtaining various types of biomass fuels in Ukraine as 5.44 Mtoe/yr (2021). By 2050, this potential may more than double, reaching 11.20 Mtoe/yr. In the current Ukraine's biomass potential, the total share of energy crops is 21%, approximately equally divided between wood/grass crops (solid biomass biofuel) and corn silage (biogas). By 2050, this share may increase to 26%, the largest contribution being from wood/grass energy crops (16%) intended for solid biomass fuel production. Projects on the cultivation of energy crops are quite difficult for practical implementation as they are sensitive to many factors, which affects their economic performance. Usually, the payback period of such projects is 7...9 years, which

is on the verge of profitability and economic feasibility. The Bioenergy Association of Ukraine has elaborated several tools to stimulate the development of this sector in the country. Implementation of the suggested support mechanisms will significantly increase the attractiveness of projects on energy crops cultivation for investment.

References 13, table 5, figures 3.

Key words: biomass, biomass potential, biomass fuel, energy crops, energy willow, miscanthus

1. *Database for the physico-chemical composition of (treated) lignocellulosic biomass, micro- and macroalgae, various feedstocks for biogas production and biochar.* <https://phyllis.nl/>

2. *Tryboi O., Zheliezna T., Drahnev S. Agricultural biomass feedstock for biofuels production in Ukraine // Technium. – 2023, v. 14, p. 94-99. <https://doi.org/10.47577/technium.v14i.9686>*

3. *Kurhak V., Sliusar S. Produktivnist bahatorichnykh travianystykh roslyn pry vyroshchuvanni dlia enerhetychnykh potreb [Productivity of perennial herbal plants when grown for energy needs] Bulletin of Agricultural Science, 2021. V. 99 (11). P. 48-54. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-06> (Ukr.)*

4. *Geletukha G., Zheliezna T., Tryboi O. Perspektyvy vyroshchuvannia ta vykorystannia enerhetychnykh kultur v Ukraini. Chastyna 2 [Prospects for growing and use of energy crops in Ukraine. Part 2] Industrial Heat Engineering, 2015. V. 37 (5). P. 58-67. <https://doi.org/10.31472/ihe.5.2015.07> (Ukr.)*

5. *Drahnev S., Zheliezna T., Bashtovyi A. Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannia proektiv vyrobnytstva tverdogo biopalyva z biomasy vid obrizky bahatorichnykh silskohospodarskykh nasadzhen v Ukraini [Feasibility study of projects for the production of solid biofuels from biomass of agrarian plantations pruning and removal] Thermophysics and Thermal Power Engineering, 2021. Vol 43 (2). P. 68-76. <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2021.8> (Ukr.)*

6. *Geletukha G., Zheliezna T., Drahnev S., Bashtovyi A. Analiz mozhlyvosti vyrobnytstva i spozhyvannia palyvnykh bryketiv z biomasy silskohospodarskoho pokhodzhennia v Ukraini. Chastyna 1 [Analysis of possibilities for the production and consumption of agrobiomass briquettes in Ukraine. Part 1] Industrial Heat Engineering, 2018. Vol 40 (4). P. 62-68. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2018.09> (Ukr.)*

7. *Geelen J., Jossart J.M., Nicolescu D. Biomass Supply. Bioenergy Europe Statistical Report, 2022.*

8. *Faaij A.P.C. Securing sustainable resource availability of biomass for energy applications in Europe; review of recent literature. Bioenergy Europe materials, 2018. <https://energy.nl/media/downloads/Bioenergy-Europe-EU-Biomass-Resources-Andr%C3%A9-Faaij-Final.pdf>*

9. Geletukha G., Zheliezna T., Kucheruk P., Drahniiev S. Analiz perspektyvnykh napriamkiv vykorystannia enerhetychnoho potentsialu biomasy Ukrainy [Analysis of prospective directions for using ukraine's biomass potential for energy] Thermophysics and Thermal Power Engineering, 2023. Vol 45 (2). P. 77-86. <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2023.9> (Ukr.)
10. *Promoting sustainable use of underutilized lands for bioenergy production through a web-based platform for Europe – Bioplat-EU*, EU Horizon 2020 project, 2018-2021. <https://bioplat.eu/>
11. Ivanina V. Report of general understanding of marginal lands. Horizon 2020 Project SEEMLA, 2016 https://www.seemla.eu/wp-content/uploads/2019/01/Final_D2.1_report-IBCSB_forsubmission-29072016_WB-finalized.pdf
12. Tryboi O. Vyroshchuvannia ta postachannia enerhetychnykh roslin na obiekty enerhetyky [Cultivation and supply of energy plants to energy facilities] Presentation at training courses on improving the skills of workers in the bioenergy sector, 08.12.2023. <https://uabio.org/news/15539/> (Ukr.)
13. Geletukha G. Enerhetychni roslyny dlia bioenerhetychnykh proektiv: bariery ta perspektyvy v Ukraini [Energy plants for bioenergy projects: barriers and prospects in Ukraine] Presentation at the seminar "Energy crops for bioenergy projects: prospects for Ukraine", 09.09.2020, Kyiv. <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/09/Geletukha-energy-crops-09-September-2020.pdf> (Ukr.)

Отримано 15.01.2024

Received 15.01.2024

Прийнято до друку 11.04.2024
Accepted for publication 11.04.2024