

УДК: 620.92

АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ПЕЛЕТ ТА БРИКЕТІВ З ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО В УКРАЇНІ

Гелету́ха Г.Г., канд. техн. наук

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

<https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2020.9>

Представлено оцінку енергетичного потенціалу побічної продукції виробництва кукурудзи на зерно в Україні. Розглянуто паливні характеристики даного виду біомаси. Проаналізовано результати техніко-економічної оцінки виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно.

Представлена оценка энергетического потенциала побочной продукции производства кукурузы на зерно в Украине. Рассмотрены топливные характеристики данного вида биомассы. Проанализированы результаты технико-экономической оценки производства пеллет и брикетов из побочной продукции кукурузы на зерно.

The estimation of energy potential of by-products of grain corn production in in Ukraine is presented. The fuel characteristics of this type of biomass are considered. The results of the feasibility study of the production of pellets and briquettes from by-products of corn for grain are analyzed.

Бібл. 10, табл. 3, рис. 4.

Ключові слова: біомаса, біопаливо, рослинні залишки, побічна продукція, брикети, пелети, техніко-економічна оцінка.

ПП – побічна продукція;

ТЕО – техніко-економічна оцінка;

ТУ – технічні умови;

IRR – внутрішня норма дохідності;

W – вологість;

 W_p – відносна вологість;

н.е. – нафтовий еквівалент;

с.р. – суха речовина.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю зменшення залежності України від імпортованих викопних палив шляхом використання власних енергетичних ресурсів біомаси, в даному випадку – побічної продукції виробництва кукурудзи на зерно. Широке залучення біопалив до паливно-енергетичного балансу країни сприятиме виконанню цілей, поставлених стратегічними національними документами, зокрема, Енергетичною стратегією України на період до 2035 року. **Метою** роботи є аналіз технічного та економічного підґрунтя для розвитку напрямку виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні. **Завдання** роботи полягає у визначенні умов, що забезпечують економічну доцільність проектів даного типу в Україні. **Методи дослідження** включають вивчення статистичних та інших даних, аналіз нормативно-правових актів, проведення розрахунків.

Оцінка енергетичного потенціалу побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні

Кукурудза є однією з основних сільськогосподарських культур в Україні протягом, принаймні, останнього десятиліття. Незважаючи на деякі коливання, загальною тенденцією є зростання врожаю зерна кукурудзи

і врожайності культури, які у 2018 році досягли своїх рекордних показників – відповідно 35,8 млн т і 78,4 ц/га.

Побічна продукція виробництва кукурудзи на зерно (кукурудзиння) складається з стебел, що становлять близько 52,5% всієї маси рослинних залишків, листя (20,0%), стрижнів (17,5%), обгортки 8,5% та інших частин (1,5%) [1].

Коефіцієнт виходу побічної продукції кукурудзи на зерно (масове співвідношення між побічною продукцією та зерном) залежить від багатьох факторів, насамперед від гібриду, але в середньому для кукурудзи він становить 1,3. При збиранні кукурудзи на зерно зернозбиральним комбайном формуються три потоки рослинних решток: стерня; стебла і листя, які залишаються за жаткою, та обгортки і стрижні, які залишаються за комбайном.

Оцінка енергетичного потенціалу побічної продукції кукурудзи на зерно (кукурудзиння) за даними 2018 р., виконана на базі підходів Біоенергетичної асоціації України [2], показує наступні результати [3]:

- теоретичний потенціал (весь обсяг утвореної ПП) – 46,5 млн т або 8,9 млн т н.е.;

- економічний потенціал (обсяги, доступні для енергетичного використання, що складають 40% від теоретичного потенціалу) – 18,6 млн т або 3,6 млн т н.е., у тому числі стебла – 9,7 млн т (1,9 млн т н.е.), стрижні – 3,3 млн т (0,6 млн т н.е.).

До 2030 р. можна очікувати збільшення енергетичного потенціалу побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні до 19,2 млн т/рік (3,7 млн т н.е./рік) з огляду на ймовірне зростання врожайності кукурудзи в Україні до найкращих показників європейських країн. Враховуючи поточну позитивну динаміку розвитку рослинництва в країні, протягом найближчих десяти років Україна може вийти на рівень врожаю кукурудзи провідних країн ЄС.

Виробництво побічної продукції рослинництва, включаючи кукурудзиння, є сезонним і залежить від періодів збирання урожаю. Кукурудзу на зерно збирають у різні часові рамки, залежно від сорту, місця вирощування та часу сівби. Зазвичай початок збирання кукурудзи визначається рівнем вологості зерна, тому перед збиранням врожаю визначають вологість зерна та його стиглість з урахуванням строків сівби та гібридної групи стиглості. До початку збирання зерно кукурудзи повинно мати високий вміст сухої речовини (не менше 45%). Як правило, кукурудзу на зерно збирають у вересні-листопаді.

Паливні характеристики та властивості побічної продукції кукурудзи на зерно

Загалом, побічна продукція кукурудзи на зерно має досить хороші паливні властивості, близькі до властивостей деревного палива. Завдяки цьому біопаливо, виготовлене із кукурудзиння, може спалюватися в котельному обладнанні, призначеному для деревної біомаси. Характеристики та паливні властивості різних складових побічної продукції кукурудзи на зерно представлені в табл. 1.

Вміст золи у кукурудзинні є основним фактором якості для подальшого виробництва біопалива. Вміст золи залежить від технології збирання, оскільки він збільшується внаслідок контакту біомаси з ґрунтом. З огляду на це, існує два типи золи: структурна та неструктурна [4]. Структурна зола складається з неорганічних речовин у рослині, які залишаються після її спалювання. Звичайна зольність кукурудзиння становить 3,5%. Неструктурна зола – це неорганічні речовини (переважно ґрунт), які потрапляють у біомасу під час її заготівлі, зокрема при формуванні валків та тюкуванні. Типовий загальний вміст золи у кукурудзинні при збиранні сільськогосподарськими машинами у декілька проходів становить 8-10%.

За характеристиками плавкості золи кукурудзиння наближається до деревної біомаси, що забезпечує кращі умови для спалювання порівняно із соломою зернових колосових культур. Для порівняння: у деревини температура плавлення золи складає близько 1200 °С, а у стебел кукурудзи – близько 1100 °С. Крім того, кукурудзиння містить менше хлору (0,2% с.р.) у порівнянні зі свіжою («жовтою») соломою зернових колосових культур (0,75% с.р.). Це позитивний фактор для використання побічної продукції кукурудзи на зерно як палива, оскільки сполуки хлору викликають корозію сталевих елементів енергетичного обладнання [6].

За елементарним складом кукурудзиння майже не відрізняється від соломи зернових колосових, тому у них порівнювана теплотворна здатність. Властивості побічної продукції рослинництва сильно залежать від місця вирощування, періоду збирання та погоди, ґрунту та добрив. Найбільший вплив на теплотворну здатність кукурудзиння має вологість – нижча теплота згорання змінюється від 15 МДж/кг при $W^{\text{ар}}$ 10% до 5,5 МДж/кг при $W^{\text{ар}}$ 60%.

Створення ланцюжків заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для потреб енергетики

Вибір технологічної схеми збору кукурудзи є важливим з точки зору можливості заготівлі побічної продукції для енергетичних потреб, а також обсягу і якості цієї біомаси. Виділяють декілька технологічних схем збору кукурудзи на зерно, які характеризуються різними можливостями заготівлі побічної продукції: збирання кукурудзозбиральними комбайнами з наступною доробкою качанів на стаціонарі з одночасним очищенням качанів від обгорток або без очищення качанів від обгорток; збирання зернозбиральними комбайнами з кукурудзяними жатками; збирання комбайнами зерно-стрижневої суміші.

Нині основним способом збору врожаю товарної кукурудзи є комбайновий обмолот качанів у полі, подрібнення і розкидання зрізаної маси при використанні зернозбиральних комбайнів з кукурудзяними жатками. Такий спосіб збирання кукурудзи є найбільш економічно доцільним. Порівняно із збором кукурудзи в качанах, він забезпечує у 1,8...2 рази зменшення затрат праці та на 20...25% – витрати палива [7].

Пресування біомаси у тюки завдяки ущільненню силовини у більш, ніж чотири рази, сприяє підвищенню ефективності логістики та зменшує необхідні площі складів. Технологічні схеми збирання побічної продукції кукурудзи на зерно у тюках можна розділити на чотири основні типи (однопрохідна, двопрохідна,

трипрохідна та багатопрохідна) за кількістю проходів заготівельної техніки по полю. З цих технологій, з огляду на можливість використання для збирання кукурудзи на зерно стандартну техніку, наявну у агровиробників,

та менший контакт біомаси із ґрунтом, для України рекомендується використовувати трипрохідну систему: зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + трактор з прес-підбирачем великих прямокутних тюків (рулонів) [3].

Табл. 1. Характеристики та паливні властивості побічної продукції кукурудзи на зерно [5]

Параметри	Зразки стебел та листя кукурудзи ¹⁾			Зразки стрижнів кукурудзи ¹⁾		
	#704	#889	#1241	#2068	#2791	#1454
<i>Базовий склад:</i>						
Вологість, W^{ar} , %	6,06	5,00	–	–	7,04	–
Вміст золи, A^{d} , %	5,06	7,35	5,58	3,48	3,12	3,60
Летючі, V^{daf} , %	85,17	84,30	79,61	–	80,69	83,20
<i>Елементарний аналіз:</i>						
Вуглець, C^{d} , %	46,82	46,50	43,65	48,22	46,51	45,31
Водень, H^{d} , %	5,74	5,81	5,56	6,20	5,68	7,16
Азот, N^{d} , %	0,66	0,56	0,61	1,57	0,47	–
Сірка, S^{d} , %	0,11	0,11	0,01	0,13	0,09	–
Кисень, O^{d} , %	41,36	39,67	43,31	42,94	44,13	43,93
<i>Галоїди:</i>						
Хлор, Cl^{d} , мг/кг	2661,3	0,0	6000,0	#1240 ⁵⁾	–	–
Нижча теплота згоряння, Q^{ar} , МДж/кг	15,68	16,72	16,44 ⁴⁾	–	15,05	14,02 ⁴⁾
Вища теплота згоряння, Q^{daf} , МДж/кг	19,06	20,50	18,69	19,95 ²⁾	18,19	16,16
<i>Склад золи, %:</i>						
P_2O_5	8,68	–	–	#402 ³⁾	–	–
SiO_2	54,04	–	–		–	–
Al_2O_3	1,99	–	–		–	–
CaO	8,66	–	–		–	–
MgO	6,11	–	–		–	–
Na_2O	0,15	–	–		–	–
K_2O	20,67	–	–		–	–
<i>Температури плавкості золи, °C:</i>						
Початок деформації (IDT)	–	1232	–	900	–	850
Напівсфера (НТ)	–	1500	–	–	–	1000
Розтікання (FT)	–	1500	–	1020	–	–
<i>Біохімічна композиція, %</i>						
Целюлоза	–	36,80	28,00	26,30	52,00	–
Геміцелюлоза	–	25,40	28,00	25,20	32,00	–
Лігнін	–	16,90	11,00	16,30	15,00	–

Верхні індекси: ^{ar} – паливо у робочому стані; ^d – суха речовина; ^{daf} – сухий беззолний залишок.

1) Значення відповідно до бази даних Phyllis. 2) HHV_{Milne}. 3) Склад золи та характеристики плавкості золи для зразка #402. 4) Для сухої речовини. 5) Галоїди для зразка #1240. 6) Біохімічна композиція для зразка #979.

7) Біохімічна композиція для зразка #2372.

Крім технологій збирання побічної продукції кукурудзи на зерно у прямокутних тюках, цю біомасу також можна пресувати у рулони, використовуючи рулонні прес-підбирачі замість прес-підбирачів прямокутних тюків. Ще один варіант – збирати ПП у подрібненому вигляді як суміш різних фракцій рослинних залишків, так і окремі фракції, наприклад, стрижні. Згідно результатів польових досліджень, проведених у Баварському державному науково-дослідному центрі сільського господарства у 2014-2015 рр., вміст золи у кукурудзинні був на рівні $7,0 \pm 1,9\%$ у с.р. при застосуванні кормозбирального комбайна та $6,9 \pm 2,0\%$ у с.р. для кормозбирального причепа-підбирача[8].

Виконано техніко-економічну оцінку чотирьох технологій збору побічної продукції кукурудзи на зерно: у великих прямокутних тюках і рулонах, у подрібненому вигляді із використанням кормозбирального комбайна та причепа-підбирача. З них найефективнішим є збір ПП у великих прямокутних тюках, для якого простий термін окупності складає 4,8 років, IRR – 22,5% (для сценарію збору 3,5 т с.р./га та продажу тюків за ціною 40 євро/т с.р. з ПДВ). При транспортуванні біомаси на відстань до 20 км також можна використовувати технологію заготівлі на базі причепа-підбирача. Витрати на зберігання ПП кукурудзи у великих прямокутних тюках під укритим матеріалом становлять 3,1 євро/т с.р., що нижче, ніж для зберігання рулонів (5,0 євро/т с.р.) та подрібненої маси насипом (6,9 євро/т с.р.). Ефективним напрямком використання даного виду біомаси є виробництво паливних брикетів та пелет.

ТЕО виробництва брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно

Паливні брикети, вироблені з біомаси, являють собою спресовані матеріали циліндричної, прямокутної або будь-якої іншої форми з поперечним розміром не менше 25 мм і довжиною 100...400 мм. Типовий діаметр – 60...75 мм, а довжина брикетів зазвичай не перевищує 5 величин діаметру. Стандартних розмірів у даного виду продукту немає [9].

В Україні відсутні чинні національні стандарти на брикети із ПП кукурудзи на зерно, але за необхідності підприємства-виробники брикетів можуть розробляти ТУ. Для стандартизації брикетів з недеревної біомаси Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) у 2014 р. прийнято стандарт ISO 17225-7 «Тверді біопалива. Технічні характеристики та класи. Частина 7. Сорткування недеревних брикетів».

Наразі на українському ринку спостерігається обмежена пропозиція брикетів з кукурудзиння. Актуальні

ціни реалізації брикетів з соломи становлять від 80 до 90 євро/т з ПДВ, а для брикетів з деревини – від 90 до 150 євро/т з ПДВ. Для розрахунків приймемо орієнтовну ціну брикетів з ПП кукурудзи 90 євро/т з ПДВ, оскільки їхні паливні характеристики кращі, ніж у брикетів з соломи.

Для техніко-економічної оцінки виробництва паливних брикетів були вибрані три рівня продуктивності: 1) 0,5 т/год на базі лінії брикетування ПП «Брикетуючі технології» (Україна) (подрібнювач ІТС 1, аеродинамічна сушарка САД-0,6-1,2 та прес-брикетувальник ПБУ-070-800М); 2) 2 т/год для лінії, укомплектованої обладнанням різних вітчизняних виробників, включаючи 2 прес-брикетувальники ПБУ-090-900М та барабанну сушарку; 3) 4 т/год для лінії, укомплектованої німецьким та українським обладнанням (5 прес-брикетувальників RUF R6 та барабанна сушарка).

Операційні витрати для трьох рівнів продуктивності брикетування наведені на рис. 1. Найбільшими складовими є витрати на сировину (46...52%), електроенергію (12...13%), амортизацію (9...13%) та витрати на оплату праці (17% за продуктивності 0,5 т/год).

Результати ТЕО виробництва брикетів з кукурудзиння наведені у табл. 2. Простий термін окупності проекту з пресами іноземного виробництва продуктивністю 4 т/год становить 4,4 років з IRR 26,1%. Економічні показники проекту з продуктивністю виробництва брикетів 2 т/год на базі українського обладнання кращі, зокрема, IRR – 34,7%, простий термін окупності – 3,7 років.

Найбільший вплив на основні економічні показники проекту мають продажна ціна брикетів, продуктивність брикетуючого обладнання, а також ціна сировини (рис. 2). Якщо відпускна ціна брикетів з кукурудзиння знизиться на 10% при продуктивності 4 т/год (ціна 81 євро/т з ПДВ), то IRR становитиме 11,1%. Але, якщо продажна ціна брикетів з кукурудзиння збільшиться на 10% (99 євро/т з ПДВ), IRR складе 40,8%.

ТЕО виробництва пелет з побічної продукції кукурудзи на зерно

Для збільшення ефективності логістичних операцій та розширення можливості енергетичного використання сільськогосподарську біомасу гранулюють для отримання паливних пелет (гранул). Пелети із ПП кукурудзи на зерно відносяться до недеревних пелет, а технологічний процес їх виробництва загалом схожий на брикетування біомаси, що також відповідає характеристикам сировини. Недеревні пелети – це ущільнене шляхом механічного пресування біопаливо, виготовлене з дробленої або подрібненої біомаси з добавками або

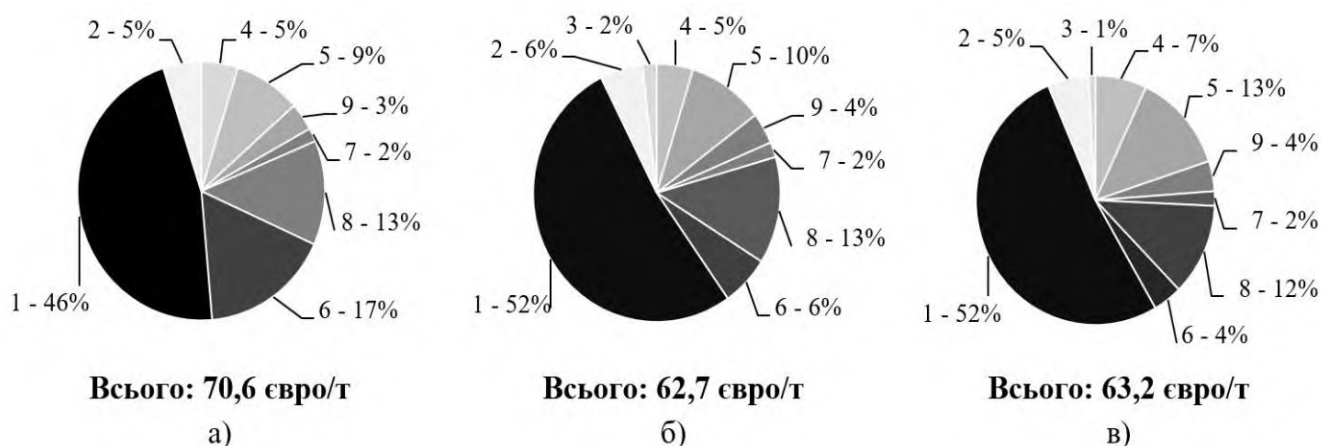


Рис. 1. Частка різних операційних витрат для трьох рівнів продуктивності брикетування:

а) 0,5 т/год; б) 2,0 т/год; в) 4,0 т/год; 1 – сировина; 2 – сушка;

3 – адміністративний персонал; 4 – ремонт та технічне обслуговування;

5 – амортизація; 6 – оплата праці; 7 – витрати на мішки; 8 – електроенергія; 9 – інше.

Табл. 2. ТЕО виробництва брикетів з побічної продукції кукурудзи

Показники	Продуктивність лінії брикетування, т/год.		
	0,5	2,0	4,0**
Річні обсяги виробництва брикетів, т/рік	3000	12000	24000
Капітальні витрати, тис. євро	147,5	598,8	1572,0
Операційні витрати, тис. євро/рік	193,4	677,5	1319,5
Кредитні кошти (частка капітальних витрат), %	70		
Ставка по кредиту, %	7		
Строк кредитування, років	5		
Вартість тюків ПП кукурудзи на заводі, євро/т с.р. без ПДВ	36,4		
Собівартість брикетів, євро/т	70,6	62,7	63,2
Ціна реалізації брикетів з ПП кукурудзи, євро/т з ПДВ	90		
Чиста приведена вартість (NPV), тис. євро	39,2	677,9	1214,1
Простий термін окупності*, років	6,0	3,7	4,4
Дисконтований термін окупності (ставка дисконту 7%)*, років	7,8	4,2	5,2
Внутрішня норма дохідності (IRR), %	13,9	34,7	26,1

* У перший рік лінія брикетування виробляє 50% від річного обсягу брикетів.

** Лінія продуктивністю 4 т/год укомплектована німецькими прес-брикетувальниками RUF.

без них, що має форму циліндра з поламаними кінцями, як правило, діаметром менше 25 мм, різної довжини в межах від 3,15 мм до 40 мм [10].

Основними характеристиками, що впливають на організацію виробничого процесу гранулювання, є вхідні показники біомаси (розмір частинок, форма, наявність включень), а також вміст вологи. При

переробці пожнивних решток, лушпиння соняшнику, очерету тощо можна використовувати типову схему, розроблену для виробництва пелет з соломи.

Для сприяння міжнародної торгівлі твердим біопаливом, зокрема, пелетами з недеревної біомаси, використовується спеціалізована система міжнародних стандартів, які поступово гармонізують в Україні.

Так, з 1 жовтня 2017 р. набув чинності національний стандарт ДСТУ EN 15234-6:2017 «Тверде біопаливо. Підтвердження якості палива. Частина 6. Недеревні пелети для непромислового використання». Вимоги якості для недеревних пелет як продукту встановлює міжнародний стандарт ISO 17225-6:2014 «Тверді біопалива. Технічні характеристики та класи. Частина 6. Сорткування недеревних пелет», який ще не був гармонізований в Україні. Але деякі виробники розробляють ТУ на пелети з кукурудзиння. Це дозволяє їм сертифікувати продукцію і створює передумови для реалізації пелет за вищою ціною. При цьому споживач отримує можливість придбати пелети гарантованої якості.

Пропозиція пелет з ПП кукурудзи на ринку України є дуже обмеженою. Актуальні ціни на пелети з соломи складають від 80 до 95 євро/т з ПДВ, а деревні пелети коштують від 95 до 160 євро/т з ПДВ. Враховуючи, що у ПП кукурудзи кращі паливні характеристики ніж у соломи, для розрахунків приймемо орієнтовну ціну пелет з кукурудзиння 90 євро/т з ПДВ.

Для техніко-економічної оцінки виробництва пелет з ПП кукурудзи на зерно були вибрані три рівня продуктивності: 1) 2,0 т/год на базі лінії гранулювання BIOsmartex з продуктивністю 1500-2500 кг/год, укомплектованої вітчизняним обладнанням, включаючи барабанну сушарку для біомаси; 2) 4,0 т/год на базі імпортного та вітчизняного обладнання; 3) 10,0 т/год на базі імпортного та вітчизняного обладнання.

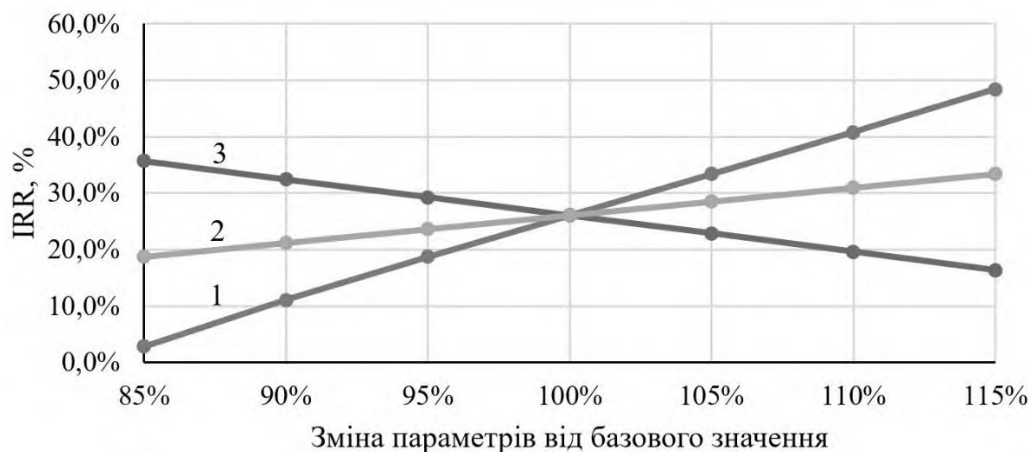


Рис. 2. Залежність внутрішньої норми дохідності (IRR) від зміни вибраних параметрів:
1 – продажна ціна брикетів; 2 – річне виробництво брикетів; 3 – ціна сировини.

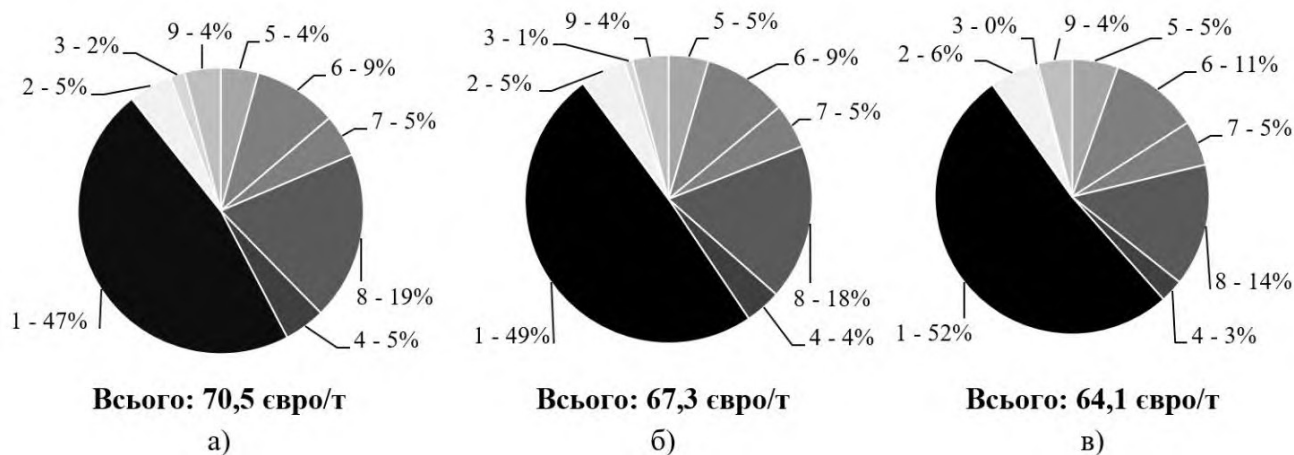


Рис. 3. Частка різних операційних витрат для трьох рівнів продуктивності гранулювання: а) 2 т/год; б) 4 т/год; в) 10 т/год; 1 – сировина; 2 – сушка; 3 – адміністративний персонал; 4 – оплата праці; 5 – ремонт та технічне обслуговування; 6 – амортизація; 7 – мішки; 8 – електроенергія; 9 – інше.

Операційні витрати для трьох рівнів продуктивності гранулювання наведені на рис. 3. Основними витратами на виробництво пелет із ПП кукурудзи є витрати на сировину (47...52%), електроенергію (14...19%), амортизацію (9...11%). Виробничі витрати складають 64,1 євро/т при продуктивності лінії виробництва пелет 10 т/год, 67,3 євро/т – при 4 т/год та 70,5 євро/т – при 2 т/год.

Результати ТЕО виробництва пелет з ПП кукурудзи наведені в табл. 3. З урахуванням вихідних даних та припущень, чиста приведена вартість найбільшого

із розглянутих проектів (продуктивність 10 т/год) становить близько 2899 тис. євро з внутрішньою нормою дохідності 29,1%. Простий термін окупності складає 4,1 років, дисконтований термін окупності – 4,8 років.

Найбільший вплив на основні економічні показники проекту мають ціна продажу пелет, продуктивність обладнання для гранулювання, а також ціна сировини (рис. 4). Якщо відпускна ціна пелет з кукурудзиння знизиться на 10% при продуктивності 10 т/год (81 євро/т з ПДВ), IRR складе 10,9%. Але при збільшенні ціни продажу пелет на 10% (99 євро/т з ПДВ), IRR складе 47,2%.

Табл. 3. ТЕО виробництва пелет з ПП кукурудзи

Показники	Продуктивність лінії гранулювання, т/год.		
	2,0	4,0	10,0
Річні обсяги виробництва пелет, т/рік	12000	24000	60000
Капітальні витрати, тис. євро	642,0	1223,5	3228,4
Операційні витрати, тис. євро/рік	766,1	1461,5	3920,9
Кредитні кошти (частка капітальних витрат), %	70		
Ставка по кредиту, %	7		
Строк кредитування, років	5		
Вартість тюків ПП кукурудзи на заводі, євро/т с.р. без ПДВ	36,4		
Собівартість пелет, євро/т	70,5	67,3	64,1
Ціна реалізації пелет з ПП кукурудзи, євро/т з ПДВ	90,0		
Чиста приведена вартість (NPV), тис. євро	168,5	765,3	2899,2
Простий термін окупності*, років	6,0	4,8	4,1
Дисконтований термін окупності (ставка дисконту 7%)*, років	7,8	5,7	4,8
Внутрішня норма дохідності (IRR), %	13,8	22,6	29,1

* У перший рік лінія гранулювання виробляє 50% від річного обсягу пелет.

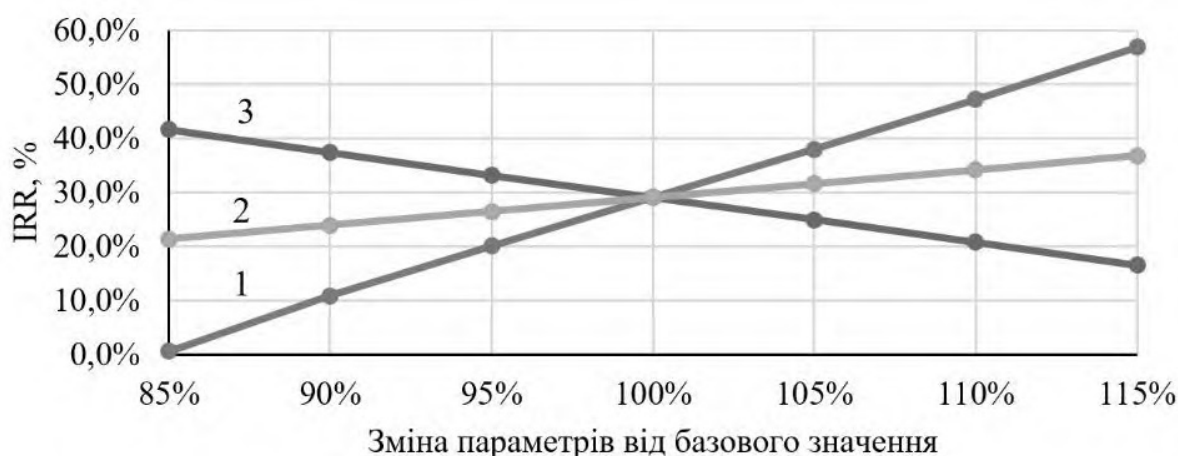


Рис. 4. Залежність внутрішньої норми дохідності (IRR) від зміни вибраних параметрів:

1 – продажна ціна; 2 – річне виробництво пелет; 3 – ціна сировини.

Висновки

Україна має великий потенціал побічної продукції кукурудзи на зерно, доступний для виробництва біопалив та енергії. Поточні тенденції розвитку сільського господарства свідчать про те, що в перспективі цей потенціал може навіть збільшуватися. Для умов України рекомендується заготівля побічної продукції кукурудзи на зерно у вигляді прямокутних тюків із застосуванням трипрохідної системи збирання. Ефективним напрямком використання даного виду біомаси є виробництво паливних брикетів та пелет. За поточних умов, простий термін окупності таких бізнес-проектів може складати до 4...5 років з внутрішньою нормою дохідності більше 22%.

ЛІТЕРАТУРА

1. L. Kocsis, Z. Hudoba and T. Vojtela. Investigation of the corn stalk gathering for energetic use. Energy, biomass and biological residues. International Conference of Agricultural Engineering - CIGR-AgEng 2012: Agriculture and Engineering for a Healthier Life, Valencia, Spain, 8-12 July 2012 2012 pp.C-1151.
<https://www.yumpu.com/en/document/read/35926184/investigation-of-the-maize-stalk-gathering-for-energetic-use>
2. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України №7 «Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні», 2014.
<https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-7-ua.pdf>
3. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України №23 «Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно», 2020.
<https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-23-ua.pdf>
4. Brittany Schon, Matt Darr. Corn Stover Ash, 2014.
<https://store.extension.iastate.edu/Product/Corn-Stover-Ash>
5. Phyllis Database for the physico-chemical composition of (treated) lignocellulosic biomass, micro- and macroalgae, various feedstocks for biogas production and biochar <https://phyllis.nl/>
6. Гелетука Г.Г., Железная Т.А., Трибой А.В. Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине. Часть 2 // Промышленная теплотехника. – 2014, т. 36, № 5, с.73-80.
7. Інтенсифікація технологій вирощування кукурудзи на зерно – гарантія стабілізації урожайності на рівні 90-100 ц/га (практичні рекомендації) / Черенков А.В., Циков В.С., Дзюбецький Б.В., Шевченко М.С. та ін. // Дніпропетровськ: ДУ Інститут сільського господарства степової зони НААН України, 2012. – 31 с.
8. M. Fleschhut, K-J. Hulsbergen, S. Thurner, J. Eder Analysis of different corn stover harvest systems // LANDTECHNIK, 71 (6), 2016. – P. 252-270.
9. Гелетука Г.Г., Железна Т.А., Драгнєв С.В., Баишовий А.І. Аналіз можливостей виробництва і споживання паливних брикетів з біомаси сільськогосподарського походження в Україні. Частина 2 // Теплофізика та теплоенергетика. – 2019, т. 41, № 1. – С. 67-73. DOI
10. ISO 17225-6:2014 Solid biofuels–Fuel specifications and classes – Part 6: Graded non-woody pellets.

ANALYSIS OF PELLETS AND BRIQUETTES PRODUCTION FROM CORN RESIDUES IN UKRAINE

Geletukha G.G.

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.2.2020.9>

The purpose of the study is to analyze the technical and economic basis for the development of the production of pellets and briquettes from by-products of grain corn in Ukraine. The objective of the work is to determine conditions that ensure feasibility of projects of this type in Ukraine. Results of estimation of energy potential of by-products of corn grain in Ukraine are presented. The country has a large potential for this type of biomass available for biofuels and energy production. Current trends in agricultural development indicate that this potential may even increase in the future. For Ukraine's conditions, it is recommended to harvest by-products of grain corn in the form of rectangular bales with the use of a three-pass harvesting system. Fuel characteristics of corn stover are considered. In general, biomass of this type has fairly good fuel properties close to those of wood fuels. Due to this, biofuels made from corn stover can be burned in boiler equipment intended for wood biomass. The effective use of grain corn by-products is the production of briquettes and pellets. Under current conditions, a simple payback period for such business projects can be up to 4...5 years with the internal return rate of more than 22%. The biggest impact on the main economic indicators of the projects is made by the sale price of solid biofuels, the productivity of the equipment, as well as the price of raw material.

References 10, tables 3, figures 4.

Key words: biomass, biofuel, plant residues, by-products, briquettes, pellets, feasibility study.

1. *L. Kocsis, Z. Hudoba and T. Vojtela.* Investigation of the corn stalk gathering for energetic use. Energy, biomass and biological residues. International Conference of Agricultural Engineering - CIGR-AgEng 2012: Agriculture and Engineering for a Healthier Life, Valencia, Spain, 8-12 July 2012 2012 pp.C-1151.

<https://www.yumpu.com/en/document/read/35926184/investigation-of-the-maize-stalk-gathering-for-energetic-use>

2. *Analitichna zapyska* Bioenerhetychnoi asotsiatsii Ukrainy №7. Perspektivy vykorystannia vidkhodiv silskoho hospodarstva dlia vyrobnytstva enerhii v Ukraini [Prospects for the use of agricultural residues for energy production in

Ukraine. Position Paper No. 7 by the Bioenergy Association of Ukraine], 2014

<https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-7-en.pdf>

3. *Analitichna zapyska* Bioenerhetychnoi asotsiatsii Ukrainy №23 «Analiz vyrobnytstva pelet ta bryketiv z pobichnoi produktsii kukurudzy na zerno» [Analysis of pellets and briquettes production from corn residues. Position Paper No. 23 by the Bioenergy Association of Ukraine], 2020.

<https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-23-en.pdf>

4. *Brittany Schon, Matt Darr.* Corn Stover Ash, 2014.

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

6. *Geletuha G.G., Zheleznaya T.A., Triboy A.V.* Perspektivnyi ispolzovaniya othodov selskogo hozyaystva dlya proizvodstva energii v Ukraine. Chast 2 [Prospects for the use of agricultural residues for energy production in Ukraine. Part 2] // *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2014, V. 36, № 5. P. 73-80. (Rus.)

7. *Cherenkov A.V. et al.* Intensyfikatsiia tekhnolohii vyroshchuvannia kukurudzy na zerno – harantiia stabilizatsii urozhainosti na rivni 90-100 ts/ha (praktychni rekomendatsii) [Intensification of grain maize production technologies is a guarantee of a yield stabilization at the level of 90-100 centners per hectare (practical recommendations)]. Dnipropetrovsk, State Enterprise “Institute of Cereals of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine”, 2012. – 31 p. (Ukr.)

8. *M. Fleschhut, K-J. Hulsbergen, S. Thurner, J. Eder* Analysis of different corn stover harvest systems // *LANDTECHNIK*, 71 (6), 2016. – pp. 252-270.

9. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V., Bashtovyi A.I.* Analiz mozhlyvosti vyrobnytstva i spozhyvannia palyvnykh bryketiv z biomasy silskohospodarskoho pokhodzhennia v Ukraini. Chastyna 2 [Analysis of possibilities for the production and consumption of agrobiomass briquettes in Ukraine. Part 2], *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. – 2019, V. 41, № 1. – P. 67-73. (Ukr.) DOI

10. *ISO 17225-6:2014* Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 6: Graded non-woody pellets.

Отримано 08.04.2020

Received 08.04.2020