

УДК 332.12(1-22):502.117:620.95

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАСТОСУВАННЯ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА В СІЛЬСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ

В. М. Поліщук¹, Д. А. Дерев'янка², Є. О. Дворник¹

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

²Поліський національний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 162 – біотехнології та біоінженерія.

Кореспонденція авторів: polischuk.v.m@gmail.com; derevyanko.dmutro@gmail.com; dvornyk evgen@gmail.com

Історія статті: отримано – листопад 2020, акцептовано – грудень 2020.

Бібл. 17, рис. 1, табл. 4.

Анотація. В сільському господарстві України продукція рослинництва становить понад 79%, із яких більше половини припадає на зернові, зернобобові і технічні культури. Значна кількість побічної продукції приорується для використання в якості органічних добрив, певна кількість спалюється на полях, що приносить шкоду довкіллю та знижує родючість ґрунтів, і лише 2-3% використовується для енергетичних потреб. Разом із тим, використання побічної продукції рослинництва в якості органічних добрив передбачає внесення в ґрунт азотних мінеральних добрив, оскільки в процесі біодеградації рослинних залишків із ґрунту відбирається значна кількість азоту. Крім того, рослинні залишки для пришвидшення їх біодеградації не рекомендується глибоко заорювати. Однак від 30% (соломи) до 40% (стебел кукурудзи) цих рослинних залишків без шкоди родючості ґрунту можна використовувати в якості біопалива, яке однак, на відміну від деревини, має більшу зольність, та підвищений вміст хлору і лужних металів, який можна суттєво знизити внаслідок тривалого зберігання соломи під відкритим небом. Крім того, солома має низьку температуру плавлення, внаслідок чого її рекомендується спалювати лише в без колосникових топках. Однак не зважаючи на вказані недоліки, внаслідок використання побічної продукції рослинництва в якості палива можна отримати прибуток від продажу населенню теплової енергії, вироблених паливних гранул чи брикетів, а також економії від заміни природного газу на біопаливо при опалюванні виробничих, адміністративних і культурно-побутових споруд. Для господарства з площею ріллі приблизно 2000 га, із яких половина зайнята під зернові культури, економія коштів і прибуток може становити майже 7,5 млн. грн./рік.

Ключові слова: солома, стебла кукурудзи, тверде біопаливо, паливні гранули і брикети, котел, спалювання, економічна ефективність, собівартість.

Постановка проблеми

Виробництво сільськогосподарської продукції зосереджене в фермерських та селянських господарствах, а також у великих агрохолдингах. В 2019 р. від всієї продукції сільського господарства продукція рослинництва займала 79,1%, із яких зернобобові і зернові культури – 35,2%, технічні – 28,6%, картопля баштанні і овочеві культури – 11,4%, виноград, плодові та ягідні культури – 1,1%, кормові культури – 1,3% [1, с. 281]. Після вирощування зернових і зернобобових культур залишається солома. До 20-25% від загальної кількості отриманої соломи використовуються на потреби тваринництва. Майже 70-75% соломи подрібнюється і розкидається на полі під час збирання урожаю, причому половина від цього обсягу просто спалюється на полях, щоб уникнути витрат, пов'язаних із її приоруванням та неможливістю внесення азотних добрив після жнив, 5% соломи використовується на інші потреби, з них лише близько 2-3% відводиться на енергетичні потреби – виробництво гранульованого біопалива і пряме спалювання для теплогенерації [2]. Разом із тим, в Україні щорічно в побутовому секторі (головним чином, для опалення) використовується природного газу 8830 тис. т н.е. (33% від власного видобутку і імпорту) [1, с. 241-242]. Частина цього природного газу в сільській місцевості можна замінити на більш дешеве паливо, що виробляється із сільськогосподарських відходів: соломи, стовбурів кукурудзи, соняшника тощо, а також із спеціально вирощуваних на малородючих землях високорослих багаторічних трав.

Аналіз останніх досліджень

В роботах [3, 4] стверджується, що енергетичний потенціал біомаси в Україні, доступний для використання в енергетичних цілях, в 2017 р. становив майже 21 млн. т н.е., із яких на соломі зернових культур і ріпаку припадало 4,2 млн. т н.е.

(30% від теоретичного потенціалу), побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні) – 2,45 млн. т н.е., побічні продукти виробництва соняшника (стебла, корзинки) – 1,33 млн. т н.е. (40% від теоретичного потенціалу), енергетичні культури: верба, тополя, міскантус – 4,9 млн. т н.е. Натомість, частка їх використання від загального потенціалу незначна і становить: солома на спалювання і виробництво паливних гранул – 3,0%, стебла, стрижні кукурудзи – 0,1%, стебла, кошики соняшника – взагалі не використовуються. Енергетичні культури в Україні у 2015 році, як зазначається в роботі [5], вирощувались лише на 4190 га земель, з яких плантації міскантуса займали площі лише у 500 га. Натомість, сумарна площа плантацій енергетичних культур у країнах ЄС у 2017 році склала 50764 га. В роботі [6] проаналізовані паливні характеристики стебел кукурудзи українського походження. Встановлено, що побічна продукція кукурудзи є більш складним паливом у порівнянні з деревиною завдяки високому вмісту золи та, у деяких випадках, хлору. Проте концентрація хлору значно нижча, ніж середнє значення для агробіомаси і близька до величин характерних для деревної тріски (сосна). Порівняно низький вміст хлору відіграє важливу роль у запобіганні корозії сталевих елементів. Температура плавлення золи близька до значень, характерних для деревини. Висока температура плавлення золи дає можливість використовувати традиційні дров'яні котли для спалювання побічної продукції кукурудзи. В роботі [7] вказується, що важливим аспектом збільшення обсягів енергетичного використання побічної продукції кукурудзи на зерно є її кращі паливні характеристики порівняно із соломою зернових колосових культур. Зокрема, за показниками плавкості золи, кукурудзяна солома наближається до деревної біомаси. За даними 2014 р., обсяги побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні склали 37 млн. т. Враховуючи, що для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу необхідно залишити і використати як органічні добрива 6.1 т/га кукурудзи на зерно, що утворюється при врожайності зерна кукурудзи 47 ц/га, 24% побічної продукції могло бути відчужено на енергетичні потреби у 2014 р. Це складає 8.9 млн. т біомаси, що може замінити 3,45 млрд. м³ природного газу.

В роботі [8] описані способи використання соломи в Україні. Зібрана солома зернових культур використовується для різних цілей: на потреби тваринництва (підстилка і грубий корм для худоби), як органічне добриво, для вирощування грибів в закритому ґрунті, а також на енергетичні потреби (спалювання в котлах, виробництво гранул і брикетів). Невикористаний залишок, який в цілому по країні є досить великий, часто спалюється на полях, що є офіційно забороненим в Україні і шкідливим для навколишнього середовища і ґрунту. Солома як органічне добриво застосовується для утворення гумусу в верхньому шарі ґрунту. Підтримка належного балансу гумусу сприяє біологічній активізації ґрунту, а також його протиерозійної захисту. Для того, щоб солома стала по-справжньому цінним органічним добривом, а не наповнювачем,

який заважає обробці ґрунту, вона повинна якомога швидше розкладатися. Солома швидше розкладається при хорошому доступі повітря в ґрунт (в аеробних умовах). Глибоке заорювання соломи викликає несприятливий ефект, так як при її розкладанні в нижніх шарах орного горизонту утворюються летючі жирні кислоти, які негативно впливають на кореневу систему рослин. При внесенні в верхню третину орного шару солома розкладається швидше і накопичення шкідливих речовин не спостерігається. Через бідність соломи азотом (C:N=60...100) вона забирає 40...50 кг/га ґрунтового азоту на власну мінералізацію до досягнення співвідношення C:N=20. Тому в перший період свого росту і розвитку рослини відчують нестачу азоту, якщо в ґрунт разом з соломою не вносять азот мінеральних добрив. Відразу після збирання врожаю зернових вологість соломи становить 15...20% (теплота згоряння $Q=12...15$ МДж/кг). Подальше перебування соломи на полі призводить не тільки до зниження її вологості до 14...17% ($Q=14...15$ МДж/кг), а й сприяє вимиванню хлору і калію, що підвищує якість соломи як палива. Для спалювання в котлах застосовують солому з вологістю до 20%, при виробництві гранул вологість соломи не повинна перевищувати 12...14%. На сьогодні в Україні є певний досвід застосування соломи для виробництва енергії та біопалива. У сільській місцевості експлуатуються близько 100 котлів/теплогенераторів на тюках соломи. Також розвивається виробництво паливних гранул і брикетів із соломи. Разом із тим, як зазначено в [9], солома має ряд негативних властивостей, що вимагає досить ретельного підходу до її практичного використання. Так, вона може містити хлор і лужні метали, через що в процесі її спалювання утворюються такі хімічні сполуки як хлорид натрію і хлорид калію. Ці сполуки викликають корозію сталевих елементів енергетичного обладнання, особливо при високих температурах. Іншою особливістю соломи як палива є відносно низька температура плавлення золи – 900...1000°C (для порівняння – у деревини – 1200°C), що може привести до шлакування елементів енергетичного обладнання. На сьогодні в світі вже знайдені конструктивні і інші технологічні рішення, які мінімізують ці негативні впливи і дозволяють успішно використовувати солому як паливо. Прикладами таких рішень є спільне спалювання з вугіллям, деревиною та іншими паливами або ж використання не "жовтої" (свіжої) соломи, а «сірої», тобто з тривалим терміном зберігання під відкритим небом. В результаті промивання дощами в «сірій» соломі міститься значно менше хлору і калію в порівнянні з «жовтою» соломою.

В роботі [10] стверджується, що вирощування енергетичних культур на малопродуктивних землях – економічно обґрунтований напрямок агропромисловості із строком окупності до 7 років. Із зібраного врожаю біомаси можливо отримати біопалива, що відповідають критеріям сталості відповідно до законодавства ЄС, у тому числі біопалива другого покоління. Для закладання енергетичних плантацій та догляду за ними переважно використовується широко поширена

стандартна сільськогосподарська техніка, яка є у більшості агровиробників, та представлені на вітчизняному ринку засоби захисту рослин. Наявність вільних земель, непридатних для традиційного рослинництва, та сприятливих для енергетичних культур умов створює можливості для запровадження місцевих сталих біоенергетичних ланцюгів.

Мета досліджень

Мета дослідження – встановлення економічної ефективності виробництва і використання твердого біопалива в модельному господарстві молочно-зернового напрямку із площею ріллі 2000 га.

Результати досліджень

Економічна ефективність використання побічної продукції вирощування зернових і зернобобових культур у сільській місцевості визначалась на прикладі господарства молочно-зернового напрямку з площею ріллі приблизно 2000 га, із яких 960 га зайняті під кормові культури, в. т.ч. 370 га – під кукурудзою на зерно, 12 га – під ріпаком, 370 га – під картоплею, 500 га – під зерновими, технічними і овочевими культурами, в. т.ч. 450 га – під пшеницею.

Відношення стеблової маси кукурудзи до зерна становить 1,3 [11, с. 16] при вологості стеблової маси 45-60% [11, с. 20]. При врожайності зерна кукурудзи 70 ц/га [12, с. 45] отримується $70 \cdot 1,3 = 91$ ц/га стеблової маси вологістю 45-60%. Зерно кукурудзи на корм вирощується на $220 + 150 = 370$ га, з яких отримується $370 \cdot 91 = 33670$ ц, або 3367 т стеблової маси.

Відношення соломи пшениці до зерна становить 1,1 [13]. Площа під зерновими і технічними культурами, із яких можна отримати солому – приблизно 450 га. При врожайності зерна пшениці 40 ц/га можна отримати $40 \cdot 1,1 \cdot 450 = 19800$ ц, або 1980 т соломи.

Всього отримується стеблової маси кукурудзи і соломи зернових $3367 + 1980 = 5347$ т, із яких 71%, або $5347 \cdot 71 / 100 = 3800$ т йде на добриво, 29%, або $5347 \cdot 29 / 100 = 1550$ т – на паливо.

За методикою [14] визначені потреби в теплозабезпеченні об'єктів житлового, культурно-побутового і виробничого призначення, розташованих на території населеного пункту, де розміщене господарство: житлових багатоквартирних будинків (3 шт. будівельним об'ємом $12\,000\text{ м}^3$, 2 шт. – $20\,000\text{ м}^3$), житлових індивідуальних будинків (30 шт. будівельним об'ємом 200 м^3 , 115 шт. – 300 м^3 , 90 шт. – 400 м^3), споруд адміністративного та культурно-побутового призначення (контора, клуб, магазини, дитсадок, школа, поліклініка, лікарня, баня, столова, кафе, сільрада) загальним будівельним об'ємом 26100 м^3 , виробничих споруд (гараж, електро- та кормоцех, майстерні, заводи з виробництва біодизеля, переробки молока, виробництва крохмалю) загальним будівельним об'ємом 5200 м^3 . Також встановлені витрати палива для їх забезпечення (природний газ з теплою згорання $31,8\text{ МДж/м}^3$ [15] та туюкована чи рулонована солома вологістю 15% з теплою згорання $14,4\text{ МДж/кг}$ [16, с. 62]) та затрати на закупівлю чи виробництво цього палива. Вартість природного газу для населення згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 867 від 19.10.2018 р. становить $8,54892\text{ грн./м}^3$ з ПДВ, для промислових споживачів – $12,18\text{ грн./м}^3$ з ПДВ. Розрахована нами вартість заготівлі туюкованої чи рулонованої соломи з використанням дизельного біопалива В5 становить $103,4\text{ грн./ц}$.

Потреба в тепловій енергії та паливі та витрати на паливо для опалення та гарячого водопостачання об'єктів житлового, культурно-побутового і виробничого призначення, розташованих на території населеного пункту, де розміщене господарство наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Потреба в тепловій енергії та паливі та витрати на паливо для опалення та гарячого водопостачання об'єктів житлового, культурно-побутового і виробничого призначення, розташованих на території населеного пункту, де розміщене господарство.

Table 1. The need for thermal energy and fuel and fuel costs for heating and hot water supply of residential, cultural, household and industrial facilities located in the settlement where the farm is located.

Види споруд	Потреба в тепловій енергії, МДж	Потреба в паливі		Витрати на паливо, грн.	
		природному газі, м^3	соломі, кг	природний газ	солому
Адміністративні, виробничі та культурно-побутові споруди	10 175 668	319 990	838 864	3 897 473	867 385
Багатоквартирні житлові будинки	20 663 075	649 782	1 503 256	5 581 629	1 554 366
Індивідуальні житлові будинки	46 170 688	1 451 908	3 619 804	12 471 893	3 742 877
Всього	77 009 431	2 421 680	5 961 924	21 950 995	6 164 628

Нами встановлено, що для задоволення потреб в паливі можна використати лише 1550 т соломи, якої вистачить для річного опалювання і гарячого водопостачання адміністративних, виробничих та культурно-побутових споруд. При цьому залишиться

ще $1550000 - 838864 = 711\,136$ кг соломи, якої вистачить для теплозабезпечення $711136 \cdot 100 / 1503256 = 47\%$ потреб в теплозабезпеченні багатоквартирних житлових будинків.

Матеріальний баланс і економічна ефективність

опалювання соломою адміністративних, виробничих та культурно-побутових споруд. Для теплозабезпечення адміністративних, виробничих та культурно-побутових споруд потрібно 10175668 МДж/рік або $10175668/(365 \cdot 86400) = 0,323 \text{ МДж/с}$ (МВт) потужності, багатоквартирних житлових будинків – 20663075 МДж/рік , або $20663075/(365 \cdot 86400) = 0,655 \text{ МДж/с}$ (МВт) потужності. Тобто для обігрівання протягом року адміністративних, виробничих, культурно-побутових споруд та багатоквартирних житлових будинків потрібен котел потужністю $0,323 + 0,655 = 0,978 \text{ МВт}$, або 978 кВт . Соломоспалювальний водогрійний котел КПС потужністю 1 МВт можна придбати за

ціною $1\,602\,000 \text{ грн}$. Собівартість теплової енергії на такому котлі при спалюванні 839 т соломи становить $1\,114\,507 \text{ грн.}$, тоді як собівартість отримання теплової енергії при спалюванні природного газу навіть без врахування вартості газового котла (вважаємо, що в господарстві вже функціонує газова котельня) – $3\,961\,182 \text{ грн}$. Економія коштів становить $3961182 - 1114507 = 2846675 \text{ грн}$.

Структура собівартості отримання теплової енергії для опалювання адміністративних, виробничих та культурно-побутових споруд наведена в табл. 2.

Таблиця 2. Структура собівартості отримання теплової енергії для опалювання адміністративних, виробничих та культурно-побутових споруд.

Table 2. The cost structure of obtaining thermal energy for heating administrative, industrial and cultural facilities.

Показник	Паливо	
	Солома	Природний газ
Вартість котла, грн..	1 602 000	–
Загальні капіталовкладення з врахування транспортування та монтажу обладнання, грн.	2 026 530	–
Затрати на амортизацію і ремонт, грн.	145 910	–
Затрати на оплату праці, грн.	51 840	64 800
Затрати на паливо, грн.	867 319	3 896 382
Собівартість теплової енергії, грн.	1 065 276	3 961 182
Річна економія коштів, грн.	2 895 906	–

Заготовленої соломи не вистачить на опалення всіх багатоквартирних житлових будинків, а тим більше на опалення індивідуальних житлових будинків. Не вистачає $5962 - 1550 = 4412 \text{ т}$ соломи, для заміни якої в господарстві доцільно вирощувати міскантус.

Матеріальний баланс і економічна ефективність опалювання соломою і брикетами з міскантуса багатоквартирних житлових будинків. Міскантус – високоросла багаторічна рослина, яка здатна давати врожай біомаси до 50 ц/га . Найбільші затрати при вирощуванні міскантуса припадають на перший рік вирощування, коли потрібно закуповувати ризоми для посадки, обробляти посадки гербіцидами для боротьби з бур'янами (здійснюється також на другий рік культивування). На третій рік вирощування і до ліквідації плантації догляд за нею полягає в підживленні (70 кг/га азоту) і збиранні врожаю. В перший рік вирощування врожайність біомаси невелика (близько чверті від максимальної), на другий рік досягає $\frac{3}{4}$ від максимальної, після цього протягом 7-8 років спостерігається максимальна врожайність, яка з часом поступово знижується. Збирати врожай можна на протязі близько 20 років, поки плантація повністю не виснажиться, після чого вона ліквідується [17, с. 101-113].

В наших розрахунках собівартості вирощування міскантуса плантація експлуатувалась протягом 20 років, причому в перший рік здійснювалась посадка ризом, на другий рік врожайність біомаси становила 16 ц/га , на третій – 34 ц/га , на 4-10 роки – 50 ц/га , 11 рік – 48 ц/га , 12 рік – 46 ц/га , 13 рік – 44 ц/га , 14 рік – 42 ц/га , 15 рік – 40 ц/га , 16 рік – 38 ц/га , 17 рік – 36

ц/га , 18 рік – 34 ц/га , 19 рік – 32 ц/га , 20 рік – 30 ц/га . Всього протягом 19 років збирання врожаю при розрахунку із 100 га зібрано 79000 т міскантуса, або в середньому щорічно $79000/19 = 4158 \text{ т}$. Підживлення здійснювалось аміачною селітрою з нормою внесення $0,203 \text{ т/га}$, обробка гербіцидами – в перші два роки.

Затрати за 20 років вирощування становили 21169462 грн. , собівартість вирощування – $21169462/4158 = 268 \text{ грн./т}$.

Для отримання 4412 т біомаси потрібно мати $4412 \cdot 100/4289 = 103 \text{ га}$ посівів міскантуса.

Міскантус збирається навесні, коли його вологість становить $20-25\%$ [17, с. 109], кормозбиральним комбайном з подрібненням біомаси, яка перевозиться на склад, біля якого встановлюється лінія гранулювання чи брикетування, продуктивність якої при 250 робочий днів в році в 8 годинному робочому дні становить $4171/(250 \cdot 8) \approx 2 \text{ т/год}$.

Лінія гранулювання (брикетування) складається із дробарки попереднього дроблення, системи транспортерів, силосу для накопичення подрібненої сировини, сушарки, трьох грануляторів (брикетувальників) продуктивністю 1 т/год. , просіювача, охолоджувача, пакувальної машини. В якості грануляторів можна використовувати два здвоєні гранулятори конструкції ППІ "Малинська меблева фабрика" продуктивністю по $500 + 500 = 1000 \text{ кг/год}$. Опис складових лінії наведений в [17, с. 202-206]. Загальна потужність обладнання лінії гранулювання становить близько 210 кВт .

Економічна ефективність виробництва паливних гранул (брикетів) із міскантуса наведена в табл. 3.

Таблиця 3. Економічна ефективність виробництва паливних гранул (брикетів) із міскантуса.**Table 3.** Economic efficiency of production of fuel pellets (briquettes) from miscanthus.

Показник	Значення
Загальні капіталовкладення, грн.	9262330
Затрати на амортизацію, грн.	1852466
Затрати на ремонт, грн.	463117
Затрати на електроенергію, грн.	1891461
Затрати на оплату праці, грн.	288000
Затрати на сировину, грн.	1 092 802
Собівартість, грн.	5 587 845
грн./т	1340
Продажна ціна, грн.	1800
Прибуток, грн./рік	2899956
Термін окупності інвестицій, років	3,19

Для опалювання багатоквартирних житлових будинків в господарстві щороку потрібно 1 503 256 кг соломи чи міскантуса, із яких використовується 952136 кг соломи (47% від потреби). Для забезпечення решти 53% потрібно $1503256 \cdot 53/100 = 796726$ кг паливних брикетів із

міскантуса.

Структура собівартості отримання теплової енергії для опалювання багатоквартирних житлових будинків, розміщених на території господарства, наведена в табл. 4.

Таблиця 4. Структура собівартості отримання теплової енергії для опалювання багатоквартирних житлових будинків.**Table 4.** The cost structure of obtaining thermal energy for heating apartment buildings.

Показник	Паливо	
	Солома, брикети із міскантуса	Природний газ
Вартість котла, грн..	1 602 000	—
Загальні капіталовкладення з врахування транспортування та монтажу обладнання, грн.	2 026 530	—
Затрати на амортизацію і ремонт, грн.	259396	—
Затрати на оплату праці, грн.	92 160	92 160
Затрати на паливо, грн.	1 729 408	3 499 609
Собівартість теплової енергії, грн.	2 080 964	3 591 769
грн./Гкал	421,38	1154,45
Вартість теплової енергії в Україні, грн./Гкал	1 318	1 318
Відпускна ціна теплової енергії для населення, грн./Гкал	1 000	1 000
Прибуток	2 857 511	-480 529
Річна економія коштів для населення, грн.	1 568 114	—

При опалюванні адміністративних, виробничих та культурно-побутових споруд котлом на соломі річна економія коштів становить 2 895 906 грн., прибуток від опалювання багатоквартирних житлових будинків соломой і брикетами міскантуса – 2 857 511 грн. Термін окупності котла становитиме $2026530/(2895906+2857511)=0,35$ років.

Матеріальний баланс і економічна ефективність виробництва і реалізації населенню брикетів (гранул) із міскантуса для опалювання індивідуальних житлових будинків. Для опалення індивідуальних житлових будинків населеного пункту господарства потрібно 3 619 804 кг брикетів (гранул) із соломи чи міскантуса або 1 451 908 м³ природного газу. Собівартість брикетів із міскантуса становить 1340 грн./т, тоді як мінімальна ціна таких брикетів на ринку – 2100 грн./т. У випадку продажу господарством населенню брикетів за дещо меншою ціною, порівняно із ринковою, наприклад – 1800 грн./т, прибуток господарства становитиме $(1800-1340) \cdot 3620 = 1 665 200$ грн./рік. При цьому річна

економія коштів населення при відмові від опалювання природним газом і переходу на опалювання брикетами із міскантуса, виробленими в господарстві, при ціні природного газу 12,18 грн./м³ становитиме $(1451908 \cdot 12,18) - (3620 \cdot 1800) = 11 168 239$ грн., а річна економія порівняно із використанням купованих брикетів – $(2100-1800) \cdot 3620 = 1 086 000$ грн.

Схема виробництва і використання твердого біопалива в модельному господарстві і в сільській місцевості наведена на рис. 1.

Отже, прибуток господарства від продажу теплової енергії, гранул чи брикетів населенню, економії природного газу при опалюванні адміністративних, виробничих та культурно-побутових споруд буде становити $1665200 + 2857511 + 2895906 = 7 418 617$ грн./рік.

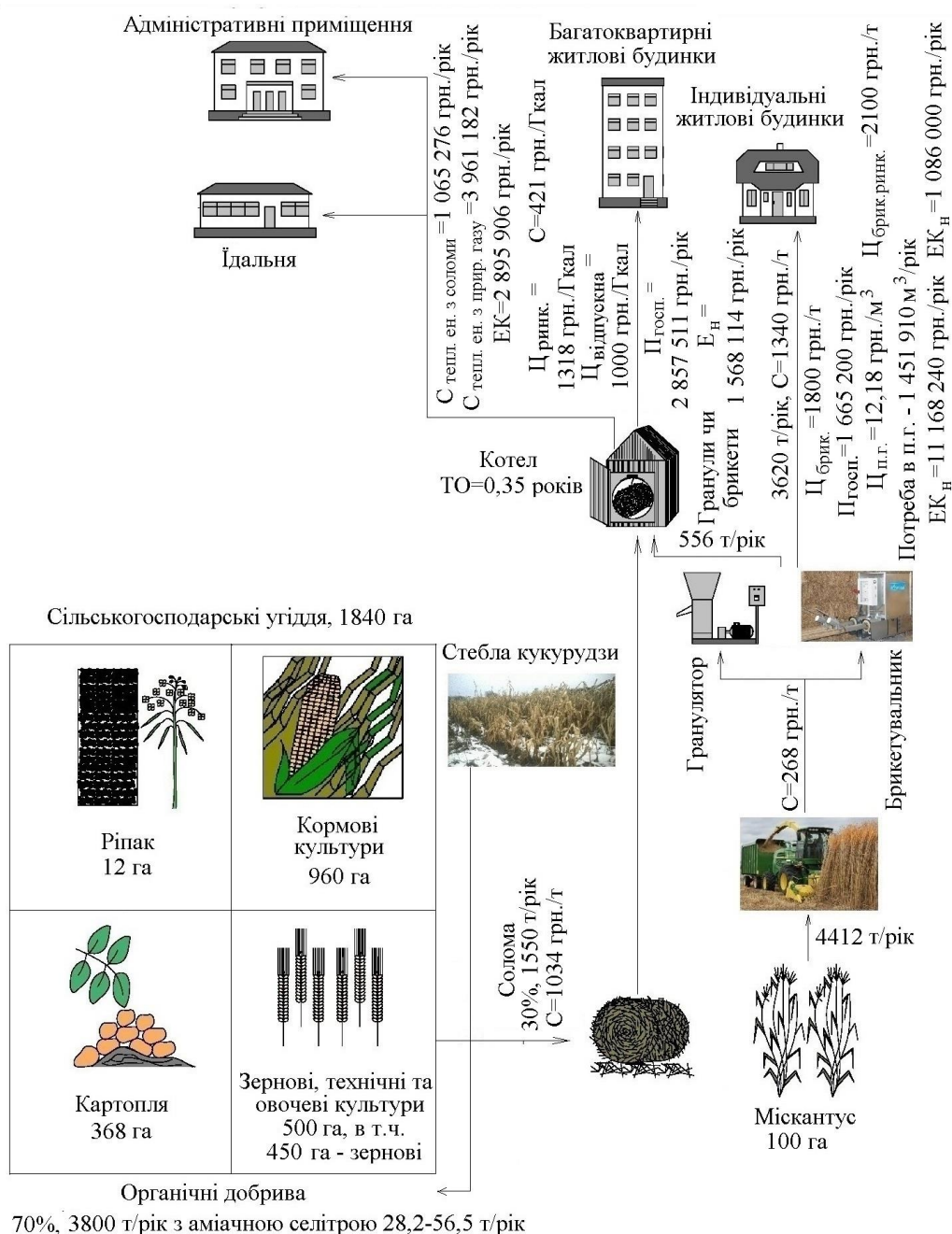


Рис. 1. Схема виробництва і використання твердого біопалива в модельному господарстві і в сільській місцевості.

Fig. 1. Scheme of production and use of solid biofuels in model economy and in rural areas.

Висновки

1. В сільськогосподарських підприємствах після збирання врожаю зернових культур залишається побічна продукція, 30-40% якої можна використовувати для отримання теплової енергії і виробництва паливних гранул, що в господарстві з площею ріллі приблизно 2000 га (із яких половина зайнята під зернові культури) дозволить отримати прибуток від продажу теплової енергії, вироблених паливних гранул чи брикетів населенню, а також економії від заміни природного газу на біопаливо при опалюванні виробничих, адміністративних і культурних споруд, в розмірі майже 7,5 млн. грн./рік.

Список літератури

1. Статистичний щорічник України 2019. Київ: Державна служба статистики України, 2020. 464 с.
2. Ярош С. Я. Солома як альтернативний ресурс української енергетики. Ефективна економіка. 2016. № 1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4743> (дата звернення 22.09.2020).
3. Железна Т. А., Драгнев С. В., Баитовий А. І. Можливості заготівлі агробіомаси та виробництва біопалив з неї комунальними підприємствами в Україні. Теплофізика та теплоенергетика. 2019, Т. 41. № 2. С. 88-96.
4. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні.

Промислова теплотехніка. 2017. Т. 39. № 2. С. 60-64.

5. *Трибой О. В.* Оцінка життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски *Miscanthus giganteus* в Україні. Біоенергетика. 2018. №2 (12). С. 22-27.

6. *Romaniuk W., Polishchuk V., Marczuk A., Titova L., Rogovskii I., Borek K.* Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering*. Krakow. Poland. 2018. Vol. 22. №1. P. 105-125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.

7. *Драгнев С. В., Железна Т. А., Гелетука Г. Г.* Можливості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання в Україні. Частина 1. Біоенергетика. 2016. № 1 (7). С. 18-22.

8. *Гелетука Г. Г., Железная Т. А., Трибой А. В.* Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине. Часть 1. Промышленная теплотехника. 2014. Т. 36. № 4. С. 36-42.

9. *Rogovskii I. L., Polishchuk V. M., Titova L. L., Sivak I. M., Vyhovskiy A. Yu., Drahnev S. V., Voinash S. A.* Study of biogas during fermentation of cattle manure using a stimulating additive in form of vegetable oil sediment. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020. Vol. 15. Issue 22 (20th November). P. 2652-2663.

10. *Трибой О. В., Драгнев С. В.* Як використати малопродуктивні землі для вирощування сталої біосировини для енергетики? Екологія підприємства. 2018. № 7 (72). С. 55-63.

11. *Драгнев С. В., Железна Т. А., Гелетука Г. Г.* Можливості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання в Україні. Аналітична записка БАУ. Київ. БАУ. 2016. № 16. 52 с.

12. Типовые технологические карты выращивания сельскохозяйственных культур в хозяйствах Киевской области. Киев. Облполиграфиздат. 1986. 222 с.

13. *Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Бирюкова О. М., Кирдун Т. М., Белявская Ю. А., Торчило М. М.* Коэффициенты пересчета зерна и семян в побочную продукцию и содержание основных элементов питания в побочной продукции сельскохозяйственных культур в республике Беларусь. Почвоведение и агрохимия. 2016. № 2 (57). С. 78-89.

14. *Поліщук В. М., Дубровін В. О., Драгнев С. В., Лободко М. М., Сидорчук О. В., Поліщук О. В.* Процеси та апарати біотехнологічних виробництв. Ч. 6. Визначення потреб в біопаливі для опалення, гарячого водопостачання та приготування їжі. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін "Процеси та апарати біотехнологічних виробництв" для студентів сільськогосподарських вищих навчальних закладів 3-4 рівнів акредитації освітньо-кваліфікаційного рівня „Магістр” зі спеціальності 8.10010203 “Механізація сільського господарства”. Київ. АграрМедіаГруп, 2014. 94 с.

15. ГОСТ 5542-87. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. Действителен от 01.01.1988. М.: Изд-во стандартов, 2009. 20 с.

16. Підготовка та впровадження проєктів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні: практичний посібник. За ред. Г. Гелетуки. Київ. Поліграф плюс. 2015. 72 с.

17. *Поліщук В. М., Войтюк В. Д.* Процеси, машини та обладнання виробництва твердих і рідких біопалив: монографія. Київ. НУБіП України. 2018. 588 с.

References

1. Statistical Yearbook of Ukraine 2019. (2020). Kyiv, Ukraine: State Statistics Service of Ukraine. 464.

2. *Yarosh S. Ya.* (2016). Straw as an alternative resource for Ukrainian energy. *Effective economy*. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4743> (access date: 05.01.2021).

3. *Zheluzna T. A., Dragnev S. V., Bashtoviy A. I.* (2019). Possibilities for procurement of agricultural production and production of biofuel from some communal enterprises in Ukraine. *Thermal physics and thermal energy*. 41(2). 88-96.

4. *Geletukha G. G., Zheluzna T. A.* (2017). Status and prospects of bioenergy development in Ukraine. *Industrial heat engineering*. 39(2). 60-64.

5. *Triboy O. V.* (2018). Life cycle assessment of thermal energy production from *Miscanthus giganteus* cod in Ukraine. *Bioenergy*. 2(12). 22-27.

6. *Romaniuk W., Polishchuk V., Marczuk A., Titova L., Rogovskii I., Borek K.* (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering*. Krakow. Poland. 22(1). 105-125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.

7. *Dragnev S. V., Zhelezna T. A., Geletukha G. G.* (2016). Possibilities of harvesting corn by-products for grain for energy use in Ukraine. Part 1. *Bioenergy*. 1(7). 18-22.

8. *Geletukha G. G., Zheleznaya T. A., Triboy A. V.* (2014). Prospects for the use of agricultural waste for energy production in Ukraine. Part 1. *Industrial heat engineering*. 36(4). 36-42.

9. *Rogovskii I. L., Polishchuk V. M., Titova L. L., Sivak I. M., Vyhovskiy A. Yu., Drahnev S. V., Voinash S. A.* (2020). Study of biogas during fermentation of cattle manure using a stimulating additive in form of vegetable oil sediment. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 15(22). 2652-2663.

10. *Triboy O. V., Dragnev S. V.* (2018). How to use unproductive lands for growing sustainable bio raw materials for energy? *Ecology of the enterprise*. 7(72). 55-63.

11. *Dragnev S. V., Zhelezna T. A., Geletukha G. G.* (2016). Possibilities of harvesting corn by-products for grain for energy use in Ukraine: an analytical note of UAB №16. Kyiv, Ukraine: UAB. 52.

12. Typical technological maps of growing crops in the farms of the Kyiv region. (1986). Kyiv, Ukraine: Oblpoligrafizdat. 222.

13. *Bogatyreva E. N., Seraya T. M., Biryukova O. M., Kirdun T. M., Belyavskaya Yu. A., Torchilo M. M.* (2016).

Coefficients of conversion of grain and seeds into by-products and the content of basic nutrients in the by-product products of agricultural crops in the Republic of Belarus. Soil science and agrochemistry. 2(57). 78-89.

14. Polishchuk V. M., Dubrovin V. O., Dragnev S. V., Lobodko M. M., Sidorchuk O. V., Polishchuk O. V. (2014). Processes and devices of biotechnological productions. Part 6. Determination of biofuel needs for heating, hot water supply and cooking. Methodical instructions for laboratory work in the disciplines "Processes and apparatus of biotechnological productions" for students of agricultural universities of 3-4 levels of accreditation of educational qualification level "Master" in the specialty 8.10010203 "Mechanization of agriculture". Kyiv, Ukraine: AgrarMediaGroup. 94.

15. Combustible natural gases for industrial and household purposes. Technical conditions. (2009). GOST 5542-87 from 1d January 1988. Moscow: Publishing house of standards. 20.

16. Geletukha G. (2015). Preparation and implementation of projects to replace natural gas with biomass in thermal energy production in Ukraine: a practical guide. Kyiv, Ukraine: Polygraph Plus, 72.

17. Polishchuk V. M., Voytiuk V. D. (2018). Processes, machines and equipment for production of solid and liquid biofuels: monograph. Kyiv, Ukraine: NULES of Ukraine. 588.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

В. Н. Поліщук, Д. А. Дерев'янка, Є. А. Дворник

Аннотация. В сельском хозяйстве Украины продукция растениеводства составляет более 79%, из которых более половины приходится на зерновые, зернобобовые и технические культуры. Значительное количество побочной продукции припахивается для использования в качестве органических удобрений, определенное количество сжигается на полях, что приносит вред окружающей среде и снижает плодородие почвы, и лишь 2-3% используется для энергетических нужд. Вместе с тем, использование побочной продукции растениеводства в качестве органических удобрений предусматривает внесение в почву азотных минеральных удобрений, поскольку в процессе биodeградации растительных остатков из почвы отбирается значительное количество азота. Кроме того, растительные остатки для ускорения их биodeградации не рекомендуется глубоко запахивать. Однако от 30% (соломы) до 40% (стеблей кукурузы) этих растительных остатков без ущерба плодородия почвы можно использовать в качестве биотоплива, которое, однако, в отличие от древесины, имеет большую зольность, и повышенное содержание хлора и щелочных металлов, который можно существенно снизить в результате длительного хранения соломы под открытым небом. Кроме того, солома имеет низкую температуру плавления, в результате чего ее рекомендуется сжигать только в бесколосниковой топке. Однако, несмотря на указанные недостатки, вследствие использования побочной продукции растениеводства в качестве топлива можно получить

прибыль от продажи населению тепловой энергии, произведенных топливных гранул или брикетов, а также экономии от замены природного газа на биотопливо при отоплении производственных, административных и культурных-бытовых сооружений. Для хозяйства с площадью пашни примерно 2000 га, из которых половина занята под зерновые культуры, экономия средств и прибыль может составить около 7,5 млн. грн./год.

Ключевые слова: солома, стебли кукурузы, твердое биотопливо, топливные гранулы и брикеты, котел, сжигание, экономическая эффективность, себестоимость.

EFFICIENCY OF PRODUCTION AND APPLICATION OF SOLID FUELS IN RURAL AREAS

V. M. Polishchuk, D. A. Derevianko, Ye. O. Dvornyk

Abstract. In agriculture of Ukraine, crop production is over 79%, of which more than half is accounted for by cereals, legumes and industrial crops. A significant amount of by-products is prioritized for use as organic fertilizers, a certain amount is burned in the fields, which harms the environment and reduces soil fertility, and only 2-3% is used for energy needs. At the same time, the use of crop by-products as organic fertilizers involves the application of nitrogen fertilizers to the soil, because in the process of biodegradation of plant residues a significant amount of nitrogen is removed from the soil. In addition, plant residues are not recommended to be deeply plowed to accelerate their biodegradation. However, from 30% (straw) to 40% (corn stalks) of these plant residues without compromising soil fertility can be used as biofuel, which, however, unlike wood, has a higher ash content and high chlorine and alkali metals, which can be significantly reduce due to prolonged storage of straw in the open air. In addition, straw has a low melting point, so it is recommended to burn it only in a grate. However, despite these shortcomings, the use of crop by-products as fuel can generate profits from the sale of thermal energy, fuel pellets or briquettes, as well as savings from replacing natural gas with biofuel when heating industrial, administrative and cultural facilities. For a farm with an area of approximately 2000 hectares, half of which is used for grain crops, savings and profits can amount to almost 7.5 million UAH/year.

Key words: straw, corn stalks, solid biofuels, fuel pellets and briquettes, boiler, combustion, economic efficiency, cost.

В. М. Поліщук ORCID 0000-0002-9654-9051.

Д. А. Дерев'янка ORCID 0000-0001-8487-2153.

Є. О. Дворник ORCID 0000-0003-4904-1076.