УДК 620.92

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА З БІОМАСИ ВІД ОБРІЗКИ БАГАТОРІЧНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ НАСАДЖЕНЬ В УКРАЇНІ

Драгнєв С.В., канд. техн. наук, 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.2.2021.8>

Проведено оцінку потенціалу біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень в Україні. Виконано техніко-економічне обґрунтування типового проєкту виробництва паливних брикетів з виноградної лози.

Проведена оценка потенциала биомассы от обрезки и удаления многолетних сельскохозяйственных насаждений в Украине. Выполнено технико-экономическое обоснование типичного проекта производства топливных брикетов из виноградної лозы.

The potential of biomass obtained from the pruning and removal of perennial agricultural plantations in Ukraine has been assessed. Feasibility study of a typical project for the production of fuel briquettes from vineyard pruning has been performed.

Бібл. 15, табл. 3, рис. 4.

Ключові слова: біомаса, біопаливо, потенціал біомаси, брикети з біомаси, паливні характеристики, техніко-економічне обґрунтування.

БМ – біомаса;

ОВБСН – обрізка та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;

ТО – технічне обслуговування;

н.е. – нафтовий еквівалент;

с/г – сільське господарство;

W – вологість.

Актуальність роботи обумовлена нагальною необхідністю декарбонізації енергетики шляхом заміщення викопних палив відновлюваними джерелами енергії, зокрема біомасою. Біомаса від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень є доступним місцевим паливом, використання якого може суттєво підвищити енергетичну безпеку регіонів України. **Метою** роботи є визначення техніко-економічних показників проєктів отримання твердого біопалива із зазначених видів біомаси для подальшого виробництва теплової енергії. **Методи дослідження** включають проведення розрахунків, вивчення літературних, статистичних та інших даних.

Потенціал біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень в Україні

Енергетичне використання біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень є відносно новим сегментом європейської біоенергетики. Оскільки цей напрямок вважається перспективним, його дослідженню та розвитку приділяється значна увага [1, 2]. На сьогодні в ЄС і в

Україні вже є приклади успішних проєктів виробництва енергії з біомаси ОВБСН. Так, у м. Калімера (Італія) електростанція потужністю 1 МВт працює виключно на подрібнених обрізках оливкових дерев. В Іспанії у м. Вілафранка-дель-Пенедес з виноградної лози виробляється тепла енергія для потреб місцевого винного заводу (котел 130 кВт) та місцевої системи централізованого тепlopостачання (котел 500 кВт). В Україні промислово-торгівельна компанія «Шабон» (Одеська область) з 2015 року виробляє технологічну пару у котлі 900 кВт, що працює на подрібненій виноградної лозі [3].

Біомаса ОВБСН включає гілки дерев фруктових садів та інших багаторічних насаджень, винограду лозу, стовбури та пні видалених дерев при корчуванні старих садів. За даними 2019 року, площа насаджень плодівих культур у плодоносному віці в Україні складає 175,7 тис. га, площа виноградників у плодоносному віці – 39,5 тис. га. Більша частина виноградників розташована в Одеській області (24,4 тис. га), відносно великі площі також наявні в Миколаївській (5,3 тис. га), Херсонській (4,5 тис. га) і Закарпатській (3,4 тис. га) областях. Найбільші площі

фруктових садів припадають на Вінницьку (21,7 тис. га), Чернівецьку (14,8 тис. га) і Закарпатську (13,1 тис. га) області [4].

Річний вихід біомаси при обрізці плодівих дерев становить близько 2,5 т/га, при обрізці виноградників – 3 т/га, при викорчуванні старих садів – до 30 т/га. Ґрунтуючись на цих даних, енергетичний потенціал біомаси ОББСН в Україні оцінюється у 116,2 тис. т н.е. (2019 р.). Найбільшою складовою в структурі цього потенціалу є біомаса від обрізки плодівих дерев – 78,7 тис. т н.е. (68%) (рис. 1).

В загальному енергетичному потенціалі біомаси в Україні (23,6 млн т н.е. у 2019 р.) біомаса ОББСН займає невелику частку – всього 0,5%, але цей вид місцевого палива є важливим для регіонів його утворення і може суттєво зменшити їх залежність від традиційних енергоносіїв. Сьогодні обрізки дерев фруктових садів і виноградників утилізуються, головним чином, як відходи шляхом спалювання на місці. Це має негативний вплив на оточуюче середовище і призводить до втрати цінного енергетичного ресурсу. Отже, розвиток даного напрямку в Україні потребує подальших досліджень і зусиль на подолання існуючих стереотипів і бар'єрів.

Паливні характеристики біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень

З біомаси ОББСН можна отримати тріску (частіше – крупну тріску) або виробити покращене біопаливо – гранули, брикети. Паливні характеристик біомаси ОББСН є трохи гіршими, ніж біопалива з лісової деревини або енергетичних рослин, але достатньо високими для ефективного використання в енергетичному обладнанні. Основні особливості полягають у більш високій зольності і, відповідно, меншій теплотворній здатності. Так, зольність біопалива, отриманого з біомаси ОББСН, складає 3...5% (по робочій масі), тоді як вміст золи в трісці з лісової деревини або енергетичних рослин не перевищує 1,5...2%. Типовий розмір деревної тріски

становить 10-30 мм; з біомаси від обрізки багаторічних сільськогосподарських насаджень зазвичай отримують дуже крупну тріску розміром до 50-60 мм і більше (табл. 1). При цьому елементний склад і температура плавлення золи біопалив, отриманих з біомаси ОББСН, є близькими до показників деревної тріски і гранул (табл. 2).

Застосування оптимальних технологій заготівлі з дотриманням необхідних умов дає можливість отримати біомасу від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень, яка є цінним енергетичним ресурсом для заміщення викопних палив. Емісійні характеристики і загальний вплив на оточуюче середовище при спалюванні таких біопалив порівняні зі спалюванням звичайного деревного палива [12-15].

Техніко-економічне обґрунтування виробництва брикетів з обрізок виноградної лози для їх подальшого використання у твердопаливних котлах

Виконано техніко-економічне обґрунтування інвестиційного проєкту організації виробництва брикетів з обрізок виноградної лози для використання їх як палива у твердопаливних котлах. Брикети являють собою покращене біопаливо з прогнозованою якістю. Вони можуть застосовуватися в існуючих пічках, побутових та невеликих твердопаливних котлах з ручним завантаженням. Порівняно з дровами, брикети є більш зручними та економічними при транспортуванні та зберіганні; потребують менших витрат праці при ручному завантаженні в котел за рахунок більшої енергетичної щільності.

Основними вимогами для вибору технології брикетування виноградної лози були її надійність, простота, екологічність, існуючі вдалі приклади використання в Україні. Ґрунтуючись на цьому, було вибрано українське обладнання підприємства «Брикетуючі технології» (м. Бердичів), яке дозволяє виробляти брикети типу NILSEN з багатьох видів біомаси (виноградна лоза, деревні відходи, тирса, тріска, торф, солома, стебла кукурудзи,

Рис. 1. Структура потенціалу біомаси ОББСН в Україні (2019 р.), тис. т н.е.

лушпиння та ін.) на ударно-механічних пресах. Брикети NIELSEN – довгі циліндричної форми або багатокутного перерізу брикети, переважно, без внутрішнього отвору, отримані за рахунок застосування високого тиску. Брикети даного типу не обмежені по довжині і можуть бути розділені як на «шайби», так і на «поліна». Основними

перевагами брикетів NIELSEN є невисока собівартість і висока щільність. Недоліком є низька вологостійкість, що вимагає використання якісної упаковки.

Брикети, виготовлені з виноградної лози, мають паливні характеристики, порівняні з брикетами з інших видів біомаси, але вони є трохи «м'якішими» зі

Табл. 1. Паливні характеристики біопалив, отриманих з біомаси ОБСН [5]

Вид біопалива	Нижча теплота згорання, МДж/кг		Вологість, % а.г.	Вміст золи, % d.b.	Насипна щільність, кг/м ³ а.г.	Розмір часток
	d.b.	a.g.				
Брикети з обрізок виноградної лози	18,0 [8]	14,0 [6]	11	3,4	760	діаметр 50 мм, середня довжина 60 мм
Гранули з обрізок виноградної лози [7]	17,7	н.д.	10	4,5	710	діаметр 8 мм, довжина 25-30 мм
Гранули з БМ видалених плодових дерев	18,1 [8]	н.д.	13	4,8	530	діаметр 8 мм, довжина до 40 мм
Гранули з обрізок оливкових дерев	19,7	18,2	7,0	3,0	580	діаметр 8 мм
Тріска з обрізок виноградної лози	17,7	10,4	36	4,7	330	P16S (EN 15149)
	17,6 [7]	9,0...11,5 [7]	30...40 [7]	3,4 [7]	н.д.	н.д.
Тріска з обрізок оливкових дерев	18,4	12,9	26,5	5,4	190	P31S (EN 15149)
	18,0	12,4	29	4,0	310	P16 (ISO 17225-1)
Тріска з обрізок плодових дерев	17,9 [8]	н.д.	34	2,0	270	P45B (EN 14961-1)
	17,4	10,6	33	6,4	140	P63 (ISO 17225-1)
Крупна тріска з обрізок плодових дерев	17,9 [8]	н.д.	41,5	4,3	280	P100 (EN 14961-1)
				2,3	270	P125 (EN 14961-1)
Крупна тріска з обрізок виноградної лози	17,0	14,7	12	5,5	270	P31S (EN 15149)
	18,1	14,5	21	3,1	150	P45 (ISO 17225-1)
Крупна тріска з обрізок оливкових дерев	17,5	15,4	11	3,7	280	P45S (EN 15149)
	18,1	14,0	20	4,3	210	P31S (EN 15149)
Крупна тріска з БМ видалених плодових дерев	18,1	14,5	17	2,0	370	P31 (ISO 17225-1)
Брикети з деревної тирси* [6]	19,0	17,0...18,9	4,0...8,0	0,5...1,1	800...1200	діаметр 6 мм або 8 мм, довжина 3,15...40 мм (Enplus-A1)
Деревні гранули* [9]	19,0	16,5-19,0	≤10	≤0,7	≥600	діаметр 6 мм або 8 мм,
Деревна тріска* [9, 10]	19,0	10,4	40	0,6...1,5	250...300	10...30 мм**
Тріска з енергетичної верби* [9, 10]	18,5	н.д.	50...53	1,5...2,0	150...180	10...30 мм**

d.b. – по сухій масі; a.g. – по робочій масі; н.д. – немає даних.

* Дані для порівняння. ** Типові розміри.

щільністю 0,61...0,72 т/м³ (табл. 3). Проте це може бути і перевагою, оскільки «м'які» брикети можна використовувати не тільки в невеликих котлах з ручним завантаженням, але й в більш потужних котлах (до ~1 МВт) зі шнековою подачею.

Для забезпечення типовості показників проєкту прийнято, що потреба у біопаливі складає понад 2 тис. т/рік, що враховує визначену продуктивність брикетуючого обладнання – 500 кг/год. Для забезпечення лінії брикетування сировиною потрібно близько 3,5 тис. т/рік виноградної лози, яку доцільно заготовлювати з виноградарів, розташованих в радіусі 10-15 км від місця виробництва брикетів. Межі проєкту включають зберігання сировини на майданчику біля місця виробництва брикетів, безпо-

середньо виробництво брикетів та тимчасове зберігання готової продукції.

Загальна потреба проєкту брикетування виноградної лози в інвестиціях складає майже 5 млн грн, з яких найбільша частка (65%) припадає на закупівлю, встановлення і запуск обладнання (рис. 2). Значною складовою капітальних витрат також є підготовка виробничого приміщення (20%). Наведена структура витрат є орієнтовною, окремі складові можуть змінюватися в залежності від конкретних умов реалізації проєкту. Наприклад, витрати на виробниче приміщення можуть бути значно меншими, якщо не потрібні ремонтні роботи у вже існуючому приміщенні, або більшими, якщо це приміщення треба окремо будувати.

Табл. 2. Елементний склад і температура плавлення золи біопалив, отриманих з біомаси ОВБСН [7-12]

Вид біопалива	Вміст окремих елементів, % d.b.				Вміст хлору, % d.b.	Температура плавлення золи, °C
	C	H	N	S	Cl	
Тріска з обрізок плодових дерев	49...51	6,2...6,5	0,5...1,0	<0,01	0,01...0,02	>1000
Тріска з обрізок виноградної лози	48...49	6,0...6,1	0,74	0,05	0,02	1200
Гранули з обрізок виноградної лози	48,7	5,8	0,81	0,07	0,02	1380
Брикети з обрізок виноградної лози	49,0	5,9	0,85	0,05	0,05	1300
Деревні гранули*	50,0	6,0	<0,3	<0,04	<0,03	>1100
Деревна тріска*	50,0	6,0	0,3	0,05	0,02	1000...1400
Тріска з енергетичної верби*	50,3	6,0	0,4...1,0	0,03...0,3	0,02...0,03	>1500

d.b. – по сухій масі; н.д. – немає даних.

* Дані для порівняння.

Табл. 3. Паливні характеристики брикетів зрізних видів біомаси [6, 12]

Матеріал брикету	Зольність, %	Вологість, %	Нижча теплота згорання, МДж/кг	Щільність, т/м ³
Солома	4,0...8,0	6,0...10,0	15,4...15,7	0,70...0,90
Качани, стебла кукурудзи	3,0	7,5...8,0	14,1...15,9	0,75...0,92
Стебла соняшника	4,3	6,0...12,0	немає даних	0,85...0,89
Лушпиння соняшника	2,9...3,6	6,0...8,0	18,6...18,9	1,09...1,15
Лушпайка рису	12,0...20,0	5,0...12,0	13,2...13,8	1,00...1,10
Деревна тирса	0,5...1,1	4,0...8,0	17,0...18,9	1,15...1,25
Виноградна лоза	1,5...3,5	10,0...11,0	14,0...16,0	0,61...0,72
Очерет	4,0	немає даних	16,8	1,12
Міскантус	3,1...4,5	7,5...8,0	17,5...17,7	0,85

Питомі операційні витрати на виробництво брикетів, фасованих у мішки, складають 2416 грн/т готової продукції. Основними складовими є витрати на придбання сировини (37%) і оплату праці обслуговуючого персоналу (14%) (рис. 3). Ця структура також може змінюватися в залежності від конкретних умов впровадження проекту.

В техніко-економічному обґрунтуванні проекту прийнято, що фінансування проекту передбачає залучення кредитних коштів з їх поверненням протягом п'яти років. За зазначених умов отримано достатньо високі економічні показники проекту, що демонструють його інвестиційну привабливість: простий термін окупності 3,8 років, дисконтований термін окупності 5,0 років, внутрішня норма дохідності (IRR) 34%, індекс прибутковості (PI) 1,4.

Аналіз чутливості показує, що найбільший вплив на основні економічні показники проекту має ціна продажу брикетів. Так, наприклад, її збільшення на 15%

зменшує простий термін окупності з 3,80 до 2,45 років (рис. 4). Наступний важливий параметр, якому необхідно приділяти увагу, – це продуктивність лінії брикетування. Наприклад, зменшення обсягу виробництва брикетів на 15% призводить до наближення індексу прибутковості проекту до 1 ($PI = 1,1$).

Таким чином, результати виконаного ТЕО виробництва паливних брикетів з обрізок виноградної лози показують економічну доцільність та інвестиційну привабливість таких проектів для умов України. Подібні проекти рекомендуються до впровадження, в першу чергу, в регіонах України зі значними площами під виноградниками (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Закарпатська області), що забезпечує достатню сировинну базу. В інших регіонах можна впроваджувати лінії брикетування, комбінуючи винограду лозу з іншими видами місцевої біомаси (деревина, солома, стебла кукурудзи та ін.).

Рис. 2. Структура капітальних витрат проекту виробництва брикетів з обрізок виноградної лози, тис. грн.

Рис. 3. Структура операційних витрат на виробництво брикетів, грн/т брикетів (без ПДВ)

Рис. 4. Залежність простого терміну окупності від зміни вибраних параметрів

Висновки

Біомаса від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень є важливим додатковим джерелом деревної біомаси для енергетичного використання. Наразі цей сектор біоенергетики знаходиться на початку свого розвитку в ЄС і в Україні, але має добрі перспективи на майбутнє. Проведене техніко-економічне обґрунтування типового проекту виробництва паливних брикетів з виноградної лози продемонструвало економічну життєздатність проєктів такого типу. Подальші дослідження в даній сфері полягатимуть у виконанні ТЕО отримання твердого біопалива з біомаси від обрізки та видалення плодівих насаджень, а також проєктів виробництва теплової енергії з такого біопалива для умов України.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Проект EuroPruning* «Розробка та впровадження нового логістичного ланцюжка для біомаси від обрізки насаджень» 7-ї Рамкової програми ЄС <https://cordis.europa.eu/project/id/312078/reporting>
2. *Проект uP_running* «Стале використання деревної біомаси від обрізки і викорчування багаторічних сільськогосподарських насаджень» Програми ЄС Горизонт 2020 <http://www.up-running.eu/>
3. Гелету́ха Г.Г., Желе́зна Т.А., Драгнєв С.В., Баи́товий А.І. Перспективи використання біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень для виробництва енергії в Україні // *Промислова теплотехніка*. – 2018, т. 40, № 1, с. 68-74. <https://doi.org/10.31472/ihe.1.2018.10>

4. *Рослинництво України 2019*. Статистичний збірник Державної служби статистики України, 2020.

5. *Demonstration case studies analysis*. Report D3.3 uP_running, 2018

http://www.up-running.eu/wp-content/uploads/2016/10/uP_running_D3.3_Demonstrations_cases_study_analysis_submitted.pdf

6. Гелету́ха Г.Г., Желе́зна Т.А., Драгнєв С.В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України № 20, 2018.

<https://uabio.org/wp-content/uploads/2018/05/position-paper-uabio-20-ua.pdf>

7. Fernández M., Barro R., Cortés R. et al. Selected biofuels characterization results and quality assessment report. BIOMASUD PLUS project, 2018

http://biomasudplus.eu/wp-content/uploads/2018/05/Biomasud_Plus_Deliverable-3_2def-2.pdf

8. Cichy W., Witczak M., Walkowiak M. // Fuel properties of woody biomass from pruning operations in fruit orchards. – *BioResources*. – 12(3), p. 6458-6470. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/fuel-properties-of-woody-biomass-from-pruning-operations-in-fruit-orchards/>

9. Підготовка та впровадження проєктів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні». Практичний посібник / За ред. Г. Гелету́хи. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 104 с.

<https://rea.org.ua/wp-content/uploads/2020/08/rea-handbook-biomass-to-heatin-ukraine-2015.pdf>

10. Гелетуха 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>
11. Englisch M. Feasibility study for production of briquettes and pellet in Kosovo using agricultural waste. Institute of Bioenergy, 2018. <https://bit.ly/3dfeuZL>
12. Muzikant M. et al. Properties of heat briquettes produced from vine cane waste – case study republic of Moldova // Agricultura tropica et subtropica. – 2010, 43 (4), p. 277-284.
https://www.agriculturaita.czu.cz/pdf_files/vol_43_4_pdf/muzikant.pdf
13. Biomass from agricultural pruning and plantation removals. A feasible practice promoted by the uP_running project, 2018. https://www.up-running.eu/wp-content/uploads/2018/09/1st-Monograph_vDEF-2.pdf
14. Giorio Ch., Pizzini S., Marchiori E. et al. Sustainability of using vineyard pruning residues as an energy source: Combustion performances and environmental impact // Fuel. – 2019, v. 243, p. 371-380.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.128>
15. Ilari A., Toscano G., Pedretti E. Environmental Sustainability of Heating Systems Based on Pellets Produced in Mobile and Stationary Plants from Vineyard Pruning Residues // Resources. – 2020, 9 (8), p. 94-107.
<https://doi.org/10.3390/resources9080094>

FEASIBILITY STUDY OF PROJECTS FOR THE PRODUCTION OF SOLID BIOFUELS FROM BIOMASS OF AGRARIAN PLANTATIONS PRUNING AND REMOVAL

Drahniev S.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.2.2021.8>

The aim of the work is to carry out a feasibility study of projects for the production of solid biofuels from biomass of pruning of perennial agricultural plantations for further use in boilers. Currently, this bioenergy sector is at the beginning of its development in the EU and in Ukraine, however it has quite good prospects for the future. An assessment of the energy potential of biomass obtained from pruning and removal of orchards and vineyards in Ukraine is performed. According to data of 2019, this potential is estimated at 116.2 ktoe. Though this potential is only a minor part of the total energy potential of biomass in Ukraine (23.6 Mtoe in 2019), biomass of these types is an important local fuel for the regions of its generation and can significantly reduce their dependence on traditional energy carriers. Biomass of pruning and removal of agricultural plantations can be a feedstock for chips (more often for hog fuel) or for solid biofuels of higher quality such as pellets and briquettes. Fuel properties of such solid biofuels are slightly worse than those of biofuels from forest wood or energy crops, but still high enough for the effective use in energy equipment. The main features are higher ash content and, accordingly, lower calorific value. The feasibility study of a typical project for the production of briquettes from vineyard pruning demonstrated economic viability of such projects in Ukraine. Further research in this area will lie in the feasibility study of obtaining solid biofuels from biomass of pruning and removal of orchards, as well as projects for the production of heat from such biofuels for Ukraine's conditions.

References 15, table 3, figures 4.

Key words: biomass, biofuel, biomass potential, biomass briquettes, fuel properties, feasibility study.

1. *Proiekt EuroPruning* «Rozrobka ta vprovadzhennia novoho lohistychnoho lantsiuzhka dlia biomasy vid obrizky nasadzhen» 7-i Ramkovoï prohrany YeS [Development and implementation of a new, and non existent, logistics chain for biomass from pruning (EuroPruning project). Seventh EU Framework Programme] <https://cordis.europa.eu/project/id/312078/reporting>

2. *Proiekt uP_running* «Stale vykorystannia derevnoi biomasy vid obrizky i vykorchovuvannia bahatorichnykh silskohospodarskykh nasadzhen» Prohrany YeS Horyzont 2020 [Take-off for sustainable supply of woody biomass from agrarian pruning and plantation removal (uP_running project). Horizon 2020 EU Programme] <http://www.up-running.eu/>

3. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahniev S.V., Bashtovyi A.I.* Perspektyvy vykorystannia biomasy vid obrizky ta vydalennia bahatorichnykh silskohospodarskykh nasadzhen dlia vyrobnytstva enerhii v Ukraini [Prospects for using biomass from agrarian pruning and plantation removal in Ukraine], *Promyslova teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering]. – 2018, V. 40, № 1, P. 68-74. (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/ihe.1.2018.10>

4. *Roslynnnytstvo Ukrainy* 2019. Statystychnyi zbirnyk Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy [Crop production of Ukraine 2019. Statistical yearbook. State Statistics Service of Ukraine], 2020. (Ukr.)

5. *Demonstration case studies analysis*. Report D3.3 uP_running, 2018

http://www.up-running.eu/wp-content/uploads/2016/10/uP_running_D3.3_Demonstrations_cases_study_analysis_submitted.pdf

6. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahniev S.V.* Analiz mozhlyvosti vyrobnytstva ta vykorystannia bryketiv z ahrobiomasy v Ukraini. Analychna zapyska Bioenerhetychnoi asotsiatsii Ukrainy №20 [Analysis of possibilities for the production and use of agribiomass briquettes in Ukraine. Position Paper No. 20 by the Bioenergy Association of Ukraine]

<http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-en.pdf>

7. *Fernández M., Barro R., Cortés R.* et al. Selected biofuels characterization results and quality assessment report. BIOMASUD PLUS project, 2018

http://biomasudplus.eu/wp-content/uploads/2018/05/Biomasud_Plus_Deliverable-3_2def-2.pdf

8. *Cichy W., Witczak M., Walkowiak M.* // Fuel properties of woody biomass from pruning operations in fruit orchards. – *BioResources*. – 12(3), p. 6458-6470. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/fuel-properties-of-woody-biomass-from-pruning-operations-in-fruit-orchards/>

9. *Pidhotovka ta vprovadzhennia proektiv zamishchennia pryrodnoho hazu biomasoiu pry vyrobnytstvi teplovoi enerhii v Ukraini* [Preparation and implementation of projects of natural gas substitution by biomass for the production of heat energy in Ukraine]. Practical guide/ Edited by G. Geletukha – K.: "Poligraph Plus", 2016. – 104 p. (Ukr.)

<https://rea.org.ua/wp-content/uploads/2020/08/rea-handbook-biomass-to-heatin-ukraine-2015.pdf>

10. Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Tryboi O.V. 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, 37(5), 58-67. (Ukr.)
<https://doi.org/10.31472/ihe.5.2015.07>
11. Englisch M. Feasibility study for production of briquettes and pellet in Kosovo using agricultural waste. Institute of Bioenergy, 2018. <https://bit.ly/3dfeuZL>
12. Muzikant M. et al. Properties of heat briquettes produced from vine cane waste – case study republic of Moldova // Agricultura tropica et subtropica. – 2010, 43 (4), p. 277-284.
https://www.agriculturaitz.czu.cz/pdf_files/vol_43_4_pdf/muzikant.pdf
13. Biomass from agricultural pruning and plantation removals. A feasible practice promoted by the uP_running project, 2018. https://www.up-running.eu/wp-content/uploads/2018/09/1st-Monograph_vDEF-2.pdf
14. Giorio Ch., Pizzini S., Marchiori E. et al. Sustainability of using vineyard pruning residues as an energy source: Combustion performances and environmental impact // Fuel. – 2019, v. 243, p. 371-380.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.128>
15. Ilari A., Toscano G., Pedretti E. Environmental Sustainability of Heating Systems Based on Pellets Produced in Mobile and Stationary Plants from Vineyard Pruning Residues // Resources. – 2020, 9 (8), p. 94-107.
<https://doi.org/10.3390/resources9080094>

Отримано 11.05.2021

Received 11.05.2021