

АНАЛІТИЧНА ЗАПИСКА

UABIO

№ 23 | 2020



Г.Г. Гелетуха, С.В. Драгнев, Т.А. Железна, А.І. Баштовий

АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ПЕЛЕТ ТА БРИКЕТІВ З ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО

**АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ПЕЛЕТ ТА БРИКЕТІВ З ПОБІЧНОЇ
ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО**

Аналітична записка UABIO № 23

**Гелетука Г.Г., Драгнєв С.В., Желєзна Т.А., Баштовий А.І.
24 квітня 2020 р.**

© Біоенергетична асоціація України, 2020

Жодна частина цієї публікації не має бути відтворена, розповсюджена або передана в будь-якій формі або будь-якими способами, включаючи фотокопіювання, запис чи інші електронні або механічні методи, без прямого індексованого посилання на першоджерело чи письмової згоди. Письмову згоду можна отримати за контактами наведеними нижче.

Публікація доступна на: www.uabio.org/materials/uabio-analytics

Для відгуків та коментарів: geletukha@uabio.org

Біоенергетична асоціація України

вул. Марії Капніст, 2-А, оф. 116,

м. Київ, Україна, 03057

+38 (044) 453-28-56

info@uabio.org

www.uabio.org

Автори щиро дякують
Європейському банку реконструкції та розвитку
за надану підтримку представлених аналітичних досліджень
та особисто **Сергію Масліченку, Тетяні Маркуті та Олександрю Ніколаєнку**,
які взяли активну участь в обговоренні аналітичної записки і
надали свої пропозиції по покращенню її змісту.
Більшість пропозицій було враховано при підготовці фінальної версії записки,
що суттєво підвищило її якість.

МИ ГОТОВІ ДО СПІВПРАЦІ!
Цікаво стати спонсором публікації?

Логотипи спонсорів



Сконтактуйте з нами

Біоенергетична асоціація України **UABIO** – це неприбуткова громадська спілка, яка об'єднує бізнес та експертів для розвитку біоенергетики України

7

років

30

провідних
компаній

15

фізичних
осіб

20+

експертів з
біоенергетики
в Україні

Ми беремо участь у розробці законодавства, державних та галузевих програмних документів, які сприяють розвитку біоенергетики; надаємо експертну, консультаційну, інформаційну допомогу партнерам; моніторимо національне та міжнародне законодавство у сфері біоенергетики, відновлюваної енергетики, енергоефективності та щодо питань зміни клімату; співпрацюємо з міжнародними профільними асоціаціями, організаціями, бізнесом, експертами, представниками влади; організовуємо публічні заходи: конференції, тренінги, семінари; підвищуємо рівень обізнаності громадян України щодо переваг біоенергетики через сайт, соціальні мережі, дайджест.

www.uabio.org

Члени **UABIO**:



Резюме	6
--------------	---

1

Доступність сировини з побічної продукції кукурудзи на зерно	6
--	---

1.1. Сучасний стан виробництва кукурудзи на зерно в світі та Україні	6
1.2. Оцінка енергетичного потенціалу побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні	11
1.3. Картограми потоків побічної продукції кукурудзи на зерно	13
1.4. Паливні характеристики та властивості побічної продукції кукурудзи на зерно	15

2

Створення ланцюжків заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно	18
---	----

2.1. Вибір технології заготівлі основної та побічної продукції кукурудзи на зерно	18
2.2. ТЕО заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно	23
2.3. Витрати на зберігання побічної продукції кукурудзи на зерно	31

3

ТЕО виробництва брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно	33
--	----

4

ТЕО виробництва пелет з побічної продукції кукурудзи на зерно	35
---	----

Висновки	39
----------------	----

Умовні позначення та скорочення	40
---------------------------------------	----

Попередні публікації UABIO	41
----------------------------------	----

ЗМІСТ АНАЛІТИЧНОЇ ЗАПИСКИ

Резюме

В Аналітичній записці № 23 Біоенергетичної асоціації України представлено результати техніко-економічного аналізу заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно та її переробки у пелети та брикети. Актуальність теми обумовлена збільшенням в Україні за останні роки врожайності кукурудзи на зерно, що створює можливість впровадження технологій заготівлі побічної продукції цієї сільськогосподарської культури, апробованих у США і ЄС, та кращими паливними характеристиками даного виду аграрної біомаси у порівнянні з іншими, наприклад, соломом зернових колосових культур. Переробка побічної продукції кукурудзи на зерно у тверді біопалива, зокрема, пелети і брикети, є економічно обґрунтованою. Для цього на ринку представлено необхідне вітчизняне та імпортерне обладнання.

1

**ДОСТУПНІСТЬ
СИРОВИНИ З
ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ
КУКУРУДЗИ
НА ЗЕРНО**

1.1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО В СВІТІ ТА УКРАЇНІ

Кукурудза – це найбільш урожайна культура, всі частини якої (рис. 1.1) широко використовуються у різних галузях сільського господарства та промисловості (рис. 1.2), зокрема:

- для виробництва продуктів харчування;
- як високоенергетичний корм для тваринництва та птахівництва;
- як сировина для виробництва біопалива першого та другого покоління;
- як сировина для виробництва біогазу;
- як сировина для твердих біопалив;
- як добрива;
- як сировина для фармацевтичної, хімічної та інших галузей промисловості.



а) зерно



б) качани з обгорткою



в) стебла



г) стрижні качанів

Рис. 1.1. Основні частини кукурудзи

Великим є й агротехнологічне значення кукурудзи, оскільки вона очищує ґрунт від бур'янів та є гарним попередником у сівозміні. За поглинанням вуглекислого газу й виділенням кисню кукурудза займає одне з перших місць серед всіх культурних рослин і є навіть ефективні-

шою, ніж ліс аналогічної площі¹. Вирощування кукурудзи на зерно дозволяє краще використовувати сільськогосподарську техніку за рахунок пізніших строків посіву і збирання. Цінні властивості кукурудзи викликають її стабільно високий попит на світовому ринку. Більше інформації про властивості та особливості вирощування кукурудзи наведено у **Аналітичній записці UABIO №16** «Можливості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання в Україні».

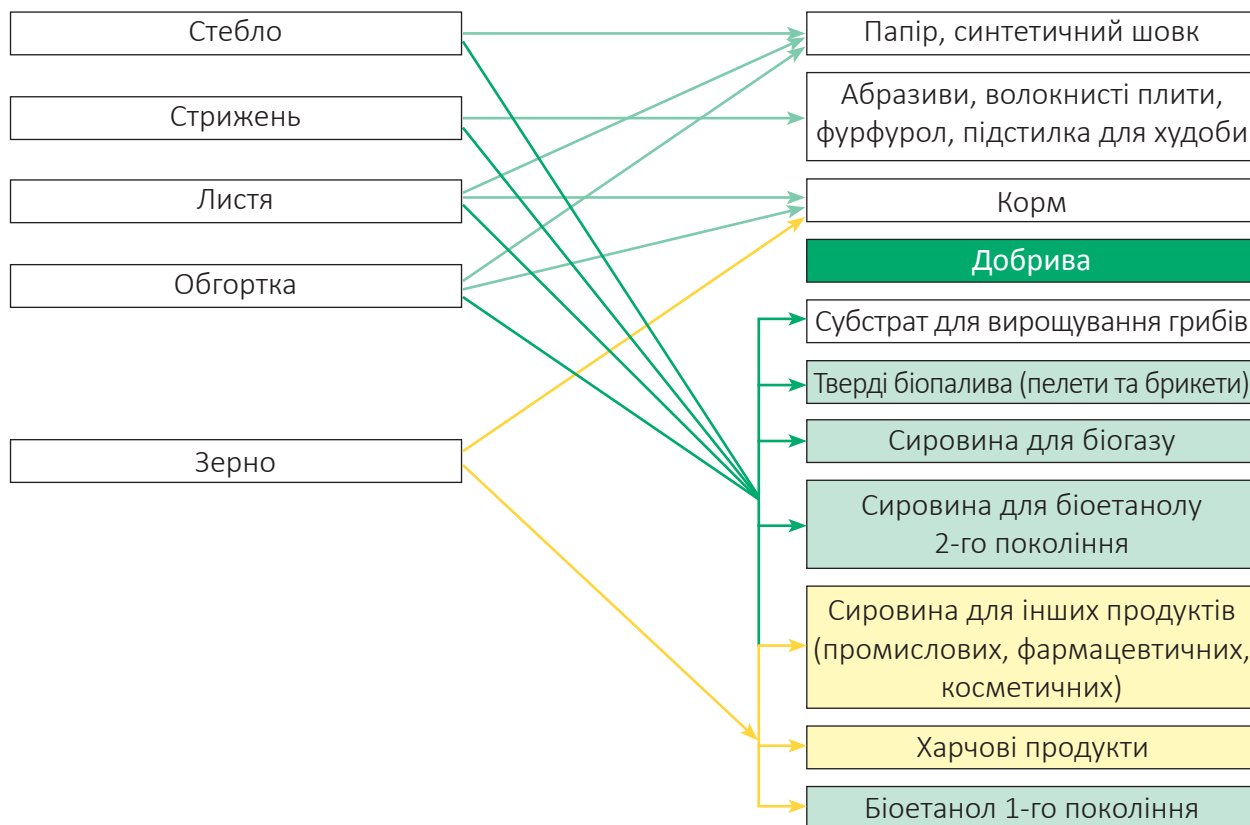


Рис. 1.2. Напрямки використання зерна та побічної продукції кукурудзи

США є світовим лідером із валового збору та врожайності кукурудзи на зерно. За попередніми даними, виробництво кукурудзи в США у 2018/2019 маркетинговому році (МР) становило 364,3 млн т (32,5% від світового виробництва), середня врожайність – 11,1 т/га (табл. 1.1). В інших країнах виробництво кукурудзи у 2018/2019 МР було таким: Китай – 257,3 млн т, Бразилія – 101 млн т, ЄС – 64,2 млн т, Аргентина – 51 млн т та Україна – 35,8 млн т (6-е місце у світі). При цьому у січні поточного року прогноз USDA² для України на 2019/2020 МР становить 35,5 млн т, що дещо нижче, ніж історичний рекорд 2018 р.

Зростання врожайності кукурудзи пов'язано із розвитком аграрної науки та використанням біотехнології для створення гібридів, що з 2000 року забезпечує приріст врожайності у США на 2% щорічно³. На порівняльних випробуваннях американські фермери досягають врожайності зерна кукурудзи понад 250 ц/га. У 2019 р. Національна асоціація виробників кукурудзи США повідомила про встановлення світового рекорду у штаті Вірджинія – близько 386 ц/га (616,2 бушелі/акр) зерна кукурудзи⁴.

¹ Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування і використання / Під загальною редакцією Д. Шпаара. – К.: Альфа-стевія ЛТД – 2009. – 396 с.

² World Agricultural Production, USDA Reports <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>

³ <http://agriculture.by/articles/rastenievodstvo/urozhajnost-kukuruzy-budet-rasti.-pochemu>

⁴ <https://www.ocj.com/2019/12/2019-national-corn-yield-contest-hits-new-yield-record/>

Таблиця 1.1. Основні виробники зерна кукурудзи у світі (за МР)²

№ п/п	Країна / регіон	Площа, млн га						Врожайність, т/га						Валовий збір, млн т					
		2014/ 2015	2015/ 2016	2016/ 2017	2017/ 2018	2018/ 2019	2019/ 2020	2014/ 2015	2015/ 2016	2016/ 2017	2017/ 2018	2018/ 2019	2019/ 2020	2014/ 2015	2015/ 2016	2016/ 2017	2017/ 2018	2018/ 2019	2019/ 2020
1	США	33,6	32,7	35,1	33,5	32,9	33,0	10,7	10,6	11,0	11,1	11,1	10,6	361,1	345,5	384,8	371,1	364,3	347,8
2	Китай	37,07	38,1	44,2	42,4	42,1	41,3	5,8	5,9	6,0	6,1	6,1	6,3	215,6	224,6	263,6	259,1	257,3	260,8
3	Бразилія	15,8	16,0	17,6	16,6	17,5	18,1	5,4	4,2	5,6	4,9	5,8	5,6	85,0	67,0	98,5	82,0	101,0	101,0
4	ЄС	9,5	9,3	8,6	8,3	8,3	8,7	8,0	6,4	7,2	7,5	7,8	7,5	75,7	58,8	61,9	62,0	64,2	65,0
5	Аргентина	3,2	3,7	4,9	5,2	6,0	6,1	8,3	8,0	8,4	6,2	8,4	8,2	29,8	29,5	41,0	32,0	51,0	50,0
6	Україна	4,6	4,1	4,2	4,4	4,6	4,9	6,2	5,7	6,6	5,4	7,8	7,2	28,5	23,3	28,0	24,1	35,8	35,5
7	Індія	9,3	8,7	9,6	9,4	9,2	9,5	2,6	2,6	2,3	3,1	3,0	3,1	24,2	22,6	25,9	28,8	27,2	29,0
8	Мексика	7,33	7,2	7,5	7,3	7,2	6,8	3,5	3,6	3,7	3,8	3,8	3,7	25,5	26,0	27,6	27,6	27,6	25,0
	Світ	178,6	180,6	194,5	192,1	191,7	192,2	5,7	5,4	5,8	5,6	5,9	5,8	1023	972	1123	1080	1122	1111

Примітка: 2018/2019 МР – попередні дані, 2019/2020 МР – прогноз (січень 2020 р.).

Кукурудза була однією з основних сільськогосподарських культур в Україні протягом принаймні останнього десятиліття (рис. 1.3). Незважаючи на деякі коливання, загальною тенденцією було зростання врожаю зерна кукурудзи (рис. 1.4). За даними 2018 року, посівна площа під кукурудзу на зерно становила 4564 тис. га (що складало майже 31% посівної площі під усі зернові та зернобобові культури), при цьому валовий збір досягнув 35,8 млн. т, а урожайність – 78,4 ц/га. У 2019 р. площі під кукурудзою на зерно в Україні зросли до 4,9 млн га.



Рис. 1.3. Виробництво зернових культур та соняшника в Україні⁵

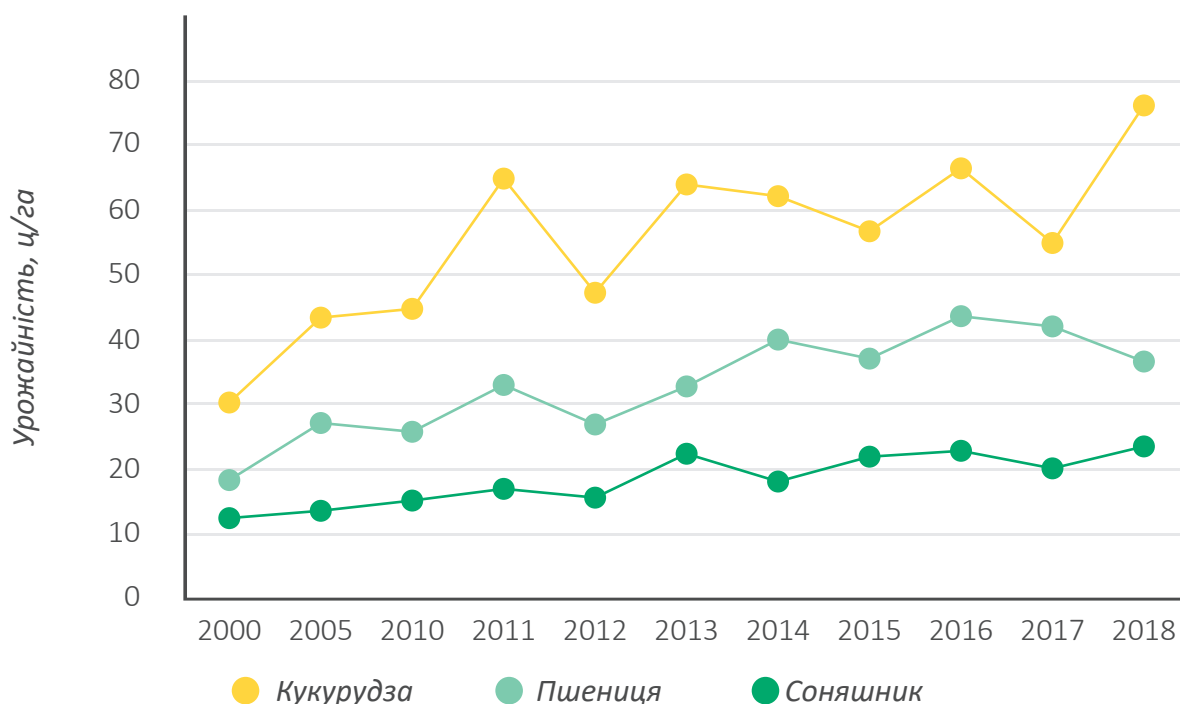


Рис. 1.4. Урожайність зернових культур та соняшника в Україні⁵

⁵ Рослинництво України 2018. Статистичний збірник ДССУ, 2019 <http://www.ukrstat.gov.ua/>

Дані щодо валового врожаю (виробництва) кукурудзи на зерно, її зібраної площі та врожайності в регіонах України наведені у табл. 1.2. Полтавська область лідирує серед інших регіонів України у виробництві кукурудзи (майже 4,9 млн т у 2018 р.), дещо менше у 2018 р. зібрали у Чернігівській (3,8 млн т) та Вінницькій областях (3,8 млн т).

Таблиця 1.2. Виробництво кукурудзи на зерно в областях України у 2014-2018 рр.

Область	Валовий збір (виробництво), тис. т					Зібрана площа, 1000 га					Урожайність, ц/га				
	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Вінницька	2702,7	1476,9	2574,3	2554,5	3751,4	327,1	299,8	303,9	355,8	378,9	82,6	49,3	84,7	71,8	99,0
Волинська	184,9	119,8	149,1	161,1	288,5	23,9	19,1	21,2	20,6	27,6	77,5	62,8	70,1	78,3	104,3
Дніпропетровська	929,1	1115,8	1197,6	1029,5	1329,7	348,1	296,6	339,2	320,9	309,2	26,7	37,6	35,3	32,1	43,0
Донецька	366,7	203,6	195,2	210,3	178,5	101,1	65,1	65,9	73,6	60,6	36,3	31,3	29,6	28,6	29,4
Житомирська	1292,9	701,1	1171,1	1088,1	1504,7	178,9	144,2	144,2	149,5	165,5	72,3	48,6	81,1	72,8	91,0
Закарпатська	196,4	193,9	281,7	274,3	272,1	42,9	45,7	51,5	50,5	51,4	45,8	42,4	54,7	54,2	53,1
Запорізька	130,7	137,8	148,6	136,5	127,7	47,0	39,9	50,9	42,8	36,9	27,8	34,5	29,2	31,9	34,6
Івано-Франківська	355,8	221,3	310,1	291,9	327,3	49,8	38,6	44,5	44,5	43,3	71,5	57,3	69,6	65,6	75,6
Київська	2053,3	1466,8	1835,3	1597,1	2828,9	259,1	237,1	247,9	265,3	290,9	79,2	61,9	74,1	60,2	97,2
Кіровоградська	1834,4	1702,8	2071,3	1568,3	2268,7	367,3	324,1	364,6	394,8	373,3	49,9	52,5	56,8	39,7	60,8
Луганська	316,3	206,4	306,5	181,4	226,5	89,3	77,9	84,3	81,7	65,4	35,4	26,5	36,3	22,2	34,6
Львівська	434,1	244,1	277,0	271,0	358,2	62,2	39,7	39,4	40,0	40,2	69,7	61,5	70,1	67,7	89,2
Миколаївська	499,2	428,4	474,5	378,8	571,4	133,9	134,1	121,5	122,8	113,3	37,3	32,0	39,0	30,8	50,4
Одеська	546,0	457,0	609,6	512,5	717,7	162,1	161,3	159,9	154,0	144,4	33,7	28,3	38,1	33,3	49,7
Полтавська	3380,1	3636,1	4208,7	2897,7	4927,6	581,8	498,3	543,8	575,0	599,4	58,1	73,0	77,4	50,4	82,2
Рівненська	506,3	365,9	520,9	410,1	475,9	61,3	48,9	64,4	60,7	56,0	82,6	74,8	80,8	67,6	84,9
Сумська	2672,7	2336,7	2616,5	2387,9	3273,4	325,5	305,0	314,4	319,7	367,9	82,1	76,6	83,2	74,7	89,0
Тернопільська	1188,1	752,9	818,4	861,1	1005,5	153,4	118,5	110,8	108,9	107,6	77,5	63,5	73,8	79,0	93,5
Харківська	1606,8	1427,9	1564,1	950,9	1432,5	301,0	264,1	276,5	275,4	254,4	53,4	54,1	56,6	34,5	56,3
Херсонська	224,5	200,2	262,3	298,1	293,0	43,3	35,2	40,4	45,0	41,4	51,8	57,0	65,0	66,2	71,0
Хмельницька	1727,4	1120,6	1151,8	1516,1	2101,6	209,6	186,1	153,5	189,8	209,1	82,4	60,2	75,1	79,9	100,5
Черкаська	2286,8	2106,2	2495,6	1916,1	3363,2	325,8	296,4	330,5	348,8	364,1	70,2	71,1	75,5	54,9	92,4
Чернівецька	399,7	244,4	254,2	312,4	330,5	63,0	51,2	52,5	60,2	54,1	63,4	47,7	48,4	51,9	61,0
Чернігівська	2661,9	2461,0	2580,2	2863,1	3846,6	369,5	356,6	326,5	380,4	409,3	72,0	69,0	79,0	75,3	94,0
УКРАЇНА	28496,8	23327,6	28074,6	24668,8	35801,1	4626,9	4083,5	4252,2	4480,7	4564,2	61,6	57,1	66,0	55,1	78,4

1.2. ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО В УКРАЇНІ

Побічна продукція кукурудзи на зерно (кукурудзиння) складається з (рис. 1.5):

- стебел, що становлять близько 52,5% всієї маси решток. При цьому стебла складають 27,3% маси всієї рослини, включаючи зерно (ті ж показники представлені нижче для інших частин кукурудзи);
- листя – 20,0% (10,6%);
- стрижнів – 17,5% (9,0%);
- обгортки – 8,5% (4,3%);
- інших частин – 1,5% (0,8%).

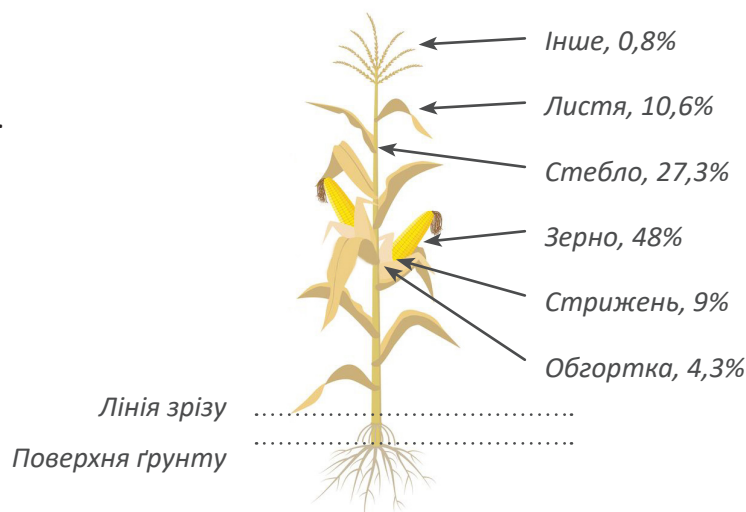


Рис. 1.5. Основні частини кукурудзи та їхні масові співвідношення⁶

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 1,37. При збиранні кукурудзи на зерно зернозбиральним комбайном формуються три потоки рослинних решток: стерня; стебла і листя, які залишаються за жаткою, та обгортка і стрижні, які залишаються за комбайном (рис. 1.6).

Оцінка енергетичного потенціалу побічної продукції кукурудзи на зерно у 2018 р., зробленого на базі підходів Біоенергетичної асоціації України⁸, показала наступні результати (табл. 1.3):

- теоретичний потенціал (весь обсяг утвореної побічної продукції) складає 46,5 млн т або 8,9 млн т н.е.;
- економічний потенціал (обсяги, доступні для енергетичного використання, що складають 40% від теоретичного потенціалу) становить 18,6 млн т або 3,6 млн т н.е., включаючи стебла – 9,7 млн т (1,9 млн т н.е.) та стрижні – 3,3 млн т (0,6 млн т н.е.).



Позначення: СТ – стебло, ЛТ – листя, ОБ – обгортка, СТР – стрижень, $M_{\text{зерна}}$ – маса зерна

Рис. 1.6. Орієнтовні потоки рослинних решток при збиранні кукурудзи зернозбиральним комбайном

⁶ L. Kocsis, Z. Hudoba and T. Vojtela. Investigation of the corn stalk gathering for energetic use <https://www.yumpu.com/en/document/read/35926184/investigation-of-the-maize-stalk-gathering-for-energetic-use>

⁷ Згідно з даними Відділення рослинництва Національної академії аграрних наук України, отриманих листом № 5-2/256 від 16.11.2012.

⁸ Аналітична записка UABIO №7. <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-7-ua.pdf>

Таблиця 1.3. Енергетичний потенціал ПП кукурудзи на зерно в Україні у 2018 р.

Області	Теоретичний потенціал		Економічний потенціал	
	тис. т	тис. т н.е.	тис. т	тис. т н.е.
Вінницька	4876,8	931,8	1950,7	372,7
Волинська	375,1	71,7	150,0	28,7
Дніпропетровська	1728,6	330,3	691,4	132,1
Донецька	232,1	44,3	92,8	17,7
Житомирська	1956,1	373,8	782,4	149,5
Закарпатська	353,7	67,6	141,5	27,0
Запорізька	166,0	31,7	66,4	12,7
Івано-Франківська	425,5	81,3	170,2	32,5
Київська	3677,6	702,7	1471,0	281,1
Кіровоградська	2949,3	563,5	1179,7	225,4
Луганська	294,5	56,3	117,8	22,5
Львівська	465,7	89,0	186,3	35,6
Миколаївська	742,8	141,9	297,1	56,8
Одеська	933,0	178,3	373,2	71,3
Полтавська	6405,9	1224,0	2562,4	489,6
Рівненська	618,7	118,2	247,5	47,3
Сумська	4255,4	813,1	1702,2	325,2
Тернопільська	1307,2	249,8	522,9	99,9
Харківська	1862,3	355,8	744,9	142,3
Херсонська	380,9	72,8	152,4	29,1
Хмельницька	2732,1	522,0	1092,8	208,8
Черкаська	4372,2	835,4	1748,9	334,2
Чернівецька	429,7	82,1	171,9	32,8
Чернігівська	5000,6	955,5	2000,2	382,2
УКРАЇНА	46541,4	8893,0	18616,6	3557,2

До 2030 р. можна очікувати збільшення енергетичного потенціалу побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні до 19,2 млн т/рік, або 3,7 млн т н.е./рік, з огляду на очікуване зростання врожайності кукурудзи в Україні до найкращих показників європейських країн. Минулого року середня врожайність кукурудзи в Україні досягла 78,4 ц/га. Враховуючи поточну позитивну динаміку розвитку рослинництва в країні, протягом найближчих 10 років Україна, швидше за все, вийде на рівень врожаю кукурудзи провідних країн ЄС.

1.3. КАРТОГРАМИ ПОТОКІВ ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО

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. Наприклад, в Україні у 2016 році кукурудзу на зерно зібрали з 24,4% загальної площі до початку жовтня (20,4% річного виробництва) та з 65,7% площі до початку листопада (61,4% річного виробництва) (рис. 1.7). До 2 грудня 2016 року частка зібраної площі під кукурудзою становила 95-100% у 10 областях, а у решті зібрали переважно понад 80% (табл. 1.4). При цьому збирання кукурудзи на зерно здійснювалося більш динамічно в центральних та південних регіонах країни.

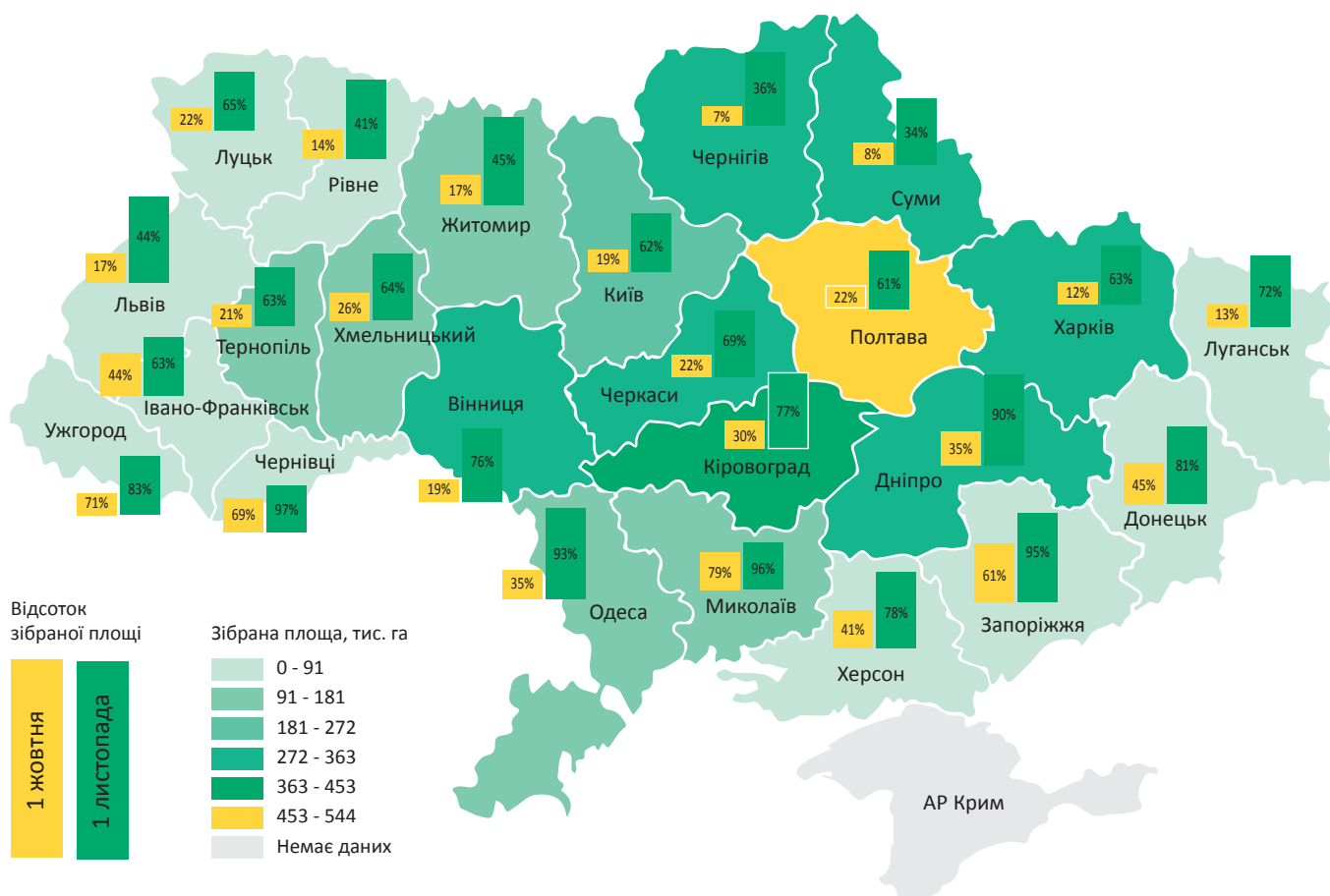


Рис. 1.7. Динаміка збирання кукурудзи на зерно в регіонах України (2016)⁹

⁹Report on "Analysis of utilisation of corn straw as an energy source" (2018). Prepared by SEC Bio-mass for EBRD against Contract C38842/1018/5362.

Таблиця 1.4. Динаміка збирання кукурудзи на зерно в регіонах України у 2015-2018 рр.¹⁰

Області	Відсоток зібраної площі із кукурудзою на зерно, %			
	на 15.12.2015	на 02.12.2016	на 08.12.2017	на 14.12.2018
Вінницька	100	96	92	100
Волинська	100	95	98	100
Дніпропетровська	100	98	97	100
Донецька	100	82	98	100
Житомирська	100	83	89	93
Закарпатська	100	100	98	100
Запорізька	98	100	99	100
Івано-Франківська	100	69	100	95
Київська	100	88	86	95
Кіровоградська	100	100	100	100
Луганська	100	87	96	100
Львівська	96	73	77	100
Миколаївська	100	100	95	100
Одеська	100	99	100	100
Полтавська	100	71	91	100
Рівненська	100	64	67	98
Сумська	95	56	81	95
Тернопільська	100	77	83	100
Харківська	99	79	96	100
Херсонська	100	96	100	100
Хмельницька	100	87	77	100
Черкаська	100	90	97	100
Чернівецька	99	98	99	100
Чернігівська	94	72	81	95

Слід зазначити, що останніми роками деякі агровиробники збирали кукурудзу у грудні, січні та навіть пізніше. Однак це пов'язано не з агротехнічними вимогами, а з певними виробничими особливостями та економічною доцільністю. Відповідно до існуючих періодів збирання, типовий «графік» отримання кукурудзиння представлений у табл. 1.5.

Таблиця 1.5. Сезонне отримання кукурудзиння в Україні

Місяць	Коментарі
Січень	Нетиповий період (лише у випадках деяких виробничих потреб та економічної доцільності)
Вересень	Типовий період
Жовтень	Типовий період
Листопад	Типовий період
Грудень	Нетиповий період (лише у випадках деяких виробничих потреб та економічної доцільності)

¹⁰ Урожай on-line <https://latifundist.com/urozhaj-online-2018>

Розподіл потенціалу кукурудзиння на території України не рівномірний. Регіони з найбільшою концентрацією цього виду біомаси – це області з найбільшими обсягами виробництва кукурудзи на зерно. У 2018 р. найбільший потенціал побічної продукції кукурудзи на зерно був на Полтавщині (з економічним енергетичним потенціалом кукурудзиння 489,6 тис. т н.е.), у Чернігівській області (382,2 тис. т н.е.) та у Вінницькій області (372,2 тис. т н.е.) (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Картограма економічного енергетичного потенціалу побічної продукції кукурудзи на зерно у регіонах України у 2018 р.

1.4. 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. Детальна характеристика та паливні властивості різних видів побічної продукції кукурудзи на зерно представлені в табл. 1.6. Порівняння властивостей із властивостями іншої сільськогосподарської біомаси та деревної тріски наведено у табл. 1.7.

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 неструктурна¹¹. Структурна зола складається з неорганічних речовин у рослині, які залишаються після її спалювання. Звичайна зольність

¹¹Brittany Schon, Matt Darr. Corn Stover Ash. <https://store.extension.iastate.edu/Product/Corn-Stover-Ash>

кукурудзиння становить 3,5%. Неструктурована 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%.

Таблиця 1.6. Характеристики та паливні властивості побічної продукції кукурудзи на зерно¹²

Параметри	Зразки стебел та листя кукурудзи ¹⁾			Зразки стрижнів кукурудзи ¹⁾		
	#704	#889	#1241	#2068	#2791	#1454
Базовий склад:						
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
Елементарний аналіз:						
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
Галоїди:				#1240 ⁵⁾		
Хлор, Cl^d , мг/кг	2661,3	0,0	6000,0	2100	–	–
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
Склад золи, %:				#402 ³⁾		
P_2O_5	8,68	–	–		–	–
SiO_2	54,04	–	–		–	–
Al_2O_3	1,99	–	–		–	–
CaO	8,66	–	–		–	–
MgO	6,11	–	–		–	–
Na_2O	0,15	–	–		–	–
K_2O	20,67	–	–		–	–
Температури плавкості золи, °C:				#402 ³⁾		
Початок деформації (IDT)	–	1232	–	900	–	850
Напівсфера (HT)	–	1500	–	–	–	1000
Розтікання (FT)	–	1500	–	1020	–	–
Біохімічна композиція, %			#2372 ⁷⁾		#979 ⁶⁾	
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.

¹²Phyllis database containing information on the composition of biomass and waste <https://phyllis.nl/>

Таблиця 1.7. Хімічний склад та характеристики різних видів біомаси

Показники	Свіжа солома («жовта»)	Лежала солома («сіра»)	Солома озимої пшениці	Стебла кукурудзи*	Стебла соняшника*	Деревна тріска
Вологість, %	10-20	10-20	11,2	45-60 (після збирання) 15-18 (висушені на повітрі)	60-70% (після збирання) ~20 (висушені на повітрі)	40
Нижча теплота згорання, МДж/кг	14,4	15	14,96	16,7 (с.р.) 5-8 (W 45-60%) 15-17 (W 15-18%)	16 (W<16%)	10,4
Вміст летючих речовин, %	>70	>70	80,2	67	73	>70
Зольність, %	4	3	6,59	6-9	10-12	0,6-1,5
Елементарний склад, %:						
вуглець	42	43	45,64	45,5	44,1	50
водень	5	5,2	5,97	5,5	5,0	6
кисень	37	38	41,36	41,5	39,4	43
хлор	0,75	0,2	0,392	0,2	0,7-0,8	0,02
калій (лужний метал)	1,18	0,22	–	стрижні: 6,1 мг/кг с.р.	5,0	0,13-0,35
азот	0,35	0,41	0,37	0,69; 0,3	0,7	0,3
сірка	0,16	0,13	0,08	0,04	0,1	0,05
Температура плавлення золи, °C	800-1000	950-1100	1150	1050-1200	800-1270	1000-1400

с.р. – суха речовина; W – вологість.

* Дані по вмісту летючих речовин, зольності, елементарному складу – % маси с.р.

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°C, а у стебел кукурудзи – близько 1100°C (див. табл. 1.7). 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.

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 (рис. 1.9).

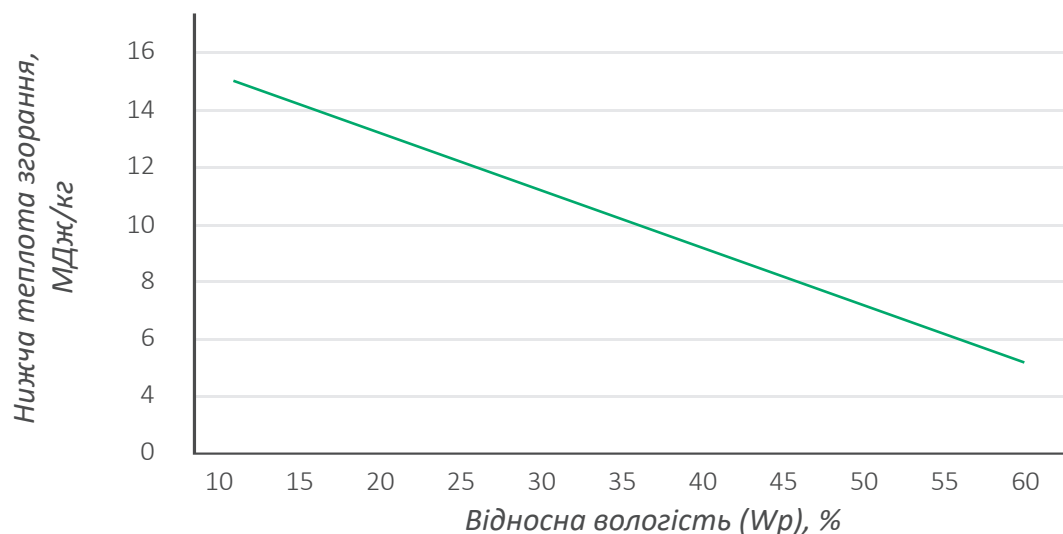


Рис. 1.9. Графік залежності нижчої теплоти згорання від відносної вологості кукурудзиння

2

СТВОРЕННЯ ЛАНЦЮЖКІВ ЗАГОТІВЛІ ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО

2.1. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ЗАГОТІВЛІ ОСНОВНОЇ ТА ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО

Виділяють декілька технологічних схем збору кукурудзи на зерно:

1. Збирання кукурудзозбиральними комбайнами з наступною доробкою качанів на стаціонарі:
 - 1.1. з одночасним очищенням качанів від обгортки;
 - 1.2. без очищення качанів від обгортки.
2. Збирання зернозбиральними комбайнами з кукурудзяними жатками.
3. 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. Він, порівняно із збором кукурудзи в качанах, забезпечує у 1,8-2 рази зменшення затрат праці та на 20-25% – витрати палива¹³. Лише деякі господарства збирають кукурудзу в необмолочених качанах з наступним стаціонарним обмолотом, що дає можливість збору стрижнів. Це насінневі заводи, метою вирощування кукурудзи у яких є отримання (гібридного) насіння кукурудзи як посадкового матеріалу. Збирання зерно-стрижневої суміші в Україні поки що мало розповсюджене. При збиранні кукурудзи зернозбиральними комбайнами, оснащеними кукурудзяними жатками, рослинні залишки орієнтовно перерозподіляються таким чином: стерня (10% маси зерна), залишки за жаткою (96% маси зерна) і залишки за комбайном (24% маси зерна) (рис. 1.6).

Пресування біомаси у тюки завдяки ущільненню сировини у більш ніж 4 рази сприяє підвищенню ефективності логістики та зменшує не-

¹³Інтенсифікація 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.

обхідні площі складів. Технологічні схеми збирання побічної продукції кукурудзи на зерно у тюках можна розділити на чотири основні типи:

1. Однопрохідна схема, в якій зернозбиральний комбайн з'єднаний із прес-підбирачем, що дозволяє формувати тюки кукурудзиння одночасно із обмолотом зерна (рис. 2.1а).

2. Двопрохідна система: зернозбиральний комбайн з жаткою, що формує валок із кукурудзиння, яке далі тюкується трактором із прес-підбирачем (рис. 2.1б).

3. Трипрохідна система: зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + трактор з прес-підбирачем великих прямокутних тюків (рулонів) (рис. 2.1с).

4. Багатопохідна система: зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем + трактор з граблями + трактор з прес-підбирачем (рис. 2.1д).

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 (рис. 2.1с).



а) Однопрохідна система: комбайн з прес-підбирачем



б) Двопрохідна система: комбайн з жаткою валкоутворювачем + трактор з прес-підбирачем



с) Трипрохідна система: комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + трактор з прес-підбирачем



д) Багатопохідна система: комбайн + трактор з мульчувачем + трактор з граблями + трактор з прес-підбирачем

Рис. 2.1. Технологічні схеми збирання побічної продукції кукурудзи на зерно¹⁴

¹⁴ Report on "Analysis of utilisation of corn straw as an energy source" (2018). Prepared by SEC Biomass for EBRD under the Contract C38842/1018/5362

На різних стадіях процесу збору врожаю можуть використовуватися різноманітні моделі сільськогосподарської техніки (рис. 2.2). На ринку України доступні не всі види необхідного обладнання, але деякі з них можна замовити та імпортувати через дилерів, що працюють в Україні.

	Використовуються у США	Дилери в Україні		Аналоги ЄС
1. Утворення валків				
	Hiniker 5600 series	—	—	Biochipper 300, 400, 500, 600
2. Тюкування				
	Massey Ferguson 2270XD	+	+	Krone Big Pack 1290 HDP
3. Збирання тюків у полі				
	ProAg 16 K Plus Bale Runner	+	+	Arcusin Autostack XP 54T

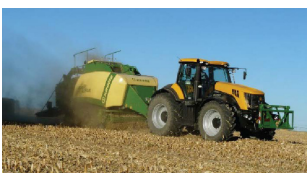


Рис. 2.2. Моделі сільськогосподарської техніки для збирання ПП кукурудзи

Приклад налагодженого ланцюга заготівлі побічної продукції у тюках, що використовується компанією DuPont (США) для забезпечення заводу виробництва біоетанолу із лігноцелюлозної сировини, представлений на рис. 2.3. Після збирання кукурудзи на зерно місцевими фермерами, спеціально підготовлені працівники заводу здійснюють заготівлю побічної продукції кукурудзи.



Рис. 2.3. Схема заготівельно-логістичної структури для збирання ПП кукурудзи для заводу виробництва біоетанолу із лігноцелюлозної сировини DuPont¹⁵

¹⁵DuPont Nevada Site Cellulosic Ethanol Facility Feedstock Collection Program http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/industrial-biotechnology/documents/IB-PDF-04-Feedstock_Collection_Program_2015.pdf

Крім технологій збирання побічної продукції кукурудзи на зерно у прямокутних тюках, також цю біомасу можна пресувати у рулони, використовуючи рулонні прес-підбирачі замість прес-підбирачів прямокутних тюків, або збирати у подрібненому вигляді як суміш різних фракцій рослинних залишків, так і окремі з них, наприклад, стрижні. На рис. 2.4 зображена технологічна схема збирання кукурудзиння у подрібненому вигляді з використанням кормозбирального комбайна або кормозбирального причепа-підбирача, які застосовуються також для збирання силосу. Згідно результатів польових досліджень 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. для кормозбирального комбайна та $6,9 \pm 2,0\%$ у с.р. для кормозбирального причепа-підбирача¹⁶.



а) Система на базі кормозбирального комбайна: зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + кормозбиральний комбайн + трактор з причепом



б) Система на базі кормозбирального причепа-підбирача: зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + трактор з кормозбиральним причепом-підбирачем

Рис. 2.4. Ланцюжки заготівлі побічної продукції кукурудзи у подрібненому вигляді

Іншим варіантом заготівлі побічної продукції кукурудзи є збирання частини залишків після обмолоту зерна комбайном. Наприклад, дослідники італійської компанії CREA-IT (Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria) провели у 2018 р. польові випробування для оцінки ефективності інноваційної механізованої системи збору стрижнів качанів¹⁷ (рис. 2.5а). Використовуючи комбайн із системою Harcob, вдалося зібрати в середньому 2 т/га стрижнів, продуктивність за зібраною біомасою – 4,1 т/год¹⁸. Компанія Vermeer випускає збирач стрижнів CCX770 (рис. 2.5b), який доступний на ринку сільськогосподарської техніки¹⁹. Збирач стрижнів Vermeer CCX770 – це причіпна машина, яка приєднується до зернозбирального комбайна. Цей технічний засіб дозволяє фермерам за один прохід збирати як зерно кукурудзи, так і окремо – стрижні.

¹⁶ Monika Fleschhut, Kurt-Jurgen Hulsbergen, Stefan Thurner, Joachim Eder Analysis of different corn stover harvest systems / LANDTECHNIK, 71 (6), 2016. – 252-270 p.

¹⁷ <https://www.becoolproject.eu/2018/10/22/recovering-maize-cob-converting-untapped-biomass-resource-into-valuable-feedstock/>

¹⁸ <http://www.etaflorence.it/proceedings/?detail=15215>

¹⁹ https://www.vermeer.com/NA/en/N/equipment/cob_harvester



a)



b)

Рис. 2.5. Збирач стрижнів: а – система Harcob; б – Vermeer CCX770

Для збирання побічної продукції кукурудзи на зерно можна застосовувати різноманітні технології на базі різних машин, але, беручи до уваги наявне на ринку обладнання та результати польових випробувань у США та ЄС, доцільно провести техніко-економічну оцінку чотирьох ланцюгів заготівлі кукурудзиння:

1) **SC1** – трипрохідна система на базі прес-підбирача великих прямокутних тюків: зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + трактор з прес-підбирачем великих прямокутних тюків (рис. 2.1с);

2) **SC2** – трипрохідна система на базі рулонного прес-підбирача: зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + трактор з рулонним прес-підбирачем;

3) **SC3** – система на базі кормозбирального комбайна: зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + кормозбиральний комбайн + трактор з причепом (рис. 2.4а);

4) **SC4** – система на базі кормозбирального причепа-підбирача: зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + трактор з кормозбиральним причепом-підбирачем (рис. 2.4б).

Додатково буде розглянута технологія заготівлі стрижнів качанів на базі Vermeer CCX770 (рис. 2.5б).

2.2. ТЕО ЗАГОТІВЛІ ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО

Економічна ефективність заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно залежить від капітальних витрат на технологічне обладнання та операційних витрат, які обумовлені питомою масою зібраної біомаси з одиниці площі поля, продуктивністю машин та відстанню транспортування зібраної біомаси від поля до центрального складу.

З практичного досвіду фермерів США з гектара збирають від 2,5 до 5 т с.р. побічної продукції кукурудзи на зерно. Загалом можна приймати частку збирання ПП кукурудзи на зерно 50%. Залежність виходу побічної продукції у сухій масі з гектару поля у залежності від урожайності зерна кукурудзи із базовою вологістю 14% наведено на рис. 2.6.

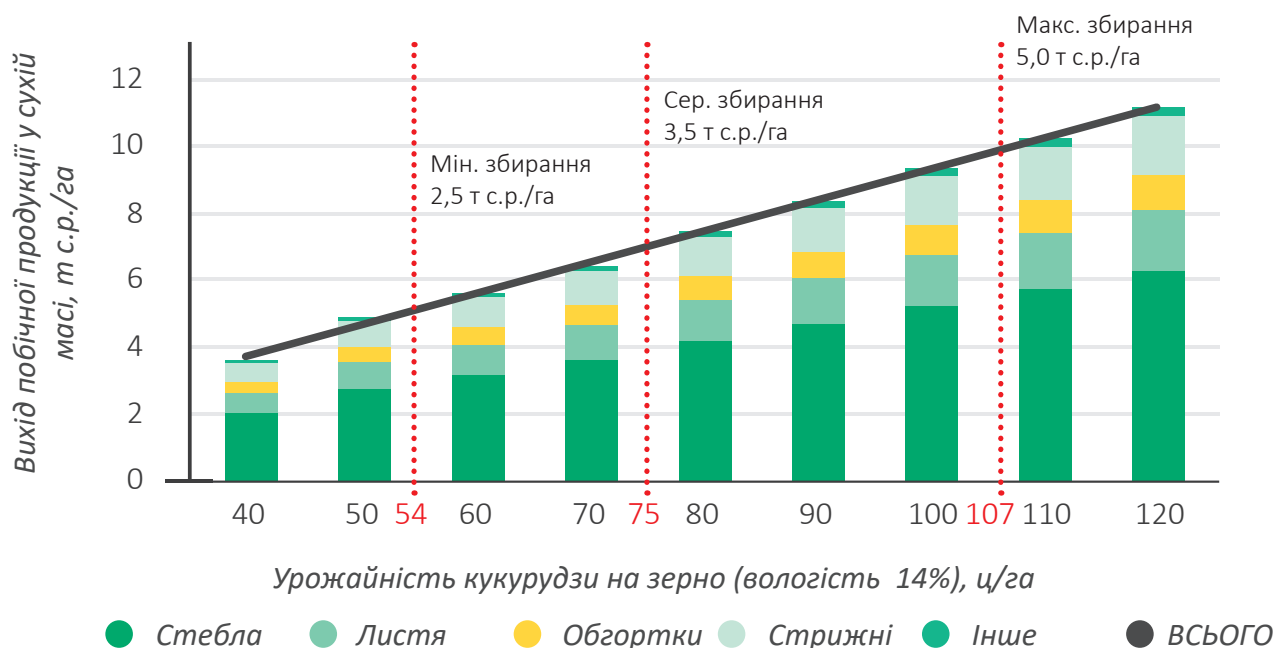


Рис. 2.6. Вихід сухої маси побічної продукції кукурудзи на зерно

У подальших розрахунках розглянемо три сценарії заготівлі біомаси:

- мінімальний – збирання 2,5 т с.р./га;
- середній – збирання 3,5 т с.р./га;
- максимальний – збирання 5,0 т с.р./га.

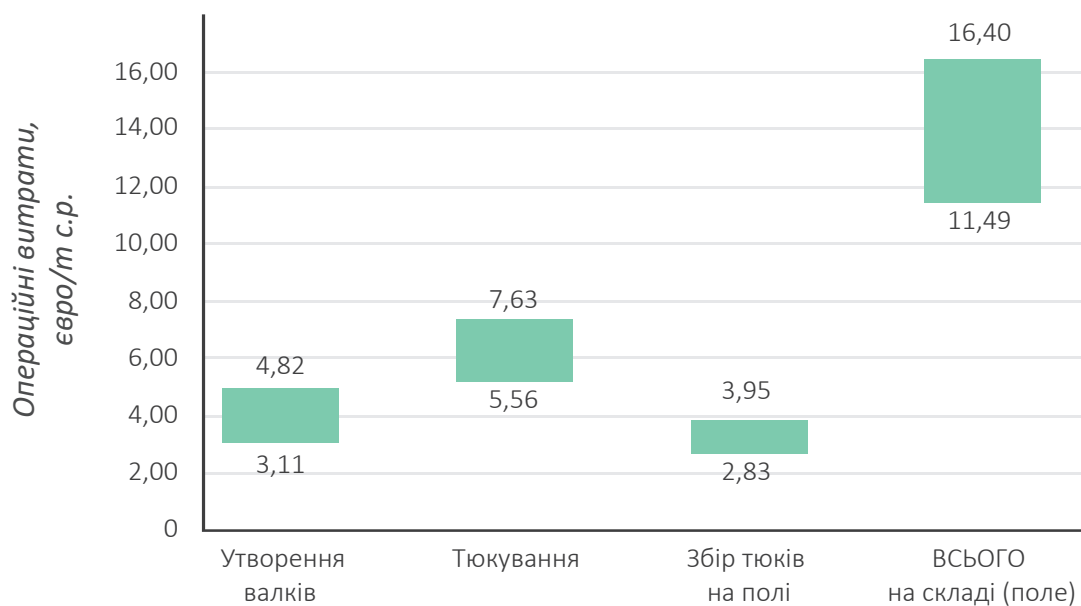
Орієнтовна вартість обладнання для заготівлі побічної продукції кукурудзи за трипрохідною системою на базі прес-підбирача великих прямокутних тюків наведена у табл. 2.1. Умовна вартість представляє частину фактичної вартості машин, що залежить від тривалості їх використання безпосередньо для заготівлі цільової біомаси протягом року.

Операційні витрати на заготівлю побічної продукції кукурудзи на зерно у великих прямокутних тюках наведено на рис. 2.7. Розмір цих витрат суттєво залежить від обсягів біомаси, яка збирається з одиниці площі.

Операційні витрати залежать також від відстані транспортування тюків з поля до центрального складу, що зображено на рис. 2.8. Значне зростання витрат спостерігається при відстані транспортування, що перевищує 100 км.

Таблиця 2.1. Капітальні витрати на машини для заготівлі побічної продукції кукурудзи у великих прямокутних тюках (SC1) з продуктивністю 20-35 т/год

Технологічні операції / машини	Вартість одиниці, тис. євро	Кіл-ть	Вартість, тис. євро	Використання машин, % річного використання			Умовна вартість, тис. євро		
				Мін	Сер	Макс	Мін	Сер	Макс
1. Формування валків	138,5	1	138,5				59		
Трактор NH T7060	102	1	102	21,9			22,3		
Мульчувач Hiniker 5620	36,5	1	36,5	100			36,5		
2. Тюкування	297	1	297				102		
Трактор Deutz-Fahr X 720	135	1	135	15,6			21		
Прес-підбирач MF 2270	162	1	162	50			81		
3. Збір та складування тюків	201,5	1	201,5				66		
Трактор NH T7060	102	1	102	15,6			15,9		
Причеп Arcusin XP 54 T	99,5	1	99,5	50			49,8		
4. Навантаження									
Телескопічний навантажувач MF9407	71	1	71	19,8	24,3	29,7	14	17	22
5. Перевезення на відстань 25-50 км									
Вантажівка МАЗ з напівпричепом	80	4	320	6,6	8,1	9,9	21	26	32
Загалом			1028				262	270	279
Загалом, пункти 1-4			708						



Верхні надписи – для збирання 2,5 т с.р./га (3920 т с.р./рік),
Нижні надписи – для збирання 5 т с.р./га (5880 т с.р./рік)

Рис. 2.7. Операційні витрати за технологічними операціями заготівлі ПП кукурудзи у прямокутних тюках

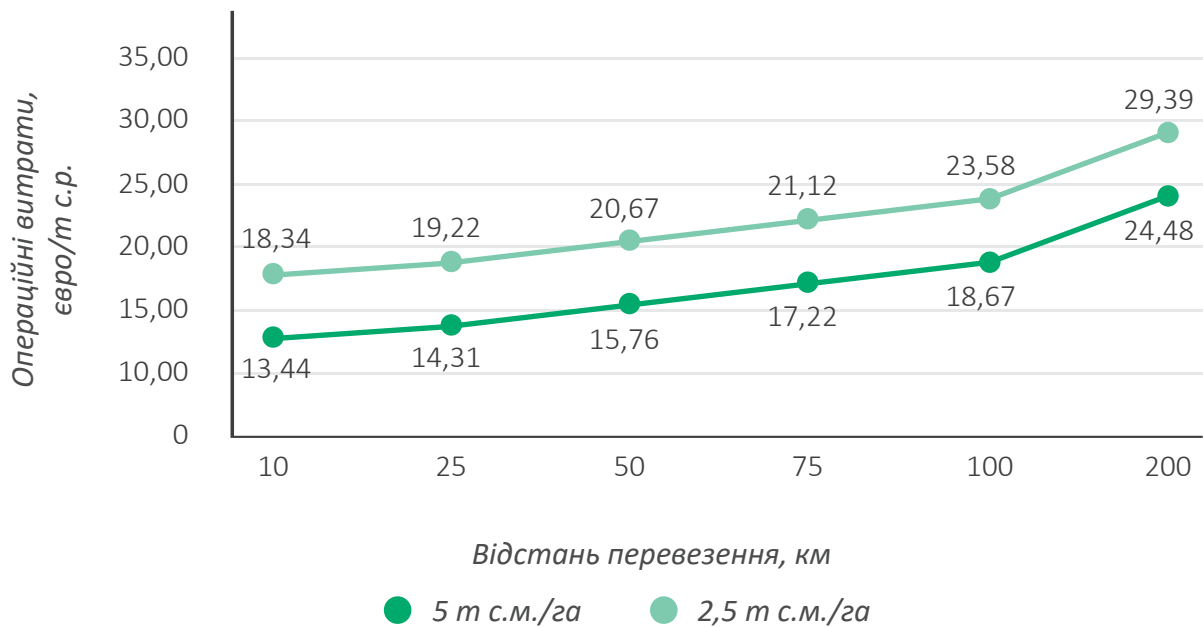


Рис. 2.8. Вплив відстані транспортування на операційні витрати заготівлі ПП кукурудзи у великих прямокутних тюках

Порівняння середньої собівартості великих прямокутних тюків побічної продукції кукурудзи на зерно за технологічними операціями у штаті Айова (США) та в Україні показує, що собівартості у обох країнах співставні: 19,37 євро/т с.р. для США та 16,40 євро/т с.р. для України. Однак витрати на оплату праці у США у 4,3 рази вищі, ніж в Україні (табл. 2.2).

Таблиця 2.2. Собівартість великих прямокутних тюків побічної продукції кукурудзи на зерно при заготівлі у США та в Україні

Технологічні операції	Структура витрат*, євро/т с.р.					Разом, євро/т с.р.
	Амортизація	ТО і ремонт	Паливо	Матеріали	Оплата праці	
Формування валків	3,05 / 1,50	0,78 / 0,75	1,85 / 2,38		0,86 / 0,19	6,54 / 4,82
Тюкування	4,33 / 2,60	1,08 / 1,30	1,65 / 2,16	1,04 / 1,43	0,62 / 0,14	8,72 / 7,63
Збір та складування тюків	2,03 / 1,68	0,72 / 0,84	0,92 / 1,33		0,43 / 0,11	4,11 / 3,95
ВСЬОГО	9,41 / 5,78	2,58 / 2,89	4,42 / 5,87	1,04 / 1,43	1,91 / 0,44	19,37 / 16,40

* У таблиці перше значення відображає собівартість заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно у США (перераховано з даних РМ 3053В, Едвардс, 2014, Університет Штату Айова). Друге значення (за знаком «/») показує собівартість в Україні для заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно в обсягах 2,5 т с.р./га.

Оцінка собівартості за іншими трьома технологіями заготівлі ПП кукурудзи (у круглих тюках, у подрібненому вигляді кормозбиральним комбайном та причепом-підбирачем) проводилася за середнім сценарієм із збиранням 3,5 т с.р./га. У табл. 2.3-2.5 наведені капітальні витрати у маши-

ни для ланцюгів поставок SC2, SC3 та SC4. Відстань транспортування від поля до основного складу становить до 25 км для круглих тюків та ланцюгу на базі причепа-підбирача кормів і 10 км – для ланцюга із кормозбиральним комбайном, що передбачає одностадійне транспортування від поля до основного складу без використання локального складу біля поля.

Технологічні операції ланцюжка заготівлі ПП кукурудзи у рулонах відповідають заготівлі біомаси у великих прямокутних тюках, але рулонний прес-підбирач менш продуктивний. Розміри рулону – діаметр 1,5 м і ширина 1,22 м. Для утримання подрібненого кукурудзиння у рулоні використовується сітка. У розрахунках врахована середня маса сухої речовини у рулоні 345 кг. Прийнята продуктивність технології становить 8-10 т/год.

Таблиця 2.3. Капітальні витрати на машини для заготівлі побічної продукції кукурудзи у круглих тюках (рулонах) (SC2) з продуктивністю 8-10 т/год

Технологічні операції / машини	Вартість одиниці, тис. євро	Кіл-ть	Вартість, тис. євро	Використання машин, % від річного викор.	Умовна вартість, тис. євро
1. Формування валків	138,5	1	138,5		44,8
Трактор NH T7060	102	1	102	8,2	8,3
Мульчувач Hiniker 5620	36,5	1	36,5	100	36,5
2. Тюкування	130	1	130		34,1
Трактор Claas Arion 640	90	1	90	15,6	14,1
Прес-підбирач Claas Rollant 620	40	1	40	50	20
3. Збір та складування тюків	120	1	120		28,9
Трактор Claas Arion 640	90	1	90	15,6	14,1
Причеп Kobzareno PT-30	30	1	30	50	14,8
4. Навантаження тюків					
Телескопічний навантажувач MF9407	71	1	71	11,8	8,4
5. Перевезення на відстань до 25 км					
Вантажівка МАЗ з напівпричепом	80	2	160	6,9	11,0
Загалом			619,2		127,2
Загалом, пункти 1-4			459,2		

Для збирання кукурудзяного силосу широко використовуються самохідні кормозбиральні комбайни. Сільськогосподарські виробники, які займаються тваринництвом, у разі наявності таких комбайнів можуть їх використати і для збирання ПП кукурудзи на зерно. Для транспортування подрібненого кукурудзиння одночасно з заготівлею необхідно використовувати багато тракторів із причепами через низьку щільність подрібненої біомаси та високу продуктивність комбайна. Для цього ланцюгу прийнята відстань транспортування становить до 10 км.

Таблиця 2.4. Капітальні витрати на машини для заготівлі побічної продукції кукурудзи кормозбиральним комбайном (SC3) з продуктивністю 20-40 т/год

Технологічні операції / машини	Вартість одиниці, тис. євро	Кіл-ть	Вартість, тис. євро	Використання машин, % від річного викор.	Умовна вартість, тис. євро
1. Формування валків	138,5	1	138,5		60,8
Трактор NH T7060	102	1	102	23,9	24,3
Мульчувач Hiniker 5620	36,5	1	36,5	100	36,5
2. Збір	240	1	240		120
Кормозбиральний комбайн Claas Jaguar 850	240	1	240	50	120
3. Перевезення	177	7	1238,1		311,4
Трактор Claas Axion 850	125	7	875	14,8	129,9
Причеп Kobzareno TZP-39	51,9	7	363,1	50	181,6
Загалом			1616,6		492,3
Загалом, пункти 1-2			378,5		

Ланцюжок на базі кормозбирального причепа-підбирача заснований на застосуванні спеціальної машини, агрегатованої із трактором, яка може збирати подрібнене кукурудзиння з валка, стискати біомасу і потім транспортувати її до локального складу поблизу поля. З локального складу біомасу завантажують телескопічним або фронтальним навантажувачом у транспортний засіб з причепом великої місткості, який забезпечує транспортування кукурудзиння до основного складу.

Таблиця 2.5. Капітальні витрати на машини для заготівлі побічної продукції кукурудзи кормозбиральним причепом-підбирачем (SC4) з продуктивністю 10-20 т/год

Технологічні операції / машини	Вартість одиниці, тис. євро	Кіл-ть	Вартість, тис. євро	Використання машин, % від річного викор.	Умовна вартість, тис. євро
1. Формування валків	138,5	1	138,5		49,7
Трактор NH T7060	102	1	102	12,9	13,2
Мульчувач Hiniker 5620	36,5	1	36,5	100	36,5
2. Збір	224	1	224		69,0
Трактор Claas Axion 850	125	1	125	15,6	19,5
Причеп-підбирач Claas Cargos 8400	99	1	99	50	49,5
3. Навантаження					
Телескопічний навантажувач MF9407	71	1	71	14,5	10,3
4. Перевезення					
Вантажівка MAZ з напівпричепом	105	3	315	9,5	9,9
Загалом			748,5		139,0
Загалом, пункти 1-4			433,5		

Оцінка собівартості заготовленої біомаси за чотирьома технологіями збирання побічної продукції кукурудзи на зерно (у великих прямокутних тюках, у рулонах; у подрібненому вигляді на базі кормозбирального комбайну та кормозбирального причепа-підбирача) проводилася за середнім сценарієм із збиранням біомаси в обсягах 3,5 т с.р./га. Діаграми з часткою різних груп витрат (оплата праці, паливо, матеріали, технічне обслуговування і ремонт та амортизація) для цих технологій наведені на рис. 2.9. Амортизація та паливо є основними статтями витрат в розглянутих ланцюгах створення доданої вартості.

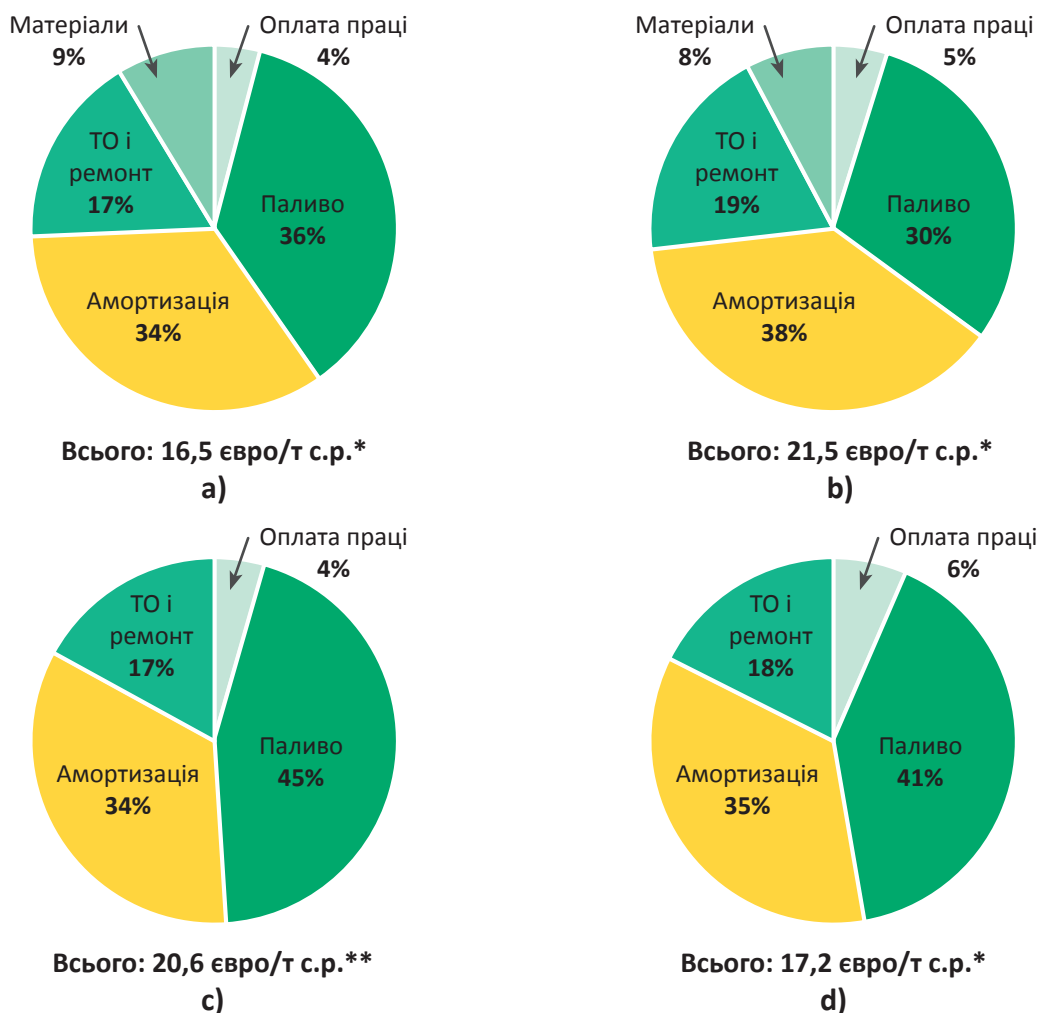


Рис. 2.9. Собівартість заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно в обсягах 3,5 т с.р./га з транспортуванням до центрального складу:

- а) прес-підбирач великих прямокутних тюків; б) прес-підбирач рулонний;
с) кормозбиральний комбайн; д) кормозбиральний причеп-підбирач.

Примітка: * Відстань транспортування 25 км

** Відстань транспортування 10 км

Залежність собівартості побічної продукції кукурудзи на зерно за чотирьома технологіями збирання врожаю 3,5 т с.р./га від відстані транспортування наведено на рис. 2.10. Збір побічної продукції кукурудзи на зерно у великих прямокутних тюках з їх транспортуванням на відстань більше 20 км є економічно доцільним. Для меншої відстані можна також використовувати кормозбиральний причеп-підбирач.

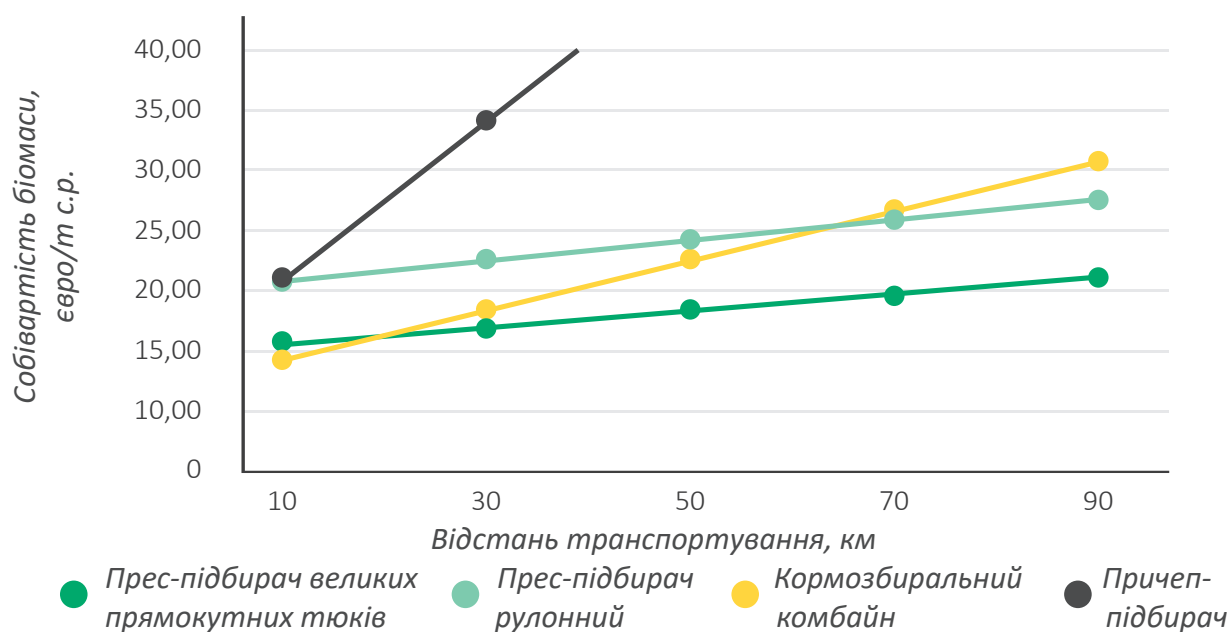


Рис. 2.10. Залежність собівартості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно від відстані транспортування біомаси

Результати ТЕО реалізації ланцюжку на базі прес-підбирача великих прямокутних тюків наведено у табл. 2.6. Термін окупності проектів із заготівлі побічної продукції рослинництва суттєво залежить від обсягів збирання біомаси з гектару, що також впливає на завантаження обладнання. Так, при збиранні побічної продукції кукурудзи на зерно 2,5 т с.р./га простий термін окупності заготівельної ланки на базі одного прес-підбирача великих прямокутних тюків складає 6,4 роки, а при заготівлі 5 т с.р./га – 3,7 років. За сценарію заготівлі середніх обсягів біомаси 3,5 т с.р., яких можна досягнути при врожайності зерна кукурудзи 75 ц/га, простий термін окупності такої заготівельної ланки становить 4,8 роки.

Таблиця 2.6. ТЕО заготівлі ПП кукурудзи у великих прямокутних тюках (SC1)

Показники	Вихід ПП кукурудзи		
	2,5 т с.р./га	3,5 т с.р./га	5 т с.р./га
Обсяги заготівлі біомаси, т с.р./рік	3920	4802	5880
Капітальні витрати, тис. євро	261,7	269,6	279,3
Операційні витрати, тис. євро/рік	80,5	90,7	103,3
Кредитні кошти (частка капітальних витрат), %	60		
Ставка по кредиту, %	7		
Вартість ПП кукурудзи на зерно у полі*, євро/т с.р.	8,0		
Повна собівартість тюків**, євро/т с.р.	27,2	24,5	22,3
Продажна ціна тюків біомаси***, євро/т с.р. з ПДВ	40		
Простий термін окупності, років	6,4	4,8	3,7
Дисконтований термін окупності (ставка дисконту 7%), років	8,7	5,8	4,2
Внутрішня норма дохідності (IRR), %	12,3	22,5	35,1

* Вартість ПП кукурудзи на зерно визначається за вартістю еквівалентних доз мінеральних добрив для заміни поживних елементів у біомасі.

** Повна собівартість тюків включає прямі витрати на заготівлю біомаси, оплату вартості побічної продукції у полі та відрахування на амортизацію техніки.

*** Відповідає ціні тюків біомаси 25 євро/т без ПДВ для ПП кукурудзи на зерно вологістю W=25%.

Вихідні дані щодо використання машин для заготівлі стрижнів качанів кукурудзи взяті зі статті Purdue ID-417-W²⁰. Завдяки додатковій вазі машини для заготівлі стрижнів CCH770 знижується продуктивність зернозбирального комбайна на 10%, це враховується при розрахунках експлуатаційних витрат. Врожайність стрижнів качанів кукурудзи становить 1,25 т с.р./га. Прийнято відстань транспортування стрижнів 10 км. Середньорічна тривалість збирання стрижнів 40 днів.

Результати техніко-економічної оцінки заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно у великих прямокутних тюках, рулонах, подрібненому вигляді на базі кормозбирального комбайна і причепа-підбирача та машини для заготівлі стрижнів наведено в табл. 2.7.

З розглянутих варіантів найнижча собівартість біомаси складає 25,2 євро/т с.р., що відповідає заготівлі за технологією SC4 із використанням кормозбирального причепа-підбирача. При використанні рулонного прес-підбирача (SC2) собівартість біомаси складе 29,5 євро/т с.р.; кормозбиральний комбайн дозволяє отримати собівартість кукурудзиння 28,6 євро/т с.р., а при збиранні стрижнів спеціалізованим збирачем – 34,9 євро/т с.р. Разом із цим прийнята більша продажна ціна зібраних стрижнів, ніж у кукурудзиння, з огляду на можливість їх використання без додаткової переробки.

Таблиця 2.7. Техніко-економічна оцінка різних технологій заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно

Показники	Технології заготівлі			
	Прес-підбирач рулонний (SC2)	Кормозб. комбайн (SC3)	Причеп-підбирач (SC4)	Збір стрижнів
Вихід ПП кукурудзи, т с.р./га	3,5	1,25		
Обсяги заготівлі біомаси, т с.р./рік	1551	5390	2924	500
Капітальні витрати, тис. євро	127,2	492,3	139,0	85,2
Операційні витрати, тис. євро/рік	33,0	116,5	55,9	8,9
Кредитні кошти (частка капітальних витрат), %	60			
Ставка по кредиту, %	7			
Вартість ПП кукурудзи на зерно у полі*, євро/т с.р.	8,0	-		
Повна собівартість біомаси**, євро/т с.р.	29,5	28,6	25,2	34,9
Продажна ціна біомаси *** або стрижнів качанів****, євро/т с.р. з ПДВ	40***	70****		
Простий термін окупності, років	9,4	8,7	4,6	6,7
Дисконтований термін окупності (ставка дисконту 7%), років	>10	>10	5,3	8,8
Внутрішня норма дохідності (IRR), %	1,7	3,3	26,0	12,6

* Вартість ПП кукурудзи на зерно визначається за вартістю еквівалентних доз мінеральних добрив для заміни поживних елементів у біомасі.

** Повна собівартість тюків включає прямі витрати на заготівлю біомаси, оплату вартості побічної продукції у полі та відрахування на амортизацію техніки.

*** Відповідає ціні тюків біомаси 25 євро/т без ПДВ для ПП кукурудзи на зерно вологістю W=25%.

**** Відповідає ціні стрижнів качанів 40 євро/т без ПДВ з вологістю W=20%.

²⁰<https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ID/ID-417-W.pdf>

Таким чином, відповідно до отриманих результатів, **найбільш економічно доцільною технологією заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно є використання великих прямокутних тюків**, що дозволить отримати біомасу на центральному складі на відстані 25 км від поля за собівартістю від 22,3 євро/т с.р. Система заготівлі подрібненої побічної продукції кукурудзи на зерно на базі кормозбирального причепа-підбирача також є економічно доцільною з простим терміном окупності 4,6 років та IRR 26,0%, але необхідно провести польові дослідження для оцінки можливості використання цієї технології для умов України. Для переробки біомаси важливо зробити техніко-економічну оцінку повного ланцюжка доданої вартості, включаючи зберігання. Подальша переробка побічної продукції кукурудзи на зерно у паливні брикети та гранули дозволить підвищити додану вартість біомаси.

2.3. ВИТРАТИ НА ЗБЕРІГАННЯ ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО

Побічну продукцію (ПП) кукурудзи на зерно слід зберігати в умовах запобігання її надмірного зволоження під впливом опадів та підмочування з землі, уникаючи гниття, та забезпечуючи необхідний протипожежний захист. Вибір типу сховища залежить від місця розташування складу та місцевих умов. ПП кукурудзи можна зберігати просто неба, під накриттям, у закритому складі або у сховищі в анаеробних умовах (без доступу кисню). При виборі відповідних систем зберігання слід враховувати декілька факторів: стабільність сировини під час зберігання, вартість складської інфраструктури, доступність сировини протягом усього терміну зберігання, інтеграція складу з переробним заводом.

Зберігання біомаси у закритих складах пропонує багато переваг порівняно з іншими системами. Однак через відносно низьку щільність ПП кукурудзи, включаючи тюки, та високі капітальні витрати на будівництво нових складів, їх використання в основному є економічно недоцільним. Хоча, якщо стейкхолдер має існуючі складські приміщення, він може використовувати їх і для зберігання ПП кукурудзи.

Зберігання ПП кукурудзи просто неба може використовуватися для тимчасових складів, коли верхній шар біомаси служить накриттям. Крім того, такий спосіб може використовуватися у деяких регіонах і для центрального складу, але потрібно робити це дуже обережно через можливі значні втрати сухої речовини у біомасі.

Анаеробне зберігання, або силосування, дуже поширений метод зберігання вологих кормів у тваринництві. Зберігання в анаеробних умовах економічно вигідно для сировини з високим вмістом вологи, особливо для зберігання тюків раннього сезону збирання або у надзвичайно вологі сезони²¹.

Зберігання ПП кукурудзи на зерно під накриттям забезпечує оптимальний баланс витрат і збереження якості. Гнучкий накривний матеріал – агроволокно – може використовуватися для захисту від дощу та снігу. Цей матеріал дає можливість виходити повітрю на поверхню, що запобігає утворенню грибка та цвілі всередині біомаси. Агроволокно використовується й для сушіння тріски. Використовувати агроволокно можливо понад 5 років²². Для подальшої оцінки вартості було обрано зберігання ПП кукурудзи під агроволокном.

Склади ПП кукурудзи повинні відповідати вимогам Правил пожежної безпеки в агропромисловому комплексі України (затверджених Наказом Міністерства аграрної політики України та Мі-

²¹<https://store.extension.iastate.edu/product/14077>

²²<http://zavod-kobzarenko.derevo.ua/catalog/details/6019>

ністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків чорнобильської катастрофи № 730/770 від 4.12.2006 р.)²³. Площа основи однієї скирти не повинна перевищувати 300 м², а штабеля пресованої соломи – 500 м². Скирти, штабелі дозволяється розташовувати попарно, при цьому розриви між скиртами, штабелями в одній парі мають бути не менше 6 м, а між сусідніми парами – не менше 30 м.

На складах важливо забезпечити вільний доступ вантажної техніки до біомаси. Основні складові витрат на зберігання ПП кукурудзи під накриттям: орендна плата за землю, витрати на підготовку складського майданчику, вартість агроволокна та інших матеріалів, витрати на вантажні операції, витрати на охорону й витрати, пов'язані з втратами сухої речовини у сировині. Оцінка витрат на зберігання під накриттям ПП кукурудзи на зерно у подрібненому вигляді, великих прямокутних тюках та рулонах наведена у таблиці 2.8. Витрати на охорону не враховувалися через припущення, що центральний склад розміщений поблизу наявної у агровиробника складської території з існуючою системою охорони.

Таблиця 2.8. Витрати на зберігання побічної продукції кукурудзи на зерно на центральному складі

Показники	Подрібнена ПП кукурудзи	Великі прямокутні тюки	Рулони
Орендна плата за землю та питомі витрати на підготовку складського майданчику, євро/(га·рік)	400		
Вартість агроволокна та інших матеріалів для однієї скирти (штабелю), євро/(скирта·рік)	273	427	427
Площа для пари скирт (штабелів) з врахуванням вимог правил пожежної безпеки, га	0,31	0,44	0,48
Маса ПП кукурудзи у парі скирт (штабелів), т с.р.	160	1103	484
Втрати сухої маси, %	9		
Витрати на зберігання ПП кукурудзи, євро/т с.р.	2,7	0,6	1,4
Витрати на вантажні операції, євро/т с.р.	4,2	2,5	3,6
Загальні витрати на зберігання на основному складі, євро/т с.р.	6,9	3,1	5,0

Витрати на зберігання ПП кукурудзи у великих прямокутних тюках під накривним матеріалом складають 3,1 євро/т с.р., що менше, ніж зберігання рулонів (5,0 євро/т с.р.) та подрібненої маси насипом (6,9 євро/т с.р.).

²³<http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0313-07>

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.

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 із 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».

Інформація про особливості виробництва паливних брикетів із біомаси наведена у **Аналітичній записці UABIO №20** «Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні».

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. 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) з продуктивністю 500-600 кг/т²⁴ (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).

Основні вхідні дані для техніко-економічної оцінки виробництва брикетів із кукурудзиння:

- у початковий рік підприємство буде виробляти 50% річної кількості брикетів;
- для операцій з завантаження тюків буде придбано бувший у використанні телескопічний навантажувач;
- використання існуючої будівлі та лінії електропередач;
- 2 особи адміністративного персоналу для продуктивності брикетування 2 та 4 т/год;
- закупівельна ціна кукурудзиння у великих прямокутних тюках – 40 євро/т с.р. з ПДВ;
- основний склад розташований поблизу із виробництвом брикетів;
- витрати на зберігання тюків кукурудзиння – 3,1 євро/т с.р.;
- відпускна ціна брикетів з ПП кукурудзи – 90,0 євро/т с.р. з ПДВ.

²⁴ https://www.youtube.com/watch?v=twM_nmZ7esg&t=4s

Операційні витрати для трьох рівнів продуктивності брикетування наведені на рис. 3.1. Основними витратами на виробництво брикетів із ПП кукурудзи є витрати на сировину (46-52%), електроенергію (12-13%), амортизацію (9-13%) та витрати на оплату праці (17% за продуктивності 0,5 т/год).

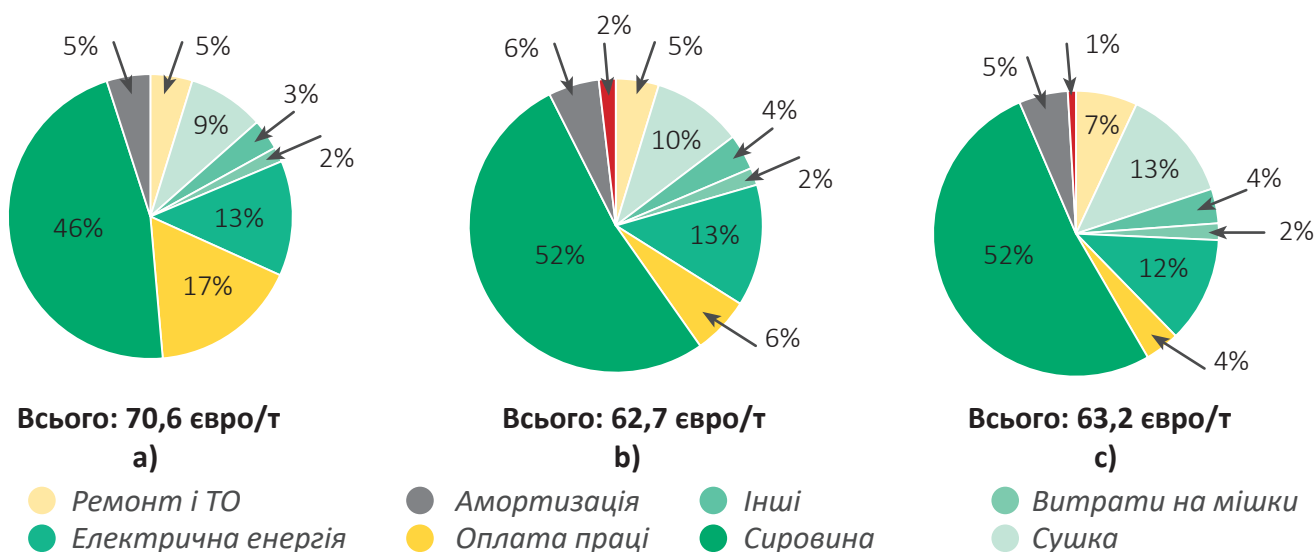


Рис. 3.1. Частка різних операційних витрат для трьох рівнів продуктивності брикетування:
а) 0,5 т/год; б) 2,0 т/год; в) 4,0 т/год.

Виробничі витрати на переробку ПП кукурудзи у паливні брикети складають 62,7 євро/т при продуктивності лінії 2 т/год, 63,2 євро/т – при 4 т/год і 70,6 євро/т – при 0,5 т/год. Результати ТЕО виробництва брикетів з кукурудзиння наведені у табл. 3.1.

Табл. 3.1. ТЕО виробництва брикетів з ПП 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.

З огляду на вихідні дані та припущення, чиста приведена вартість проекту з пресами іноземного виробництва продуктивністю 4 т/год становить близько 1214 тис. євро з внутрішньою нормою дохідності 26,1%. Простий термін окупності – 4,4 років, дисконтований термін окупності – 5,2 років. Економічні показники проекту з продуктивністю виробництва брикетів 2 т/год на базі українського обладнання дещо кращі, зокрема, IRR – 34,7%, простий термін окупності – 4,2 років.

Найбільший вплив на основні економічні показники мають продажна ціна брикетів, продуктивність брикетуючого обладнання, а також ціна сировини (рис. 3.2). 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%.

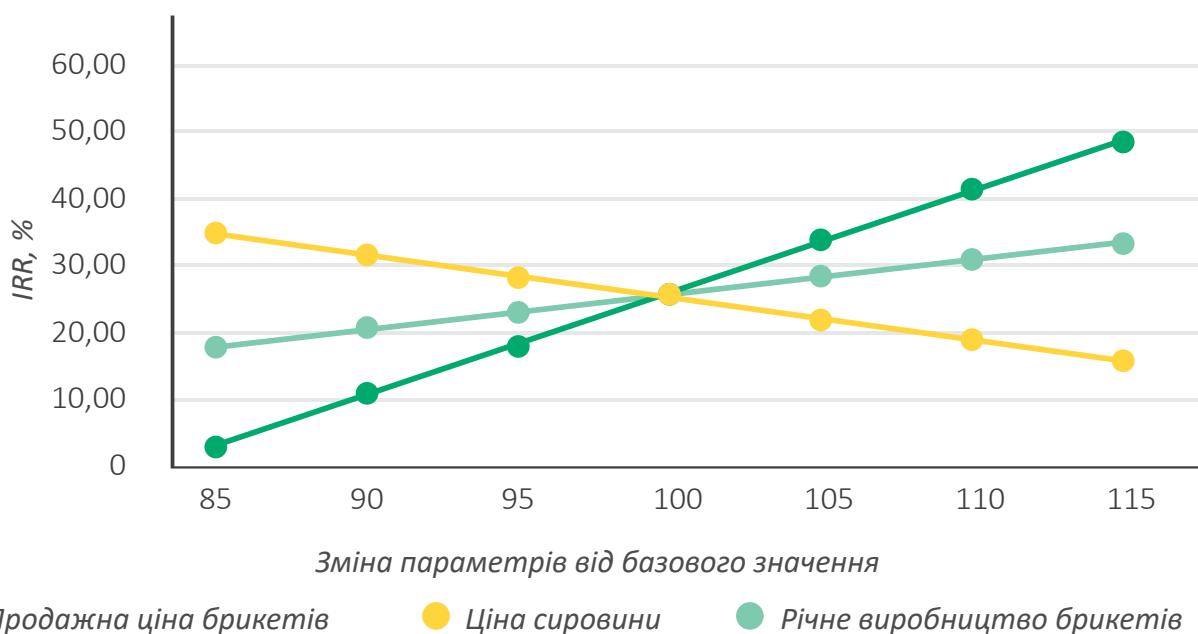


Рис. 3.2. Залежність внутрішньої норми дохідності (IRR) від зміни вибраних параметрів

Для збільшення ефективності логістичних операцій та розширення можливості енергетичного використання сільськогосподарську біомасу гранулюють для отримання паливних гранул (пелет). 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 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 мм²⁵.

4

**ТЕО ВИРОБНИЦТВА
ПЕЛЕТ З ПОБІЧНОЇ
ПРОДУКЦІЇ
КУКУРУДЗИ НА
ЗЕРНО**

²⁵ ISO 17225-6:2014 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 6: Graded non-woody pellets

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. Більше інформації щодо пелет з аграрної біомаси можна знайти у **звіті «Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси (визначення точок зростання)»**, підготовленого експертами Науково-технічного центру «Біомаса» в рамках проекту ПРООН «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі України».

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 пелет отримує можливість придбати пелети гарантованої якості.

Пропозиція пелет з ПП кукурудзи дуже обмежена. Актуальні ціни в Україні 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, 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.

Основні вхідні дані для техніко-економічної оцінки виробництва пелет із кукурудзиння:

- у початковий рік підприємство буде виробляти 50% річної кількості брикетів;
- для операцій з завантаження тюків буде придбано бувший у використанні телескопічний навантажувач;
- використання існуючої будівлі та лінії електропередачі;
- 2 особи адміністративного персоналу;
- закупівельна ціна кукурудзиння у великих прямокутних тюках – 40 євро/т с.р. з ПДВ;
- основний склад розташований поблизу із виробництвом пелет;
- витрати на зберігання тюків кукурудзиння – 3,1 євро/т с.р.;
- відпускна ціна пелет з ПП кукурудзи – 90,0 євро/т с.р. з ПДВ.

Операційні витрати для трьох рівнів продуктивності гранулювання наведені на рис. 4.1. 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 виробництва пелет 10 т/год, 67,3 євро/т – при 4 т/год та 70,5 євро/т – при 2 т/год.

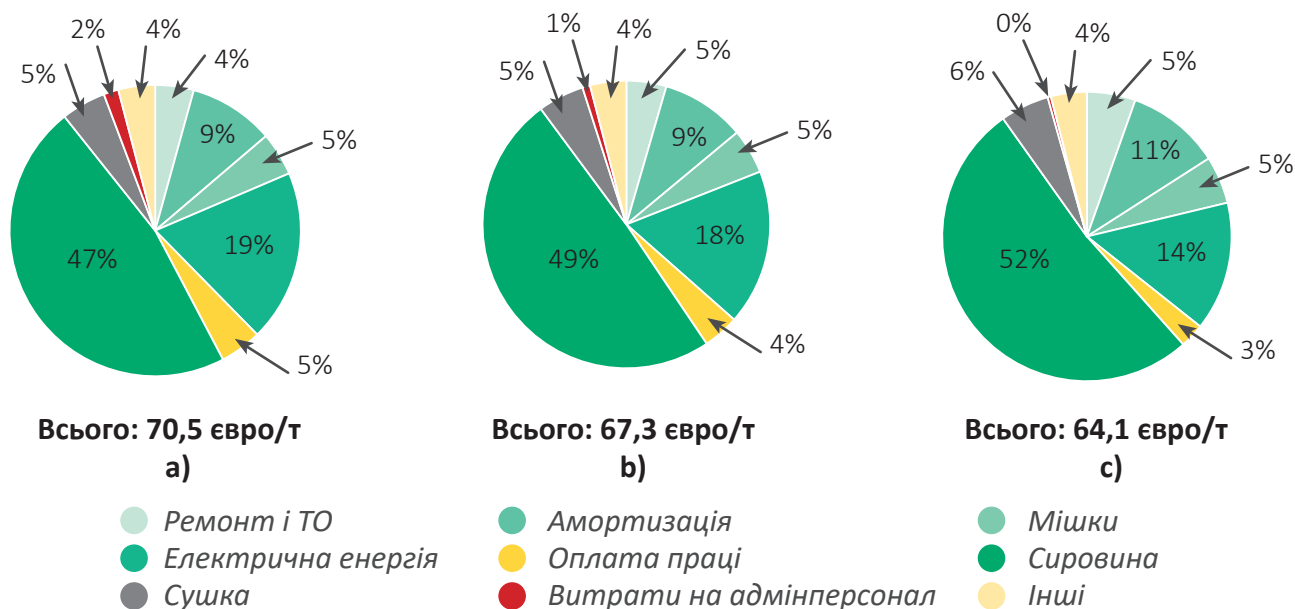


Рис. 4.1. Частка різних операційних витрат для трьох рівнів продуктивності гранулювання:
а) 2 т/год; б) 4 т/год; в) 10 т/год.

Результати ТЕО виробництва пелет з ПП кукурудзи наведені в табл. 4.1. З огляду на вихідні дані та припущення, чиста приведена вартість найбільшого із розглянутих проектів (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.

Табл. 4.1. 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.

Найбільший вплив на основні економічні показники проекту мають продажна ціна пелет, продуктивність обладнання для гранулювання, а також ціна сировини (рис. 4.2). Якщо відпускна ціна пелет з кукурудзиння знизиться на 10% при продуктивності 10 т/год (81 євро/т з ПДВ), IRR складе 10,9%. Але, якщо продажна ціна пелет збільшиться на 10% (99 євро/т з ПДВ), IRR складе 47,2%.

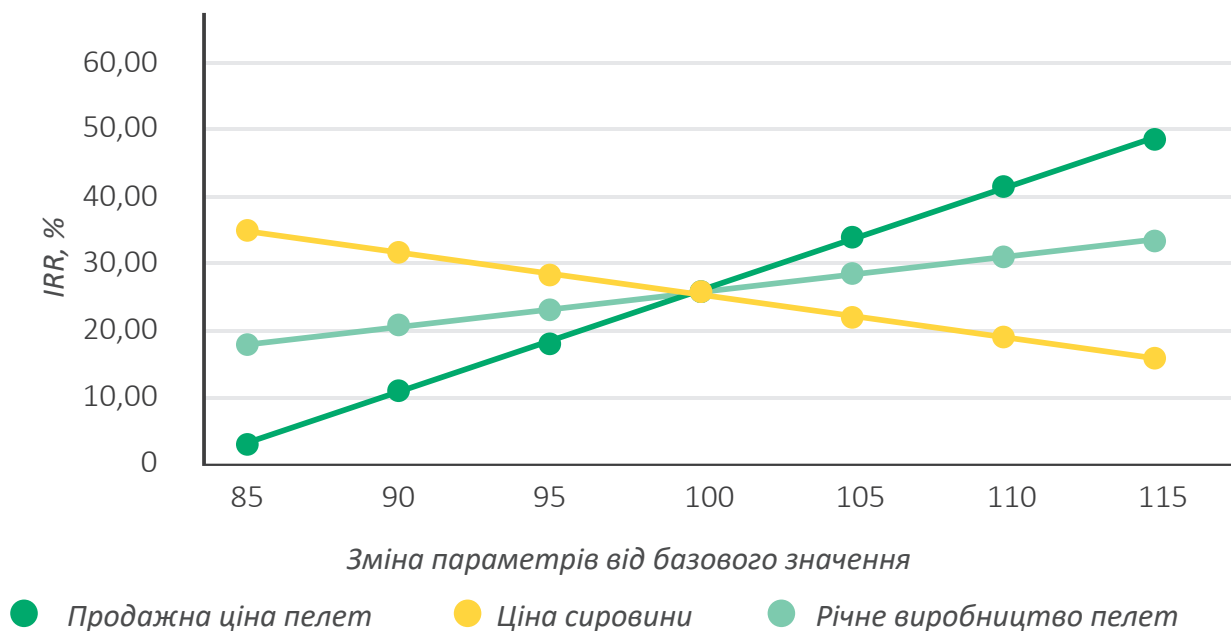


Рис. 4.2. Залежність внутрішньої норми дохідності (IRR) від зміни вибраних параметрів

ВИСНОВКИ

1. Загальною тенденцією в Україні є зростання врожайності кукурудзи. Історичний рекорд 2018 року – 35,8 млн т кукурудзи на зерно при середній врожайності 78,4 ц/га. Окрім зернової частини утворюється дуже велика кількість побічної продукції (стебла, листя, стрижні, обгортки тощо), яку можна переробити у брикети та пелети.

2. Економічний енергетичний потенціал побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні у 2018 р. становив 18,6 млн т, або 3,6 млн т н.е. Серед регіонів лідирували Полтавська область (489,6 тис. т н.е.), Чернігівська область (382,2 тис. т н.е.) та Вінницька область (372,2 тис. т н.е.).

3. Виконано техніко-економічну оцінку чотирьох технологій збору побічної продукції кукурудзи на зерно у великих прямокутних тюках, рулонах, подрібненому вигляді із використанням кормозбирального комбайна та причепа-підбирача. З них найбільш ефективним є збір ПП у великих прямокутних тюках (**простий термін окупності 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.

4. Витрати на зберігання ПП кукурудзи у великих прямокутних тюків під укритим матеріалом складають 3,1 євро/т с.р., що менше, ніж для зберігання рулонів (5,0 євро/т с.р.) та подрібненої маси насипом (6,9 євро/т с.р.).

5. За умови продажу брикетів та пелет з ПП кукурудзи за ціною 90 євро/т з ПДВ для продуктивності брикетування 2,0 т/год **простий термін окупності складає 3,7 років, IRR 34,7%**, а для виробництва пелет з продуктивністю 10,0 т/год **простий термін окупності становить 4,1 років, IRR 29,1%**.

Таким чином, **виробництво пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно є економічно доцільним видом діяльності.**

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

UABIO	Біоенергетична асоціація України
АПК	агропромисловий комплекс
ДССУ	Державна служба статистики України
МР	маркетинговий рік
ПП	побічна продукція
ПРООН	Програма розвитку ООН
ТЕО	техніко-економічна оцінка
ТО	технічне обслуговування
ТУ	технічні умови
с/г	сільське господарство
с.р.	суха речовина

ПОПЕРЕДНІ ПУБЛІКАЦІЇ UABIO

www.uabio.org/materials/uabio-analytics

Аналітична записка UABIO №1 (2012)
«Місце біоенергетики в проєкті оновленої
Енергетичної стратегії України до 2030
року»

Аналітична записка UABIO № 7 (2014).
«Перспективи використання відходів
сільського господарства для виробництва
енергії в Україні»

Аналітична записка UABIO № 8 (2014).
«Енергетичний та екологічний аналіз
технологій виробництва енергії з біомаси»

Аналітична записка UABIO № 9 (2014).
«Сучасний стан та перспективи розвитку
біоенергетики в Україні»

Аналітична записка UABIO № 10
(2014). «Перспективи вирощування та
використання енергетичних культур в
Україні»

Аналітична записка UABIO № 11
(2014) «Перспективи виробництва та
використання біометану в Україні»

Аналітична записка UABIO № 14 (2016)
«Аналіз тарифоутворення у секторі
централізованого тепlopостачання країн
Європейського Союзу»

Аналітична записка UABIO № 15 (2016)
«Аналіз додаткових джерел деревного
палива в Україні»

Аналітична записка UABIO № 16 (2016)
«Можливості заготівлі побічної продукції
кукурудзи на зерно для енергетичного
використання в Україні»

Аналітична записка UABIO № 17 (2016)
«Аналіз критеріїв сталого розвитку
біоенергетики»

Аналітична записка UABIO № 19 (2018)
«Можливості заготівлі деревного палива в
лісах України»

Аналітична записка UABIO № 20 (2018)
«Аналіз можливостей виробництва та
використання брикетів з агробіомаси в
Україні»

Аналітична записка UABIO № 2 (2013)
«Аналіз Закону України «Про внесення змін
до Закону України «Про електроенергетику»
№ 5485-VI від 20.11.2012»

Аналітична записка UABIO № 3 (2013)
«Бар'єри для розвитку біоенергетики в
Україні»

Аналітична записка UABIO № 4 (2013)
«Перспективи розвитку виробництва та
використання біогазу в Україні»

Аналітична записка UABIO № 5 (2013)
«Перспективи виробництва електричної
енергії з біомаси в Україні»

Аналітична записка UABIO № 6 (2013)
«Перспективи виробництва теплової
енергії з біомаси в Україні»

Аналітична записка UABIO № 12 (2015)
«Перспективи розвитку біоенергетики як
інструменту заміщення природного газу в
Україні»

Аналітична записка UABIO № 13 (2015)
«Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС
та світу і ролі в них відновлюваних джерел
енергії»

Аналітична записка UABIO № 18 (2017)
«Створення конкурентного ринку біопалив
в Україні»

Аналітична записка UABIO № 21 (2019)
«Подолання бар'єрів для виробництва
енергії з агробіомаси в Україні»

Аналітична записка UABIO № 22 (2019)
«Перспективи енергетичної утилізації
твердих побутових відходів в Україні»

МИ ГОТОВІ ДО СПІВПРАЦІ!
Цікаво стати спонсором публікації?

Логотипи спонсорів



Сконтактуйте з нами

UABIO

Біоенергетична асоціація України

вул. Марії Капніст, 2-А, оф. 116
м. Київ, Україна, 03057
+38 (044) 453-28-56
info@uabio.org
www.uabio.org