УДК 620.92

АНАЛІЗ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З ЕНЕРГЕТИЧНИХ РОСЛИН

Трибой О.В., Желєзна Т.А., канд. техн. наук, Баштовий А.І., канд. техн. наук

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

<https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2021.6>

Виконано аналіз життєвого циклу виробництва теплової енергії з біомаси енергетичних рослин за показниками енергетичної ефективності та скорочення викидів парникових газів. Проаналізовано економічні показники таких проектів в Україні.

Выполнен анализ жизненного цикла производства тепловой энергии из биомассы энергетических растений по показателям энергетической эффективности и сокращения выбросов парниковых газов. Проанализированы экономические показатели таких проектов в Украине.

Life cycle assessment of heat production from energy crops is performed by using energy yield coefficient and value of greenhouse gas emissions reduction. Feasibility of such projects in Ukraine is analyzed.

Бібл. 13, табл. 5, рис. 4.

Ключові слова: біомаса, біопаливо, потенціал біомаси, енергетичні рослини, життєвий цикл, оцінка життєвого циклу.

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
ОЖЦ – оцінка життєвого циклу;
 CED_{NR} – сукупні витрати первинної енергії;
 CEP – сукупна вироблена енергія;
 EYC_{NR} – коефіцієнт перетворення енергії;
NR – невідновлюваний;

Q_p – нижча теплота згорання;
 W – вологість;
н.е. – нафтовий еквівалент.

Нижні індекси:
екв – еквівалент;
т – тепловий.

Актуальність роботи обумовлена нагальною необхідністю заміщення викопних палив відновлюваними джерелами енергії, зокрема біомасою. Вирощування і використання енергетичних рослин є потужним інструментом декарбонізації енергетики і скорочення викидів парникових газів. **Метою** роботи є аналіз життєвого циклу виробництва теплової енергії з біомаси енергетичних рослин за показниками енергетичної ефективності та скорочення викидів парникових газів. **Методи дослідження** включають проведення розрахунків, вивчення літературних, статистичних та інших даних.

Стан вирощування і потенціал енергетичних рослин в ЄС та Україні

Енергетичні рослини – це культури, які спеціально вирощуються для використання безпосередньо в якості палива або для виробництва біопалива. Їх можна класифікувати за різними характеристиками. Зокрема, по типу розрізняють деревоподібні (верба, тополя, акація, вільха) і трав'янисті культури (міскантус, просо прутіподібне, двокісточник тростиніподібний). Такі культури швидко ростуть, утворюючи велику вегетативну масу, яка може бути

використана для енергетичних потреб. Енергетичні рослини можна вирощувати на малопродуктивних або забруднених землях, що супроводжується позитивним впливом на якість ґрунту – зменшенням ерозії, збільшенням вмісту органічної речовини. Крім того, ці рослини використовують для фіторе mediaції засолених та техногенно забруднених ґрунтів [1, 2].

В Євросоюзі площа під енергетичними рослинами є наразі відносно невеликою – близько 118,5 тис. га. Вона розділяється приблизно однаково між деревоподібними культурами (60,5 тис. га) та трав'янистими (58 тис. га). Лідерами по вирощуванню енергетичних рослин є Польща (17,8 тис. га), Німеччина (15,8 тис. га), Швеція (11,6 тис. га) і Греція (11,0 тис. га) (табл. 1). Проведені дослідження і оцінки показують, що з урахуванням малопродуктивних сільськогосподарських земель площі під енергорослинами в ЄС можуть бути збільшені до 22 млн га. Прогнозується, що до 2050 року агробіомаса (сільськогосподарські залишки та енергетичні рослини) буде складати 60...70 % загального споживання біомаси для потреб енергетики, тоді як зараз цей показник становить лише близько 19% [3, 4].

Табл. 1. Площі під енергетичними рослинами в ЄС-28 та в Україні* [3]

Країни ЄС (вибрані)	Плантації швидкоростучих дерев, га			Трав'яні енергетичні рослини, га		Всього
	Тополя	Верба	Інші	Міскантус	Інші	
Австрія	977	244	-	1078	52	2351
Греція	н.д.			11010		11010
Німеччина	6600			4600	4600	15800
Данія	764	4808	н.д.	66		5638
Угорщина	3352	505	247	1000	н.д.	5104
Ірландія	1100			700	410	2210
Польща	9000	7832	-	992	-	17824
Румунія	2600	600	-	1200	2530	6930
Швеція	1672	8587	673	-	691	11623
Всього, ЄС-28	21455	24186	1020	29023	12097	118480
Україна	175	4200	80	950	н.д.	5405

* В залежності від країни, дані відносяться до 2012-2020 рр.

н.д. – немає даних.

В Україні, за різними даними, енергетичні рослини вирощуються на площі 5...6 тис. га [3, 5, 6]. Найбільші площі припадають на енергетичну вербу, великі плантації якої розташовані у Волинській області (плантації компанії «Салікс Енерджи»). Енергетичні рослини можуть вирощуватися на незадіяних сільськогосподарських землях, площа яких в Україні складає близько 4 млн га. За припущення

вирощування верби, тополі, міскантусу на площі до 1 млн га, їх потенціал оцінюється у 4...5 млн т н.е./рік. Розподілення цього потенціалу по областях України залежить, головним чином, від наявної площі незадіяних сільськогосподарських земель та стану (якості) ґрунту. Найбільший потенціал вирощування багаторічних енергетичних рослин на сьогодні мають Чернігівська, Житомирська та Рівненська області (рис. 1). Додатково в

Рис. 1. Розподілення потенціалу багаторічних енергетичних рослин по території України [8]

Україні можна отримати 2,6 млн т н.е./рік за рахунок вирощування силову кукурудзи на 1 млн га і виробництва біогазу з нього [7, 8].

Прогнозується, що до 2050 року потенціал енергетичних рослин в Україні може зрости до 21 млн т н.е./рік (44% загального потенціалу біомаси) за рахунок збільшення врожайності та площі земель під ними до 4 млн га [9]. Отже, можна зробити висновок, що вирощування і використання енергетичних рослин є перспективним напрямком, який необхідно досліджувати і практично реалізовувати.

Оцінка енергетичної ефективності виробництва теплової енергії з біомаси енергетичних рослин

Оцінка життєвого циклу виробництва теплової енергії з енергетичних рослин виконується за показниками енергетичної ефективності та скорочення викидів парникових газів. Загальний підхід до проведення такої оцінки описаний в роботах [10, 11]. Зазвичай ОЖЦ виробництва енергії з біомаси включає сировинний цикл, що розпочинається з етапу збирання біомаси, та підсистему перетворення (виробництво енергетичного обладнання, виробництво енергії, демонтаж та утилізація обладнання після закінчення терміну його експлуатації). Основною особливістю ОЖЦ використання енергетичних рослин є врахування в сировинному циклі етапу їх вирощування, який включає виробництво необхідної техніки та матеріалів і безпосередньо вирощування (рис. 2).

Показником енергетичної ефективності в ОЖЦ є коефіцієнт перетворення енергії $EY_{C_{NR}}$. Цей коефіцієнт являє собою відношення величини сукупного виробництва енергії певною установкою (СЕР), тобто енергії «на виході», до повних витрат первинної

невідновлюваної енергії, необхідної для створення енергоустановки, забезпечення її роботи протягом всього часу існування й утилізації установки після завершення терміну її експлуатації (CED_{NR}), тобто невідновлюваної енергії «на вході».

Особливістю показника $EY_{C_{NR}}$ (CER/CED_{NR}) є те, що «на вході» враховуються витрати тільки невідновлюваної енергії, а ВДЕ, наприклад, біомаса як енергоносії до загальної суми не входить. Очевидно, що при такому підході $EY_{C_{NR}}$ для енергоустановок на ВДЕ завжди буде більше 1, а для установок на викопних паливах – менше 1. За рекомендаціями роботи [12], для забезпечення високої ефективності коефіцієнт перетворення енергії $EY_{C_{NR}}$ для енергоустановок на ВДЕ має складати принаймні більше 2, а найбільш рекомендоване значення – більше 5.

Результати оцінки енергетичної ефективності життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски та гранул енергетичних рослин в котлі 500 кВт представлено в табл. 2, 3. Отримані дані свідчать про достатньо високу енергетичну ефективність даного життєвого циклу. Коефіцієнт перетворення енергії $EY_{C_{NR}}$ досягає межі значення 2 при перевезенні біопалива до споживача на відстань близько 400 км для тріски з верби, 700 км – для тріски з міскантусу, 500 км – для гранул з верби, 800 км – для гранул з міскантусу. При транспортуванні біопалива на менші відстані $EY_{C_{NR}}$ наблизитиметься до найбільш рекомендоване значення – більше 5. Результати, отримані для гранул з енергетичних рослин є трохи гіршими, ніж для тріски, що пояснюється наявністю в життєвому циклі додаткових витрат енергії на гранулювання. У порівнянні з іншими витратами первинної енергії, ця складова є найбільшою – до 48% (рис. 3).

Рис. 2. Схема і межі життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски енергетичних рослин

Табл. 2. Енергетична ефективність життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски енергетичних рослин в котлі 500 кВт

Витрати первинної енергії, ГДж/рік	Верба ¹⁾				Міскантус ²⁾			
1. Витрата палива (тріска)	6333 ³⁾							
2. Обробіток ґрунту	6,7				3,5			
3. Посадка	10,5				5,5			
4. Внесення добрив (включаючи мінеральні добрива)	75,2				30,0			
5. Внесення гербіциду (включаючи витрати енергії на виробництво гербіциду)	2,9				1,1			
6. Транспортування води (для гербіциду та міндобрив), посадкового матеріалу, міндобрив, біомаси (з поля до складу)	32,6				42,3			
7. Збір з подрібненням у тріску за цикл 20 років	33,6				40,5			
Всього за етап вирощування та збору (сума пп. 2-7)	161,6				122,9			
8. Вантаження-розвантаження тріски	49,5				30,5			
9. Складування та зберігання тріски	2,6				3,8			
10. Експлуатація котельної (споживання електроенергії, обслуговування, ремонт)	288,6				288,6			
11. Спорудження, демонтаж, утилізація обладнання котельної установки	19,9				19,9			
12. Транспортування тріски до споживача та золи до місця утилізації	Відстань транспортування тріски, км							
	0	50	100	400	0	50	200	700
	0	230	461	1843	0	134	537	1880
CED _{NR} , ГДж/рік	522	753	983	2365	466	600	1003	2346
CEP, ГДж/рік	5114							
EYC _{NR} (CEP/CED _{NR})	9,8	6,8	5,2	2,2	11,0	8,5	5,1	2,2

1) W40%, $Q_p^H=10$ МДж/кг. Обсяг виробництва – 648 т/рік на 42 га.

2) W15%, $Q_p^H=14$ МДж/кг. Обсяг виробництва – 451 т/рік на 26 га.

3) ККД котла 85%.

Оцінка скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з біомаси енергетичних рослин

Скорочення викидів парникових газів є одним з найбільш вагомих показників при оцінці впливу біоенергетичних технологій на оточуюче середовище. Хоча біомаса є CO₂-нейтральним паливом, при операціях її заготівлі, складування, транспортування, попередньої обробки та використання відбувається споживання енергії викопного палива, що в свою чергу приводить до викидів парникових газів. Для енергетичних рослин до цього переліку ще додається етап вирощування. Основними парниковими газами, викиди яких

мають місце у життєвому циклі роботи енергетичних систем є діоксид вуглецю (CO₂), метан (CH₄) та закис азоту (N₂O). Величина викидів всіх парникових газів приводиться до еквівалентної величини викидів CO₂ через відповідні коефіцієнти.

Оцінімо скорочення викидів парникових газів протягом життєвого циклу виробництва теплової енергії з біомаси енергетичних рослин і порівняємо результати з вимогами до твердих біопалив Директиви ЄС з ВДЕ 2018/2001 [13]. Згідно цієї Директиви, зниження викидів парникових газів при виробництві теплової енергії, холоду та електроенергії з твердих біопалив має бути не менше 70% у порівнянні з аналогічним викори-

Табл. 3. Енергетична ефективність життєвого циклу виробництва теплової енергії з гранул енергетичних рослин в котлі 500 кВт

Витрати первинної енергії, ГДж/рік	Верба ¹⁾				Міскантус ²⁾			
1. Витрата палива (гранули)	5981 ³⁾							
2. Обробіток ґрунту	6,4				3,1			
3. Посадка	10,0				4,9			
4. Внесення добрив (включаючи мінеральні добрива)	71,6				26,5			
5. Внесення гербіциду (включаючи витрати енергії на виробництво гербіциду)	2,8				0,9			
6. Транспортування води (для гербіциду та міндобрив), посадкового матеріалу, міндобрив, біомаси (з поля до складу)	31,1				37,4			
7. Збір з подрібненням у тріску за цикл 20 років	32,0				35,8			
Всього за етап вирощування та збору (сума пп. 2-7)	153,9				108,7			
8. Вантаження-розвантаження тріски/гранул	53,6				50,6			
9. Гранулювання з сушкою на біомасі	626,4				504,6			
10. Складування та зберігання тріски/гранул	3,4				3,8			
11. Експлуатація котельної (споживання електроенергії, обслуговування, ремонти)	149,5				149,5			
12. Спорудження, демонтаж, утилізація обладнання котельної установки	17,0				17,0			
13. Транспортування тріски до виробництва гранул та гранул до споживача, а також золи до місця утилізації	Відстань транспортування гранул, км							
	0	50	100	500	0	50	90	800
	0	150	299	1495	0	108	195	1734
CED _{NR} , ГДж/рік	1013	1162	1312	2487	830	939	1004	2564
CEP, ГДж/рік	5114							
EYC _{NR} (CEP/CED _{NR})	5,1	4,4	3,9	2,1	6,1	5,4	5,0	2,0

1) W10%, $Q_p^H=16,5$ МДж/кг. Обсяг виробництва – 363 т/рік на 40 га.

2) W10%, $Q_p^H=16$ МДж/кг. Обсяг виробництва – 374 т/рік на 23 га.

3) ККД котла 90%.

станням викопних палив для установок, які розпочали роботу з 01.01.2021 до 31.12.2025, і не менше 80% для установок, введених в експлуатацію з 01.01.2026. Ці вимоги розповсюджуються тільки на установки тепловою потужністю ≥ 20 МВт.

Результати оцінки показують, що для котлів відносно невеликої потужності зазначені вимоги виконуються тільки при обмеженій відстані транспортування біопалива до споживача. Так, для котельної установки 500 кВт вимога по скороченню викидів парникових газів на 70% виконується лише при перевезенні тріски/гранул з енергетичних рослин на 100-150 км (табл. 4).

Хоча ця вимога не розповсюджується на установки < 20 МВт, таке порівняння є корисним з точки зору пошуку шляхів для подальшого скорочення викидів парникових газів на різних етапах життєвого циклу виробництва теплової енергії з біомаси енергетичних рослин. Для біопалива у вигляді гранул найбільші викиди парникових газів припадають на етап гранулювання – 13,9г CO₂екв./МДж для верби і 11,2 г CO₂екв./МДж для міскантуса (рис. 4). При значному збільшенні відстані транспортування біопалива суттєво ростуть відповідні викиди парникових газів, що потрібно оцінювати і враховувати при плануванні біоенергетичних проєктів.

Рис. 3. Розподілення витрат первинної енергії викопного палива за стадіями життєвого циклу виробництва теплової енергії з гранул верби у котлі 500 кВт при транспортуванні біопалива на 100 км

Рис. 4. Питомі викиди парникових газів на етапах життєвого циклу виробництва теплової енергії з біомаси енергетичних рослин

Табл. 4. Скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з твердого біопалива в котлі 500 кВт

Вид біопалива	Відстань транспортування біопалива, км								
	0	50	100	150	200	250	300	400	500
Тріска з верби	88,3%	83,3%	78,2%	73,2%	68,1%	63,1%	58,1%	48,0%	37,9%
Гранули з верби	75,5%	72,2%	68,9%	65,7%	62,4%	59,1%	55,8%	49,3%	42,8%
Тріска з міскантусу	89,7%	86,8%	83,8%	80,9%	77,9%	75,0%	72,1%	66,2%	60,3%
Гранули з міскантусу	80,2%	77,8%	75,5%	73,1%	70,7%	68,3%	66,0%	61,2%	56,5%

Економічні показники біоенергетичних проєктів з використанням енергетичних рослин

Техніко-економічний аналіз проєктів з вирощування енергетичних рослин і виробництва теплової енергії з них показує, що за існуючих наразі в Україні умов такі проєкти знаходяться на межі рентабельності (простий термін окупності близько 7 років) і тому можуть бути недостатньо привабливими для інвесторів (табл. 5).

Для прискорення розвитку даного напрямку біоенергетики в Україні рекомендується запровадження державної субсидії на вирощування енергетичних рослин. За експертними оцінками, при субсидії розміром 20...24 тис. грн/га в залежності від виду культури, рентабельність проєктів з вирощування верби, міскантуса, тополі підвищується до SPP близько 5 років, $IRR > 21\%$ [7]. Відповідно, покращаться до прийнятних значень і економічні показники проєктів виробництва теплової енергії з тріски та гранул енергетичних рослин.

Висновки

Вирощування енергетичних рослин і виробництва з них енергії є перспективним напрямком розвитку біоенергетики. В Україні потенціал енергорослин наразі складає 32% загального потенціалу біомаси і може зрости до 44% у 2050 році. Енергетична ефективність життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски та гранул енергетичних рослин є достатньо високою і задовольняє рекомендованим критеріям – EUC_{NR}

Табл. 5. Техніко-економічні показники проєкту з вирощування енергетичних рослин і виробництва з них теплової енергії в котлі 500 кВт

Показники	Вид палива	
	Тріска верби*	Тріска міскантусу*
Капітальні витрати у плантацію (інвестиції у саджанці), тис. євро	25,0	27,1
Капітальні витрати у котельню, тис. євро	66,1	
Повні капітальні витрати проєкту, тис. євро	91,1	93,2
Операційні витрати плантації (сума за всі роки), тис. євро	234,9	145,8
Операційні витрати котельні (сума за всі роки), тис. євро	136,2	144,3
Повні операційні витрати проєкту, тис. євро	371,2	290,1
Питомі витрати на закладення плантації (без техніки), євро/га	1390,3	1720,5
Питомі операційні витрати за весь цикл вирощування, євро/га	6155,9	6104,4
Собівартість біопалива, євро/т	22,3	18,9
Тариф на теплову енергію, євро/Гкал без ПДВ	54,4	
Чистий приведений дохід (NPV), тис. євро	188,4	216,0
Внутрішня норма рентабельності (IRR),%	16,5	18,1
Простий термін окупності (SPP), років	7,5	7,0

* Верба збирається з плантації 42 га, міскантус – з 26 га.

принаймні більше 2. Скорочення викидів парникових газів протягом такого життєвого циклу становить 40...90 % при транспортуванні біопалива до споживача на відстань до 500 км. Для прискорення розвитку вирощування і використання енергетичних рослин в Україні рекомендується запровадження державної субсидії в розрахунку на гектар площі плантації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Трибой О.В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Частина 1 // Промислова теплотехніка. – 2015, т. 37, № 4, с. 53-60. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2015.06>
2. Самохвалова В.Л., Фатєєв А.І., Зуза С.Г. та ін. Фіторе mediaція техногенно забруднених ґрунтів // Агроекологічний журнал. – 2015, № 1, с. 92-100. <https://bit.ly/3t4uHpV>
3. Biomass supply. Bioenergy Europe Statistical Report, 2020. <https://bioenergyeurope.org/article/270-biomass-supply.html>
4. Bioenergy Europe factsheet: Biomass for energy - Agricultural residues & energy crops, 2019. <https://bioenergyeurope.org/article/204-bioenergy-explained-biomass-for-energy-agricultural-residues-energy-crops.html>

5. *Ukraine Forth Progress Report on promotion and use of energy from renewable sources 2018-2019, 2020*

https://www.energy-community.org/dam/jcr:342ac109-35d4-4233-8d7e-74d2d534ab9f/UE_RES_PR_122020.pdf

6. *Шафаренко Ю.А.* Законодавча політика щодо підтримки вирощування енергетичних рослин. Презентація на вебінарі «Енергетичні культури для біоенергетичних проєктів: перспективи для України», 09.09.2020, Київ. https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/09/Shafarenko_SAE_09092020.pdf

7. *Гелетука Г.Г.* Енергетичні рослини для біоенергетичних проєктів: бар'єри та перспективи в Україні. Презентація на вебінарі «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>

8. *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/>

9. *Гелетука Г.Г., Желєзна Т.А., Матвєєв Ю.Б.* та ін. Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року. Аналітична записка UABIO № 26, 2020. <https://uabio.org/materials/9115/>

10. *Гелетука Г.Г., Желєзна Т.А., Дроздова О.І.* Енергетичний і екологічний аналіз технологій виробництва енергії з біомаси. Частина 1 // *Промислова теплотехніка.* – 2014, т. 36, № 6, с.78-88.

11. *Гелетука Г.Г., Желєзна Т.А., Дроздова О.І.* Енергетичний і екологічний аналіз технологій виробництва енергії з біомаси. Частина 2 // *Промислова теплотехніка.* – 2015, т. 37, № 1, с.53-62.

<https://doi.org/10.31472/ihe.1.2015.07>

12. *Th. Nussbaumer, M. Oser.* Evaluation of biomass combustion based energy systems by cumulative energy demand and energy yield coefficient. Report for International Energy Agency and Swiss Federal Office of Energy, 2004.

https://verenum.ch/Publikationen/Nussbaumer_IEA_CED_V11.pdf

13. *DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast).*

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF HEAT PRODUCTION FROM ENERGY CROPS

Tryboi O.V., Zheliezna T.A., Bashtovyi A.I.

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

<https://doi.org/10.31472/tpe.2.2021.6>

The aim of the work is a life cycle assessment of heat production from energy crops by using energy yield coefficient and value of greenhouse gas emissions reduction. State of the art and prospects for growing energy crops in the EU and Ukraine are analyzed. Today, the area under energy crops in the EU and Ukraine is relatively small, but there is significant potential for the development of this sector, which requires further research and implementation of practical measures. Typically, the life cycle assessment of energy production from biomass includes a feedstock cycle, which begins with the phase of biomass collection, and a conversion subsystem. The main feature of the life cycle assessment concerning energy crops is including the phase of their growth in the feedstock cycle. Results of the study show that the energy efficiency of the life cycle of heat production from energy crops chips and pellets is quite high and meets the recommendation that the non-renewable energy yield coefficient should be at least more than 2. Reduction of greenhouse gas emissions during such a life cycle is 40-90% for a 500 kW boiler plant when transporting biofuels to the consumer at a distance of up to 500 km. Feasibility study of projects on growing energy crops and heat production from them shows that under the current conditions in Ukraine, such projects are on the verge of profitability and therefore may not be attractive enough for investors. To promote the development of this sector, it is recommended to introduce a state subsidy per hectare of a plantation area.

References 13, table 5, figures 4.

Key words: biomass, biofuel, biomass potential, energy crops, life cycle, life cycle assessment.

1. Geletukha G., Zheliezna T., Tryboi O. Perspektyvy vyroshchuvannya ta vykorystannya enerhetychnykh kultur v Ukraini. Chastyna 1 [Prospects for growing and use of energy crops in Ukraine. Part 1]. Thermophysics and Thermal Power Engineering, Vol. 37 No. 4 (2017). – P. 53-60. (Ukr.)

<https://doi.org/10.31472/ihe.4.2015.06>

2. Samokhvalova V., Fatieiev A., Zuza S., et al. Fitoremediatsiia tekhnogenno zabrudnennykh gruntiv [Phytoremediation of technogenic contaminated soils]. Agroecological journal, No. 1 (2015). – P. 92-100. (Ukr.) <https://bit.ly/3t4uHpV>

3. Biomass supply. Bioenergy Europe Statistical Report, 2020. <https://bioenergyeurope.org/article/270-biomass-supply.html>

4. Bioenergy Europe factsheet: Biomass for energy - Agricultural residues & energy crops, 2019.

<https://bioenergyeurope.org/article/204-bioenergy-explained-biomass-for-energy-agricultural-residues-energy-crops.html>

5. Ukraine Forth Progress Report on promotion and use of energy from renewable sources 2018-2019, 2020

https://www.energy-community.org/dam/jcr:342ac109-35d4-4233-8d7e-74d2d534ab9f/UE_RES_PR_122020.pdf

6. Shafarenko Yu. Zakonodavcha polityka shchodo pidtrymky vyroshchuvannya enerhetychnykh roslyn. Prezentatsiia na vebinari “Enerhetychni kultury dlia bioenerhetychnykh proiektiv: perspektyvy dlia Ukrainy” [Legislative policy to support the energy crops growing. Presentation at the webinar “Energy crops for bioenergy projects: prospects for Ukraine”], 09.09.2020, Kyiv. (Ukr.)

https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/09/Shafarenko_SAE_09092020.pdf

7. Geletukha G. Enerhetychni roslyny dlia bioenerhetychnykh proiektiv: bar'ieri ta perspektyvy v Ukraini. Prezentatsiia na vebinari “Enerhetychni kultury dlia bioenerhetychnykh proiektiv: perspektyvy dlia Ukrainy” [Energy crops for bioenergy projects: barriers and prospects in Ukraine. Presentation at the webinar “Energy crops for bioenergy projects: prospects for Ukraine”], 09.09.2020, Kyiv. (Ukr.)

<https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/09/Geletukha-energy-crops-09-September-2020.pdf>

8. 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/>

9. Geletukha G., Zheliezna T., Matveev Yu. et al. Dorozhnia karta rozvytku bioenerhetyky Ukrainy do 2050 roku [Roadmap for bioenergy development in Ukraine until 2050]. UABIO Position Paper No. 26 (2020). <https://uabio.org/en/materials/9115/>

10. Geletukha G., Zheliezna T., Drozdova O. Enerhetychni i ekolohichni analiz tekhnolohii vyrobnytstva enerhii z biomasy. Chastyna 1 [Energy and ecological analysis of biomass energy production technologies. Part 1]. Industrial Heat Engineering, Vol. 36, No. 6 (2014). – P. 78-88. (Ukr.)

11. Geletukha G., Zheliezna T., Drozdova O. Enerhetychnyi i ekolohichnyi analiz tekhnolohii vyrobnytstva enerhii z biomasy. Chastyna 2 [Energy and ecological analysis of biomass energy production technologies. Part 2]. Industrial Heat Engineering, Vol. 37, No. 1 (2015). – P. 53-62. (Ukr.)

<https://doi.org/10.31472/ihe.1.2015.07>

12. Th. Nussbaumer, M. Oser. Evaluation of biomass combustion based energy systems by cumulative energy demand and energy yield coefficient. Report for International Energy Agency and Swiss Federal Office of Energy, 2004.

https://verenum.ch/Publikationen/Nussbaumer_IEA_CED_V11.pdf

13. *DIRECTIVE (EU) 2018/2001* OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast).

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

Отримано 22.03.2021

Received 22.03.2021