



## МОЖЛИВОСТІ ЗАГОТІВЛІ ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ В УКРАЇНІ

Аналітична записка БАУ №16

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

6 квітня 2016 р.

Публікація на [www.uabio.org](http://www.uabio.org): 06.04.2016

Публікація доступна на: [www.uabio.org/activity/uabio-analytics](http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics)

Для відгуків та коментарів: [geletukha@uabio.org](mailto:geletukha@uabio.org)

## Зміст

Вступ.....	3
Стан вирощування кукурудзи на зерно у світі та Україні.....	3
Особливості вирощування кукурудзи на зерно в Україні.....	8
Технології збирання урожаю кукурудзи на зерно .....	13
Використання побічної продукції кукурудзи на зерно .....	15
Приклади енергетичного використання побічної продукції кукурудзи на зерно.....	17
Досвід США із заготівлі біомаси для виробництва біоетанолу з лігноцелюлозної сировини .	21
Збирання побічної продукції кукурудзи на зерно.....	25
Ціноутворення на ринку побічної продукції рослинництва в умовах України .....	34
Витрати на вирощування та збирання кукурудзи на зерно.....	36
Визначення допустимої частки відчуження побічної продукції кукурудзи на зерно для умов України.....	37
Оцінка витрат на заготівлю побічної продукції кукурудзи на зерно в умовах України.....	42
Рекомендації для заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні.....	44
Висновки .....	46
ЛІТЕРАТУРА .....	48
<i>Умовні позначення.....</i>	<i>50</i>
<i>Попередні публікації БАУ .....</i>	<i>51</i>

## Вступ

В Аналітичній записці № 16 Біоенергетичної асоціації України розглянуто питання поточного стану виробництва кукурудзи на зерно, особливості її вирощування та можливості використання побічної продукції для отримання енергії. За обсягами утворення біомаси кукурудза – найпродуктивніша культура серед зернових. В Україні, наразі, тільки її частина – зерно – реалізується як товарна продукція, а рослинні рештки залишаються у полі. Наведено інформацію про паливні характеристики побічної продукції кукурудзи та властивості її золи. Проведено огляд технологій та обладнання для заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно. Особливу увагу приділено передовому досвіду США. Запропоновано методику визначення ціни побічної продукції кукурудзи на зерно. Оцінені перспективи її енергетичного використання в умовах України.

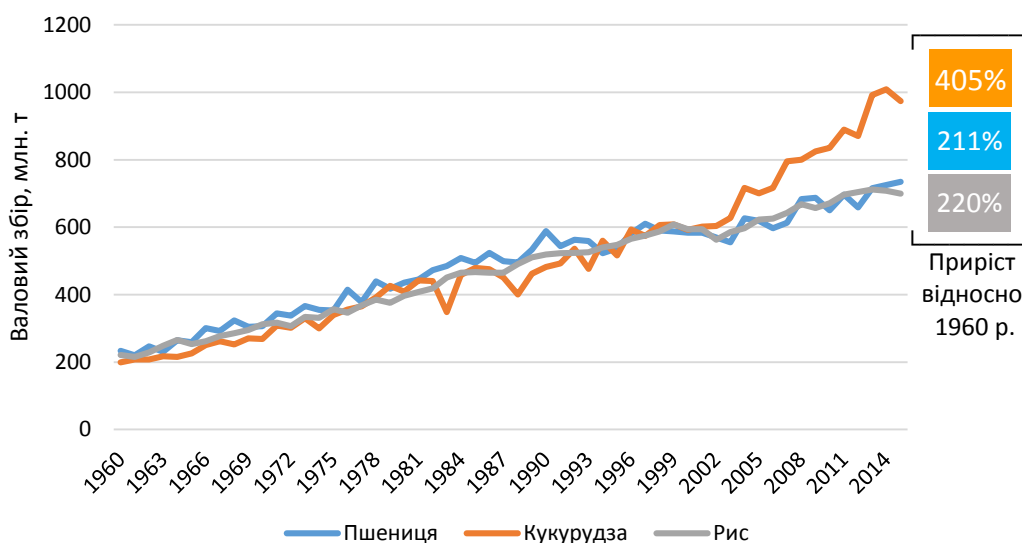
## Стан вирощування кукурудзи на зерно у світі та Україні

Кукурудза – найбільш врожайна зернова культура, що широко використовується як:

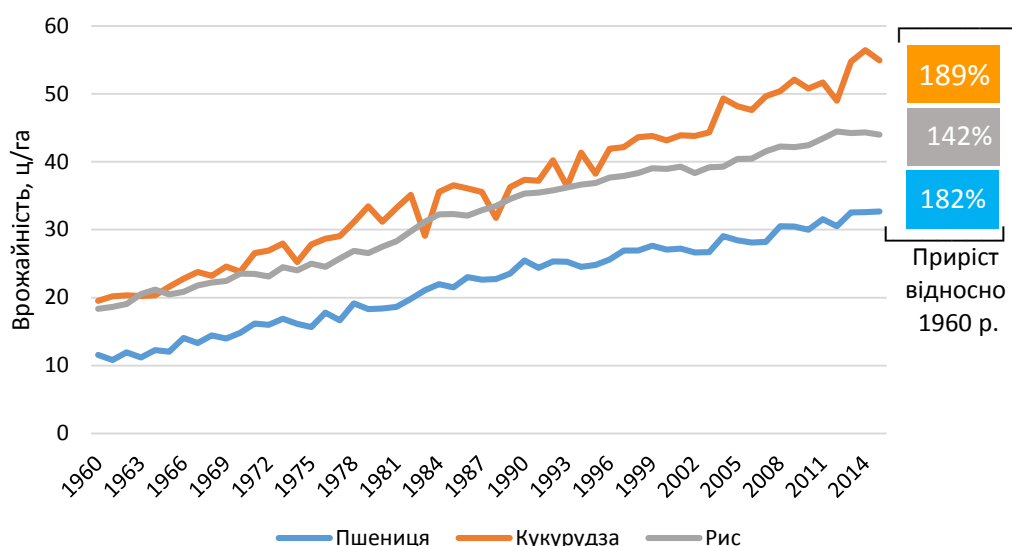
- сировина у харчовій, фармацевтичній, хімічній та інших галузях промисловості;
- високоенергетичний корм, придатний для годування всіх видів тварин і птиці;
- сировина для виробництва біопалив першого та другого покоління;
- сировина для виробництва біогазу.

Великим є й агротехнологічне значення цієї культури, 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 ефективнішою, ніж ліс аналогічної площі [1]. Вирощування кукурудзи на зерно дозволяє краще використовувати сільськогосподарську техніку за рахунок більш пізніх строків посіву і збирання.

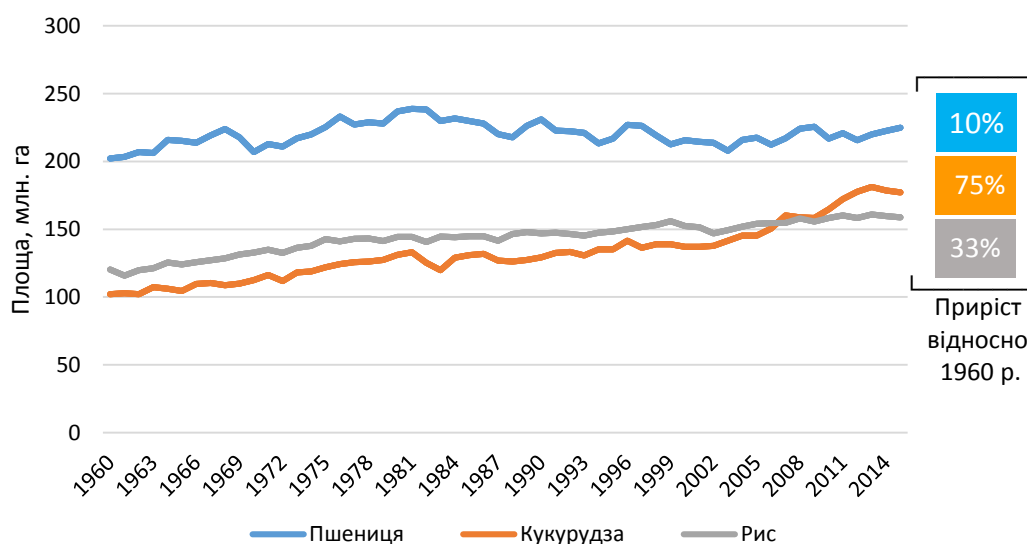
Цінні властивості кукурудзи викликають її стабільно високий попит на світовому ринку. За обсягом валового збору зерна (**Рис. 1**), врожайності (**Рис. 2**) та приросту зібраної площі (**Рис. 3**), кукурудза, серед інших зернових, займає перше місце.



**Рис. 1.** Валовий збір основних зернових культур у світі.



**Рис. 2.** Врожайність основних зернових культур у світі.



**Рис. 3.** Площа під основними зерновими культурами у світі.

США є світовим лідером із валового збору та врожайності кукурудзи на зерно. У 2014/2015 МР у цій країні зібрали 361 млн. т (36,4% загальносвітового урожаю цієї культури), отримавши у середньому 107,3 ц/га (**Табл. 1**). Також багато кукурудзи на зерно виробляється у Китаї – близько 216 млн. т у 2014/2015 МР, в Бразилії – 85 млн. т, в ЄС – 76 млн. т, і замикає п'ятірку лідерів Україна – 28,5 млн. т.

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% щорічно (**Рис. 4**). На порівняльних випробуваннях американські фермери досягають врожайності зерна кукурудзи понад 250 ц/га. У 2015 р. Національна асоціація виробників кукурудзи повідомила про встановлення світового рекорду у штаті Вірджинія – понад 334 ц/га зерна кукурудзи сорту Pioneer® P1197AM™<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <http://globenewswire.com/news-release/2015/12/18/796991/10158667/en/DuPont-Reports-Virginia-Grower-Breaks-World-Corn-Yield-Record-with-Pioneer-R-Brand-Corn.html>

Таблиця 1. Основні виробники зерна кукурудзи у світі

№ П/П	Країна / регіон	Площа, млн. га			Врожайність, т/га			Валовий збір, млн. т		
		2013/2014	2014/2015*	2015/2016**	2013/2014	2014/2015*	2015/2016**	2013/2014	2014/2015*	2015/2016**
1	США	35,39	33,64	32,64	9,93	10,73	10,62	351,27	361,09	346,82
2	Китай	36,32	37,07	37,85	6,02	5,82	5,94	218,49	215,67	225,00
3	Бразилія	15,80	15,75	15,80	5,06	5,40	5,16	80,00	85,00	81,50
4	ЄС	9,66	9,53	9,27	6,69	7,95	6,23	64,63	75,73	57,75
5	Україна	4,83	4,63	4,00	6,40	6,15	5,75	30,90	28,45	23,00
6	Аргентина	3,40	3,20	3,20	7,65	8,28	8,00	26,00	26,50	25,60
7	Індія	9,07	9,30	9,20	2,68	2,55	2,45	24,26	23,67	22,50
8	Мексика	7,05	7,33	7,0	3,24	3,48	3,36	22,88	25,48	23,50
	Світ	181,16	178,61	177,46	5,47	5,65	5,49	991,43	1008,79	974,87

\* Попередні дані

\*\* Прогноз

Джерело: USDA<sup>2</sup>

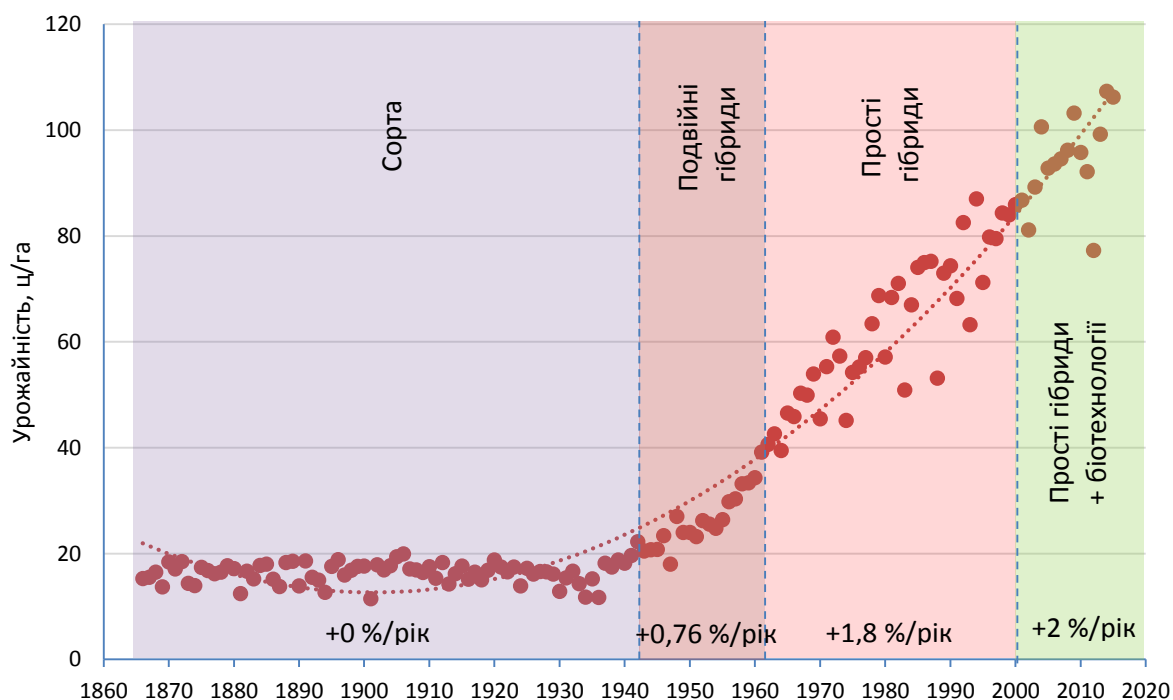
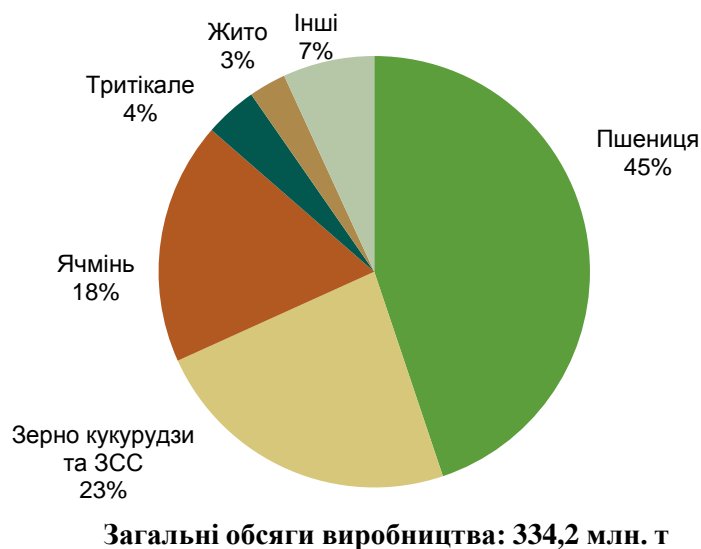


Рис. 4. Зростання врожайності кукурудзи у США за останні 150 років<sup>3</sup>.

Джерело: USDA, обробка даних AGPM, Arvalis

В ЄС кукурудза на зерно і на зерно-стрижневу суміш (ЗСС) займає за валовим збором друге місце серед зернових (**Рис. 5**). При цьому переважає вирощування кукурудзи для отримання зерна, якого зібрали у кількості 75,7 млн. т у 2014 р., тоді як ЗСС – 2,4 млн. т. Найбільші обсяги кукурудзи на зерно виробляють у Франції (18,4 млн. т), що складає 24,3% від валового збору Європейського союзу у 2014 р., Румунії – 11,73 млн. т, Угорщині – 9,17 млн. т та Італії – 8,33 млн. т. Найбільша врожайність у 2014 р. була в Іспанії – 112,4 ц/га, Австрії – 107,9 ц/га, Німеччині – 106,8 ц/га та Франції – 103,8 ц/га.



**Рис. 5.** Структура виробництва зерна у ЄС-28 у 2014 р.\*

\* у % від загального виробництва зерна.

*Джерело: Євростат*

Найбільший валовий збір кукурудзи на зерно в Європі отримують в Україні. У 2011 р. встановлено загальноєвропейський рекорд із врожайності кукурудзи на підприємстві Миронівського хлібопродукту ПрАТ НВФ «Урожай», де зібрали 190 ц/га гібриду ДКС 5143 селекції компанії «Монсанто» вологістю біля 22% з 91,4 га<sup>4</sup>. Справжнім досягненням у 2013 р. став урожай фермерського господарства «Ладіс» Монастирищенського району Черкаської області, де зі 100 гектарів отримали 205 ц/га зерна кукурудзи гібриду ДКС 3511 при вологості 22-23%<sup>5</sup>. Високі врожаї кукурудзи на рівні 10-12 т/га отримують у деяких господарствах Лісостепу та Полісся, що набагато перевищує середні показники по областях і країні. За даними Міністерства аграрної політики та продовольства України, у 2015 р. намолочено 23,2 млн. тон зерна кукурудзи, що на 9% менше, ніж попереднього року. Середня врожайність склала 57,1 ц/га, що становить 95,5% порівняно із 2014 р.<sup>6</sup> Дані щодо виробництва кукурудзи по областям у 2014 р. наведено у **Табл. 2**.

У 2014 р. найбільший валовий збір кукурудзи на зерно отримали у Полтавській області (3379 тис. т), хоча це було тільки 82,8 % від врожаю 2013 р. Середня врожайність у

<sup>4</sup> <http://www.mhp.com.ua/uk/media/news/details/52>

<sup>5</sup> <http://www.agroprofi.com.ua/statti/1041-zernovi-rekordi-cherkaschini-ponad-200-tsga-kukurudzi-virostiv-ladis>

<sup>6</sup> <http://minagro.gov.ua/uk/node/19858>

Полтавській області у 2014 р. була на рівні 58,1 ц/га, тоді як у Вінницькій, Рівненській, Сумській та Хмельницькій вона перевищували 80 ц/га, а Київській області – 79,4 ц/га.

**Таблиця 2.** Виробництво кукурудзи на зерно по областях України у 2014 р.

	Валовий збір		Зібрана площа		Урожайність	
	тис. т	2014 р. у % до 2013р.	тис. га	2014 р. у % до 2013 р.	ц/га	2014 р. (+, -) до 2013 р.
<b>Вінницька</b>	<b>2702,7</b>	<b>97,0</b>	<b>345,3</b>	<b>94,7</b>	<b>82,6</b>	<b>+1,9</b>
Волинська	184,9	105,8	24,6	97,2	77,5	+6,4
Дніпропетровська	929,1	70,6	322,7	107,9	26,7	-14,1
Донецька	366,7	102,3	95,3	106,1	36,3	-1,3
Житомирська	1292,9	82,5	199,6	89,6	72,3	-6,2
Закарпатська	196,4	104,6	41,8	102,6	45,8	+0,9
Запорізька	130,7	75,0	53,0	88,7	27,8	-5,0
Івано-Франківська	355,8	102,1	52,5	94,9	71,5	+5,1
<b>Київська</b>	<b>2053,3</b>	<b>94,5</b>	<b>291,7</b>	<b>88,8</b>	<b>79,2</b>	<b>+4,7</b>
Кіровоградська	1834,4	85,2	389,6	94,3	49,9	-5,4
Луганська	316,3	91,5	105,0	85,0	35,4	+2,5
Львівська	434,1	110,4	61,3	101,5	69,7	+5,5
Миколаївська	499,2	68,1	141,8	94,4	37,3	-14,4
Одеська	546,0	67,7	169,7	95,5	33,7	-13,8
<b>Полтавська</b>	<b>3380,1</b>	<b>82,8</b>	<b>592,7</b>	<b>98,2</b>	<b>58,1</b>	<b>-10,8</b>
<b>Рівненська</b>	<b>506,3</b>	<b>98,4</b>	<b>63,1</b>	<b>97,1</b>	<b>82,6</b>	<b>+1,1</b>
<b>Сумська</b>	<b>2672,7</b>	<b>110,8</b>	<b>317,7</b>	<b>102,5</b>	<b>82,1</b>	<b>+6,2</b>
Тернопільська	1188,1	98,5	159,8	96,0	77,5	+2,0
Харківська	1606,8	100,1	319,1	94,3	53,4	+3,1
Херсонська	224,5	59,7	59,6	72,7	51,8	-11,3
<b>Хмельницька</b>	<b>1727,4</b>	<b>94,6</b>	<b>251,2</b>	<b>83,4</b>	<b>82,4</b>	<b>+9,8</b>
Черкаська	2286,8	85,9	339,4	96,0	70,2	-8,2
Чернівецька	399,7	98,2	66,9	94,2	63,4	+2,6
Чернігівська	2661,9	118,0	353,7	104,5	72,0	+8,2
<b>Україна</b>	<b>28496,8</b>	<b>92,3</b>	<b>4626,9</b>	<b>96,1</b>	<b>61,6</b>	<b>-2,5</b>

Джерело: Державна служба статистики України

Через несприятливі погодні умови (сухе і спекотне літо) 2015 рік виявився в цілому по Україні складним для вирощування кукурудзи на зерно. Хоча середня врожайність у Полтавській області зросла і досягла 73,1 ц/га<sup>7</sup>, а у Шишацькому районі навіть перевищувала 100 ц/га.

Фінансові труднощі та зменшення економічної привабливості вирощування кукурудзи скоротили посівні площі у 2015 р. на 13% до 4,01 млн. га, що також зменшили валовий збір зерна кукурудзи. Графік зміни внутрішньої ціни пропозиції зерна кукурудзи у 2010-2015 рр. зображено на **Рис. 6**. Максимальна ціна, 261 дол. США/т, була досягнута у червні-серпні

<sup>7</sup> Підсумки збору врожаю основних сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду у 2015 році (попередні дані) / Експрес-випуск Державної служби статистики України <http://www.ukrstat.gov.ua/express/expr2016/01/11pdf.zip>

2011 р., а мінімальна – 115 дол. США/т – у листопаді 2014 р. На січень 2016 р. закупівельна ціна зерна кукурудзи на елеваторах ТОВ СП «НІБУЛОН» складала від 3150 до 3350 грн./т (від 134 до 142,5 дол. США/т).

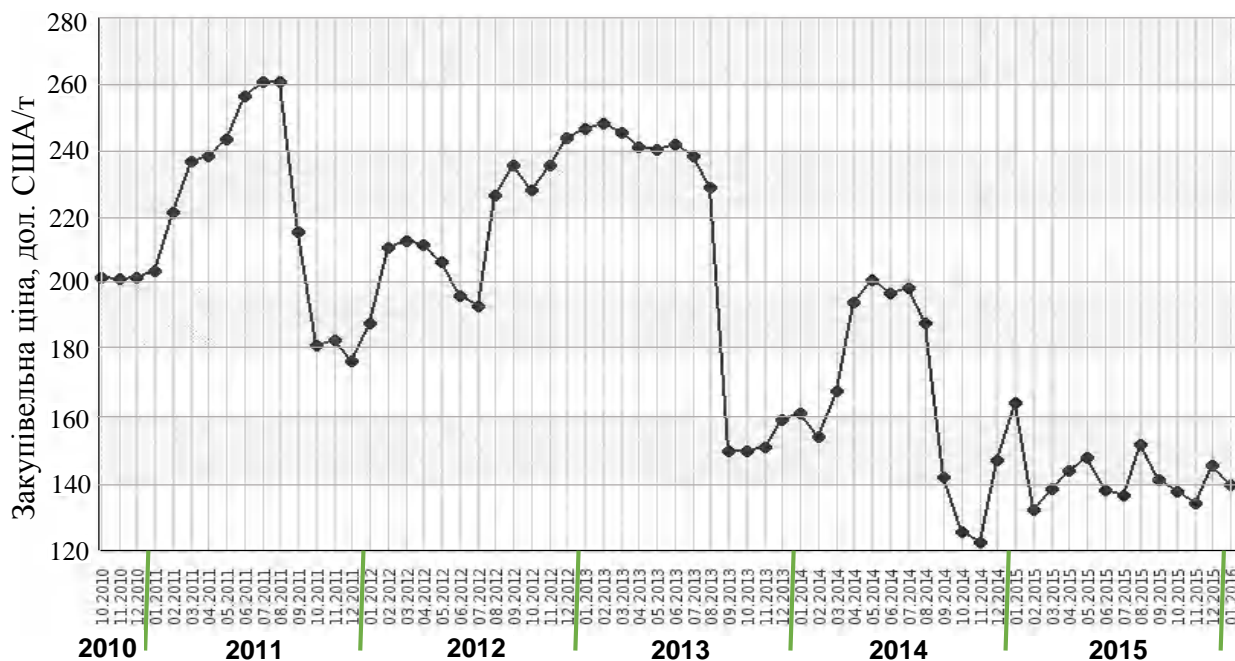


Рис. 6. Динаміка зміни внутрішньої ціни пропозиції на зерно кукурудзи<sup>8</sup>.

За висновками експертів, низькі ціни на зерно кукурудзи на внутрішньому та зовнішньому ринках пов'язані зі значними перехідними запасами та з падінням цін на нафту, що також призвело до зниження цін на біоетанол<sup>9</sup>. Очікується, що зменшення світових обсягів виробництва кукурудзи на зерно у поточному році може змінити низхідний тренд цін на ринку.

Таким чином, враховуючи значні площі під кукурудзою на зерно в Україні, що займають близько 15% від площі ріллі, та високу врожайність за останні 3 роки (у середньому від 57 до 64 ц/га), очевидно, що ця сільськогосподарська культура утворює крім зерна великі обсяги побічної продукції, яку можна використовувати у секторі біоенергетики. Можна відзначити, що в Україні є резерви збільшення врожайності за рахунок більш широкого використання досягнень аграрної науки. Для забезпечення стабільних цін на кукурудзу необхідно нарощувати її внутрішнє споживання, у тому числі за рахунок переробки для отримання товарів з високою доданою вартістю.

### Особливості вирощування кукурудзи на зерно в Україні

Кукурудза – високопродуктивна рослина тропічного походження. Її батьківщина – Середня й Південна Америки, що пояснює потреби рослини у теплі для її росту й розвитку. Кукурудза за короткий час дає більше органічної маси, ніж інші культурні рослини. Завдяки

<sup>8</sup> <http://www.apk-inform.com/ru/prices>

<sup>9</sup> <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx>



прогресу у селекції кордони зон вирощування кукурудзи в останні роки просунулися далеко на північ [1].

**Ботанічні особливості.** Кукурудза (*Zea mays L.*) – однорічна, однодомна, роздільностатева перехреснозапильна рослина родини злакових. Стебло прямостояче, його висота у різних гібридів в залежності від кліматичних умов, агротехніки та ґрунтової родючості складає від 0,5 до 6-7 м. Основна маса коренів зосереджена на глибині 30–60 см, але багато мілких життєздатних коренів проникають на глибину 150–250 см, використовуючи вологу та поживні речовини з нижче розташованих шарів ґрунту [2].

За тривалістю вегетаційного періоду гібриди кукурудзи діляться на сім груп з вегетаційним періодом від 85 до 150 діб. Кожен біотип повинен відповідати кліматичним умовам зони вирощування, забезпечувати високій врожай та надійне досягання [3]. До державного реєстру сортів рослин України на 2015 р. занесено понад 750 сортів.

Агрокліматичні умови території України неоднорідні, тому виділяють чотири зони для кукурудзосіяння: Степ, Лісостеп, Полісся, гірські райони Карпат та степний Крим. Кожна зона має ґрунтові особливості, умови зволоження і температурний режим, які суттєво впливають на врожай. Період, коли кукурудза може активно розвиватися та накопичувати органічну речовину, обмежений датою стійкого переходу середньодобової температури повітря через 10<sup>0</sup>С. Важливою особливістю теплового режиму кукурудзи є його тривалість у поєднанні із доброю вологозабезпеченістю [2]. Пріоритетні гібриди кукурудзи для різних зон вирощування за групою стиглості: для Степу – середньостиглі, для Лісостепу – ранньостиглі і середньоранні, для Полісся – ранньостиглі формують сухе зерно і в більшості випадків не потребують додаткових витрат на сушіння (**Табл. 3**).

**Таблиця 3.** Тепловий режим гібридів кукурудзи різних груп стиглості [4]

Група стиглості гібридів	ФАО <sup>10</sup>	Сума ефективних температур (вище 10 °С), °С	Веgetаційний період, днів			Потреба в сумі температур вище 10 °С за вегетацію, °С
			Степ	Лісостеп	Полісся	
Ранньостиглі	100-199	900-1000	85-99	97-102	101-106	2100
Середньоранні	200-299	1100	94-114	107-116	109-119	2200
Середньостиглі	300-399	1150	111-122	120-125	123-126	2400
Середньопізні	400-499	1200	115-128	-	-	2500
Пізньостиглі	500-600	1250-1300	-	-	-	2700

Агрокліматичні умови зон кукурудзосіяння в Україні відзначаються істотною різноманітністю гідротермічних показників, що зумовлює істотне варіювання як настання науково обґрунтованих строків сівби, так і тривалості вегетаційного періоду всіх біотипів кукурудзи та настання повної стиглості зерна (**Табл. 4**) [4].

<sup>10</sup> ФАО-число характеризує групу стиглості гібриду кукурудзи за шкалою від 100 до 999

**Таблиця 4.** Зональні науково-обґрунтовані строки сівби гібридів кукурудзи різних груп стиглості [4]

Зона	Календарні строки сівби		Вегетаційний період біотипів гібридів, днів			
			ранньо-стиглі	середньо-ранні	середньо-стиглі	середньо-пізні
Південний Степ	ранні	10-17.04	85-90	94-108	111-115	116-125
	оптимальні	20-30.04				
	пізні	01.05-08.05				
Північний Степ	ранні	15-24.04	94-99	106-114	114-122	123-126
	оптимальні	25.04-03.05				
	пізні	04.05-13.05				
Лісостеп	ранні	18-30.04	97-102	107-116	120-125	-
	оптимальні	01.05-09.05				
	пізні	10-16.05				
Полісся	ранні	22.04.-02.05	101-106	109-119	-	-
	оптимальні	03-10.05				
	пізні	10-15.05				

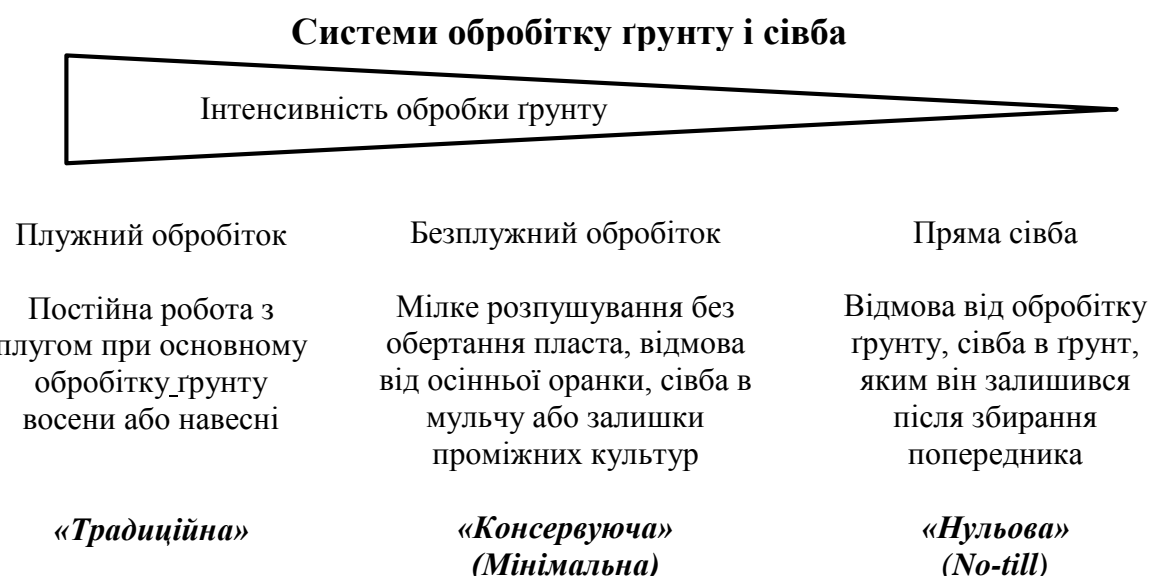
Кукурудза проходить різні стадії росту й розвитку. Вміст сухої речовини (с.р.) всієї рослини в стеблах росте до початкових стадій дозрівання, вміст с.р. в качанах – до повного дозрівання зерна. Максимальний вміст с.р. усієї рослини – 30-35% (оптимальний момент для збирання кукурудзи на силос). Вміст с.р. зменшується до настання моменту повної стиглості до 15-20%. При температурах нижче 20<sup>0</sup>С восени процеси нагромадження с.р. завершуються. Максимальна врожайність зерна досягається при вмісті в ньому 60-64% с.р. (фізіологічна стиглість) [1].

Високий урожай кукурудза формує на ґрунтах чистих від бур'янів, оструктурених, відносно рихлих з глибоким заляганням гумусового горизонту і високим вмістом поживних речовин. Кращі для кукурудзи чорноземи, каштанові, темно-сірі та заплавні ґрунти з нейтральною реакцією (рН 7,0-7,5). Кукурудза не дуже вибаглива до попередників у сівозміні. У сівозмінах її розміщують після озимих колосових, зернобобових, картоплі, цукрових буряків, ярих колосових, баштанних. Кукурудза здатна витримувати довге вирощування на постійних ділянках. У районах недостатнього зволоження не слід цю культуру висівати після соняшника і цукрових буряків, які сильно висушують ґрунт [5].

Кукурудза досить вимоглива до підвищеного мінерального живлення і, як культура тривалого вегетаційного періоду, здатна засвоювати поживні речовини впродовж всього життєвого циклу. На створення 1 т зерна з відповідною кількістю листостеблової маси кукурудза споживає із ґрунту та добрив, в середньому, 24-30 кг азоту, 10-12 кг фосфору та 25-30 кг калію. Для формування урожаю зерна на рівні 4,5-5,0 т/га кукурудза виносить з ґрунту, в середньому, 110-150 кг азоту, 45-60 кг фосфору та 115-150 кг калію. Таку кількість поживних речовин в доступних рослинам формах, навіть при високому рівні родючості, ґрунт не в змозі забезпечити. Тому добрива лишаються одним із найвпливовіших факторів підвищення врожайності культури. Дози внесення мінеральних добрив під посіви кукурудзи застосовують з урахуванням забезпеченості орного шару ґрунту рухомими елементами живлення та середнього виносу макроелементів з урожаєм основної і побічної продукції [4].

Орієнтовні норми внесення мінеральних добрив наступні: у Степу –  $N_{60-90}P_{60}K_{35-40}$ , Лісостепу –  $N_{120}P_{90}K_{90}$ , Поліссі і західних областях –  $N_{130}P_{100}K_{100}$ . Крім цього вносять органічні добрива, зокрема, гній в Лісостепу та Поліссі в нормативному обсязі 30-40 т/га, в Степу – 20-30 т/га [5]. Також як органічні добрива застосовують солому і післяжнивні рештки для поліпшення гумусового стану ґрунту [6]. Найбільш ефективним є сумісне внесення мінеральних і органічних добрив.

Обробіток ґрунту є одним з основних елементів технології вирощування кукурудзи. Для неї необхідний добре окультурений ґрунт, що забезпечує якісне розміщення насіння при сівбі й одержання дружних сходів, а також гарантує безперешкодний розвиток кореневої системи в орному й підорному шарах. Розрізняють три системи обробітку ґрунту: традиційну (в основі якої лежить плужний обробіток), ґрунтозахисну або консервуючу (мінімальну) і нульову (пряма сівба без обробітку ґрунту) (Рис. 7) [1].



**Рис. 7.** Агротехнічні прийоми і робочі проходи при різних способах обробітку ґрунту [1].

*Традиційний* обробіток ґрунту під кукурудзу складається із основного і передпосівного. Основний обробіток ґрунту починається з лущення стерні чи поверхневого обробітку та оранки. Після зернових попередників перед оранкою необхідно якісно подрібнити рослинні рештки, рівномірно розподілити їх по площі поля і мілко заробити у ґрунт. Кукурудза має підвищені вимоги до аерації ґрунту, оптимальні параметри якої забезпечує традиційна глибока оранка (на 25-27 см) або енергоощадний безплужний чизельний обробіток [1-4, 7, 8].

Кращий енергетичний і ґрунтозахисний ефект забезпечує *чизельний*<sup>11</sup> обробіток, при проведенні якого заощаджується 10-12 кг/га пального, експлуатаційні витрати скорочуються майже вдвічі, витрати праці – на 31 %, енергоємність знижується в 1,4 рази. В господарствах з високою культурою землеробства, де використовують інтегровану систему контролювання бур'янів, під кукурудзу проводять мілкий обробіток на глибину 12-14 см [4].

<sup>11</sup> Чизельний обробіток – ґрунтозахисний обробіток ґрунту безполицевими ґрунтообробними знаряддями чизелями, які здійснюють неповне підрізання скиби без утворення суцільного дна борозни.

Також останніми роками в Україні набуває розповсюдження технологія „*No-till*” [9]. За оцінками ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»<sup>12</sup> (м. Харків), в Україні є великі можливості для впровадження мінімальних способів обробітку. Заважає цьому низька культура землеробства, надлишок бур'янів і вимушене застосування оранки й інших численних передпосівних і міжрядних обробітків як засобу боротьби з ними [10].

Використання ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту запобігає водній і вітровій ерозії (Табл. 5), збільшує інфільтраційну здатність ґрунту для води, зберігає сприятливий стан ґрунту для здійснення технологічних процесів. Разом із цим використання ґрунтозахисних технологій, у тому числі за рахунок мульчи з рослинних решток, має наступні негативні особливості: пізніше прогрівання ґрунту; нижча польова схожість кукурудзи; повільніше надходження і нижчий рівень мінералізації азоту; посилене засмічення бур'янами; збільшення пошкодження посівів мишами. Для вирішення цих проблем необхідно здійснювати постійний контроль за посівами й проводити відповідні заходи [1].

**Таблиця 5.** Вплив мульчі на поверхневий стік і винос ґрунту [1]

Покриття ґрунту мульчою, %	Рослинні рештки, т с.р./га	Поверхневий стік, %	Винесення ґрунту, %
0	0	45	100
менше 20	0,5	40	25
20-30	1	25	8
50	2	0,5	3
70	4	0,1	менше 1
більше 90	8	не вимірюємо	менше 1

Навесні проводять передпосівний обробіток ґрунту так, щоб знизити до мінімуму механічний вплив на нього сільськогосподарських машин, зберегти сформовану структуру й обробляти тільки зони закладення насіння, а також уберегти ґрунт від переущільнення, пересихання й розпилення. Для цього проводять боронування, шлейфування та культивуацію [1, 4].

На сьогодні основним способом сівби кукурудзи в Україні є широкорядний – з шириною міжрядь 70 см, тоді як у США – 76,2 см. Відстань між рослинами в рядку залежить від норми висіву. Оскільки за системи землеробства *No-till* немає необхідності в проведенні міжрядних рихлень під час вегетації, ширину міжрядь можна зменшити до 50 см, що забезпечує підвищення конкурентоздатності посіву до бур'янів і дозволяє підвищити густоту стояння рослин кукурудзи. Але для збирання посівів необхідно використовувати жатку, пристосовану до ширини міжрядь. Для *No-till* характерним є більш повільне прогрівання ґрунту весною порівняно з традиційною системою землеробства, у тому числі за рахунок його покриття рослинними рештками [9]. До сівби кукурудзи, як правило, приступають при

<sup>12</sup> Національний науковий центр "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського"  
<http://www.issar.com.ua/>

прогріванні ґрунту на глибині закладання насіння до 8-10<sup>0</sup>С. Густота посівів кукурудзи на зерно на період збирання повинна становити в зоні Полісся, Лісостепу, західних областях України 70-80 тис. шт./га (20-25 кг/га), Степу – 50-70 тис. шт./га (15-20 кг/га) [5].

Догляд за посівами повинен створювати сприятливі умови для одержання дружних сходів кукурудзи, давати змогу утримувати посіви в чистому від бур'янів стані, а також зберегти вологу в посівному і орному шарі ґрунту. Для цього використовуються боронування та культивація міжрядь. Інтенсивна технологія вирощування кукурудзи на фоні ґрунтових і післясходових гербіцидів передбачає скорочення кількості механічних прийомів догляду, а на чистих полях – їх повне виключення. Проте висока потенційна засміченість ґрунту насінням різних термінів проростання, стійкість окремих видів бур'янів до хімічних препаратів вимагає поєднання механічних і хімічних заходів догляду за посівами. Для боротьби із шкідниками та хворобами кукурудзи використовуються хімічні або біологічні засоби захисту [1, 4].

### **Технології збирання урожаю кукурудзи на зерно**

Збирання врожаю кукурудзи на зерно – складний і трудомісткий процес. Розрізняють декілька технологічних схем (**Рис. 8**):

1. Збирання кукурудзозбиральними комбайнами з наступною доробкою качанів на стаціонарі:

1.1. без очищення качанів від обгорток (п. 1.1 на **Рис. 8**);

1.2. з одночасним очищенням качанів від обгорток (п. 1.2 на **Рис. 8**);

2. Збирання зернозбиральними комбайнами з кукурудзяними жатками (п. 2 на **Рис. 8**);

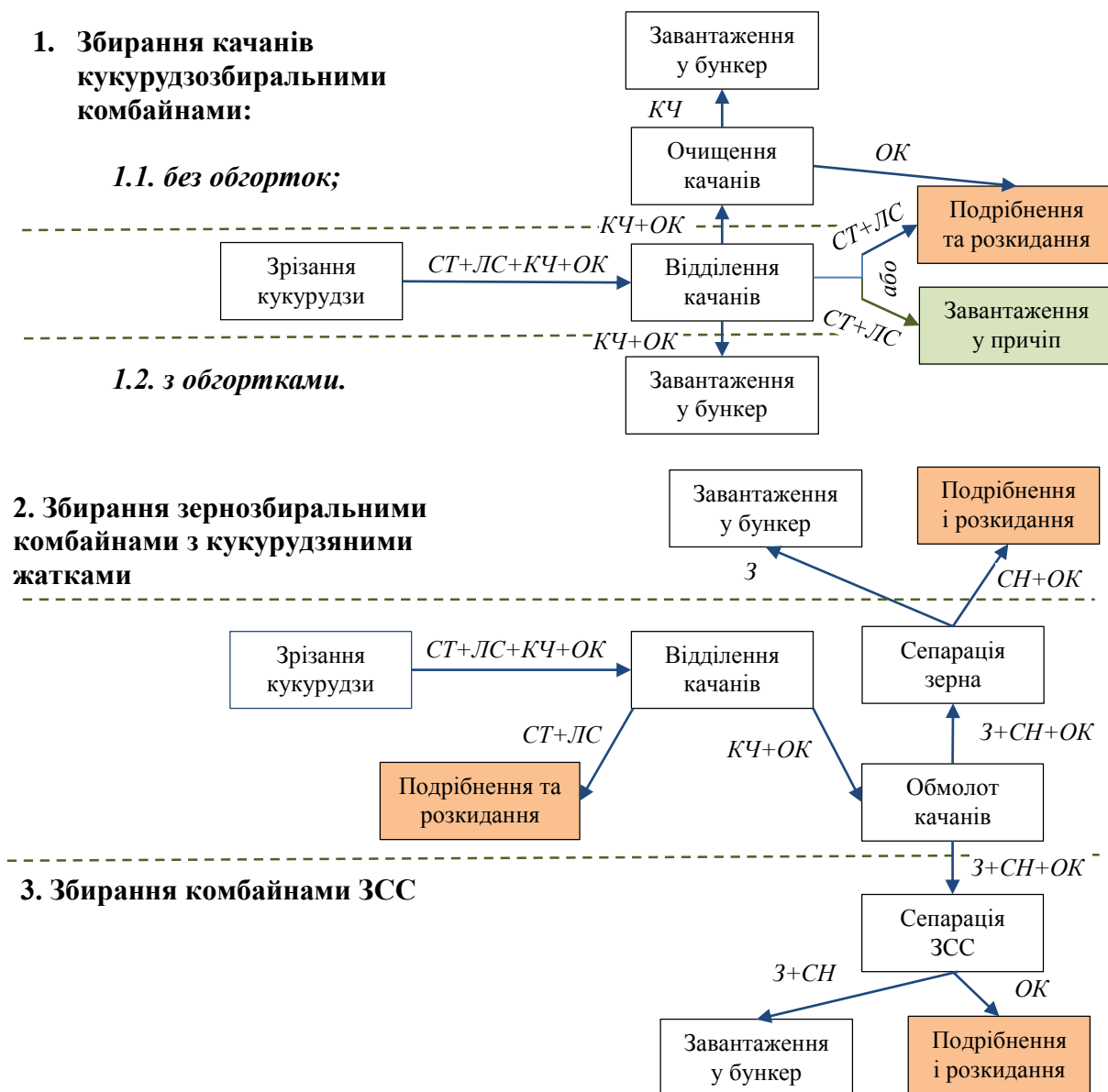
3. Збирання комбайнами ЗСС (п. 3 на **Рис. 8**).

Кукурудзу на зерно збирають при вологості зерна від 20 до 35-40%, а ЗСС – 40-50%. Збирання врожаю культури без обмолоту качанів розпочинають при вологості зерна не більше 40%, а з обмолотом – при 30%. При більшій вологості погіршується обмолот, травмується зерно, знижується продуктивність комбайнів. Найбільш якісний обмолот відбувається при вологості зерна 20-22% [5].

У 80-90 роки минулого століття в Україні користувалася популярністю технологія збирання кукурудзи на зерно, що передбачала збирання всього біологічного врожаю за рахунок використання зернозбиральних комбайнів СК-5М, Енисей-1200, Дон-1500 та КЗС-9-1 із спеціальними жатками виробництва заводу «Херсонмаш» ППК-4, КМД-6, ПЗКС-6, які спрямовували подрібнену побічну продукцію у причеп.

Нині основним способом збирання 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 збиранням кукурудзи в качанах, забезпечує у 1,8-2 рази зменшення затрат праці та на 20-25% – витрати палива [4]. 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 ЗСС в Україні поки що мало розповсюджене.



3 – зерно; СТ – стебло; ЛС – листя; СН – стрижень; ОК – обгортка качана; КЧ – качан  
( $KЧ = СН + 3$ )

**Рис. 8.** Технології збирання кукурудзи на зерно.

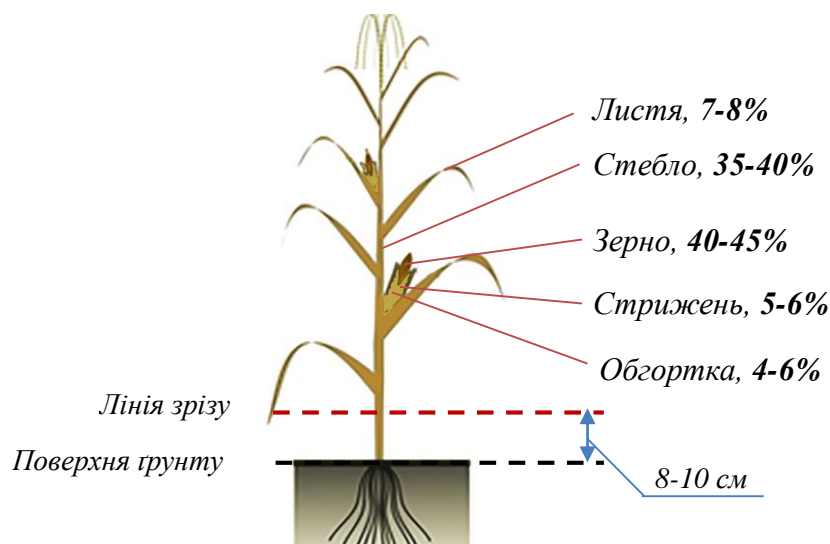
Враховуючи календарні строки періоду сівби кукурудзи в зонах кукурудзосіяння та середню тривалість вегетаційного періоду біотипів гібридів кукурудзи різних груп стиглості, прогнозований строк досягнення біологічної стиглості зерна, залежно від гідротермічних умов вирощування календарно настає, як правило [4]:

- в Південному Степу у період 1-5 серпня (ранньостиглі гібриди) – 10-15 вересня (середньопізні гібриди);
- в Північному Степу, відповідно, 15-20 серпня – 15-20 вересня;
- в Лісостепу – 25-30 серпня – 20-25 вересня;
- в Поліссі – 1-5 вересня – 25-30 вересня.

Тривалість збирання одного гібриду не повинна перевищувати 5-7 днів, запізнення призводить до істотних втрат врожаю. Так, за даними Інституту сільського господарства степової зони<sup>13</sup> (м. Дніпропетровськ), втрати зерна кукурудзи на 10-й день від початку збирання становлять лише 4%, на 20-й – збільшуються до 10%, на 30-й – до 17%, а на 35-й день – до 23% від рівня сформованого врожаю [4]. В різних областях України збирання врожаю кукурудзи, як правило, проходить досить тривалий час, значно перевищуючи межі оптимально припустимих строків. Зазвичай, кукурудзу на зерно збирають у жовтні-листопаді. Для забезпечення базисної вологості 14% зерно кукурудзи сушать у зерносушарках, що вимагає додаткових витрат. Тому нерідко через підвищену вологість основної продукції, навіть при досягненні нею повної стиглості, у ряді господарств свідомо затримують збирання культури з метою зменшення вмісту води в зерні, залишаючи рослини тривалий час на корені, що завдає непоправних втрат урожаю. У суху морозну погоду вологість зерна зменшується, але погіршуються інші показники якості основної продукції. Але не дивлячись на це, у деяких господарствах збирають зерно кукурудзи у грудні-січні, або навіть пізніше.

### Використання побічної продукції кукурудзи на зерно

Виділяють наступні складові побічної продукції кукурудзи на зерно: *стебло, листя, стрижень та обгортка качана*. У кукурудзи **відношення маси ПП до зерна** залежить від багатьох факторів, у першу чергу від гібриду, але у загальному випадку його можна приймати **1,3** згідно із рекомендаціями [11]. Загальний вигляд та співвідношення основних частин кукурудзи [12] зображено на **Рис. 9**.



**Рис. 9.** Співвідношення основних частин кукурудзи.

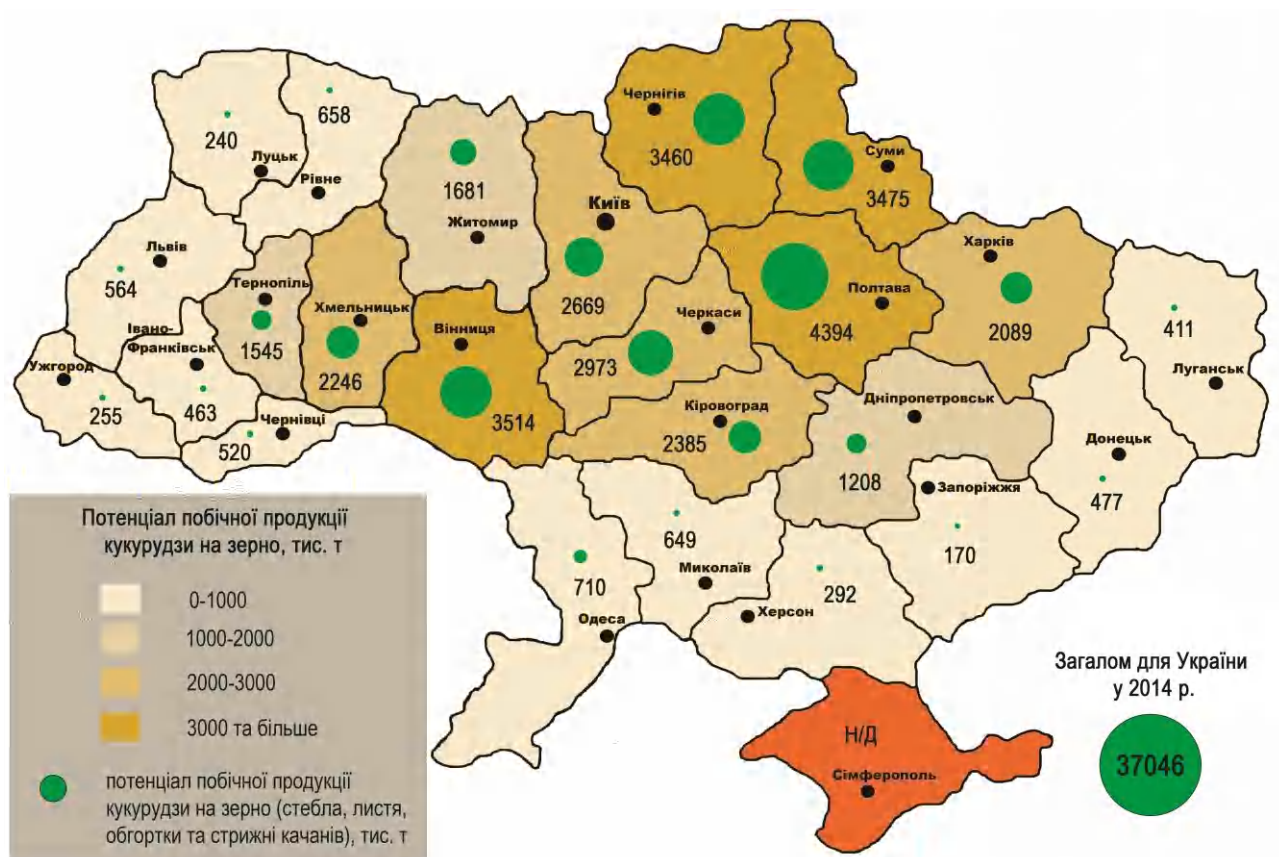
У сучасних технологіях збирання кукурудзи на зерно побічна продукція переважно подрібнюється та розкидається по полю. Якщо комбайни не обладнані подрібнювачами, виникає необхідність у застосуванні мульчувачів, агрегованих з тракторами, які

<sup>13</sup> <http://www.institut-zerna.com/>

дозволяють якісно подрібнити і рівномірно розподілити рослинні рештки по поверхні поля. Для подальших розрахунків приймемо *середні співвідношення* частин кукурудзи та розрахуємо потенціал ПП (Табл. 6). Потенціал ПП кукурудзи на зерно в Україні у 2014 р. загалом становив 37046 тис. т, з яких найбільша частка, 4394 тис. т, припадала на Полтавську область (Рис. 10).

**Таблиця 6.** Потенціал частин ПП кукурудзи на зерно в Україні у 2014 р.

Найменування	Позначення	Середнє співвідношення, %	Маса (сер.), тис. т
Стебло	СТ	37,5	25259
Листя	ЛС	7,5	5052
Стрижень	СН	5,5	3704
Обгортка	ОК	4,5	3031
<b>Всього</b>			<b>37046</b>

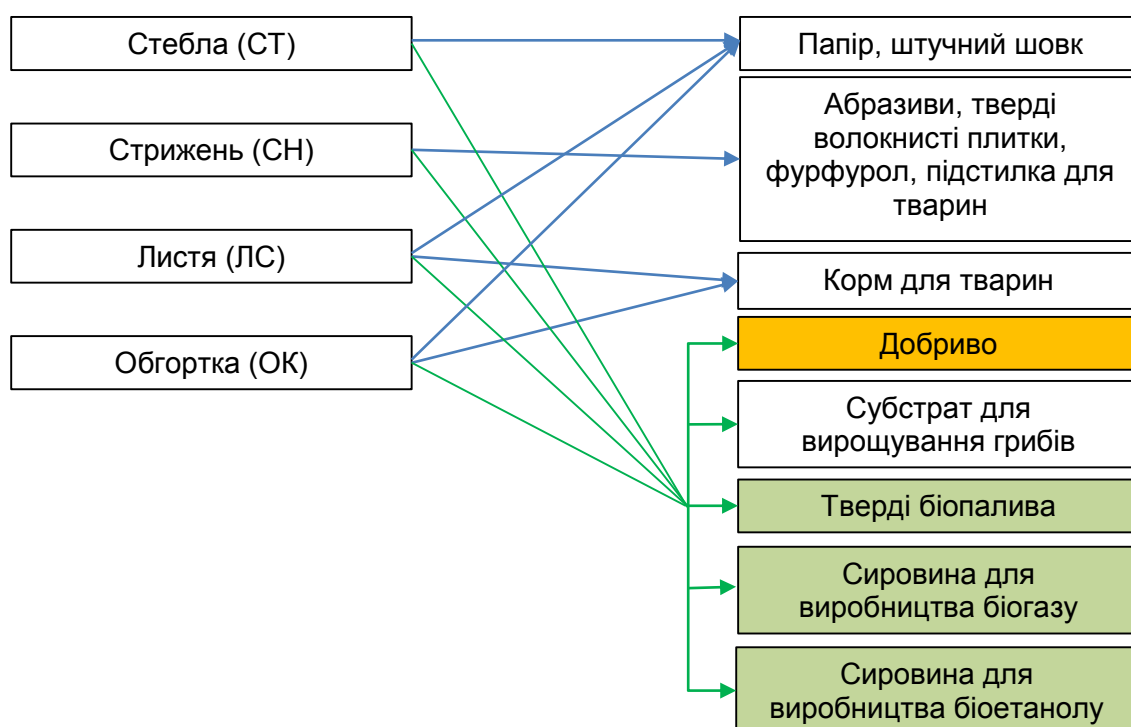


**Рис. 10.** Потенціал побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні (2014 р.).

Кукурудза – цінна сировина не тільки для АПК, але і для інших галузей економіки, оскільки при повній і комплексній її переробці отримують більше 500 видів різних продуктів [3]. Основні напрямки використання ПП відображені на Рис. 11. У США та деяких країнах ЄС значні обсяги ПП заготовлюються і використовуються у промислових масштабах для виробництва широкого асортименту продукції. В Україні ПП кукурудзи на зерно переважно



використовують як добриво, а також традиційно застосовують у тваринництві як корм і підстилку та у деяких регіонах – як тверде біопаливо.



**Рис. 11.** Напрямки використання ПП кукурудзи на зерно.

Внаслідок низької поживності, соломі, у тому числі кукурудзяній, у тваринництві використовують в обмеженій кількості як баластний корм та при нестачі інших грубих кормів. Поживність листя і обгортки качанів від кукурудзи на зерно вища порівняно із стеблами і стрижнями. Наприклад, у селах на півдні Одеської області після збирання качанів місцеве населення вже десятиріччями заготовляє кукурудзяні стебла з листям для годування худоби протягом зимового періоду. Худоба з’їдає листя, а стебла потім спалюють у грубах для обігріву приміщень.

#### **Приклади енергетичного використання побічної продукції кукурудзи на зерно**

В Україні з ПП кукурудзи на зерно переважно виробляють *тверді біопалива: прямокутні і круглі тюки, гранули та брикети*. Також були спроби застосування такої біомаси як субстрату для *біогазових установок* у тестовому режимі. Значні обсяги ПП кукурудзи на зерно переробляють у США, зокрема, сучасні технології дозволяють отримувати з такої лігноцелюлозної біомаси *біоетанол*.

При обмолоті початків кукурудзи на стаціонарних пунктах збирають стрижні качанів, з яких можна виробляти паливні гранули. Характеристики таких гранул, що представлені на ринку України, наступні: діаметр 6-8 мм, вологість робоча 7,3%, зольність 2,6%, нижча теплота згоряння 4168 ккал/кг (17,4 МДж/кг). Вартість гранул на кінець 2015 р. становила 1900 грн./т з ПДВ<sup>14</sup>. Також гранульоване і брикетоване біопаливо одержують з інших частин

<sup>14</sup> <http://energy-group.com.ua/p59420521-toplivnye-pellety-pochatkov.html>

кукурудзи, які необхідно зібрати з поля і доставити на місце переробки. Деякі агровиробники вже провели модернізацію зерносушарок для використання тюкованої соломи як палива, у тому числі соломи кукурудзи. Характеристики *кукурудзяної соломи*, що складається зі стебел і листя, які залишаються після відокремлення качанів, наведені у **Табл. 7**.

**Таблиця 7.** Характеристики кукурудзяної соломи<sup>15</sup>

Найменування показника	Значення для зразка		
	№704	№889	№241
Загальна волога, $W^r$ , %	6,06	5,00	–
Зольність, $A^d$ , %	5,06	7,35	3,7
Вихід летючих, $V^{daf}$ , %	85,17	84,30	–
Вуглець, $C^d$ , %	46,82	50,19	51,40
Водень, $H^d$ , %	5,74	6,27	5,61
Азот, $N^d$ , %	0,66	0,60	0,62
Сірка, $S^d$ , %	0,11	0,12	–
Кисень, $O^d$ , %	41,36	42,82	43,41
Хлор, $Cl^d$ , мг/кг	2661,3	0,0	–
Нижча теплота згоряння, $Q^f$ , МДж/кг	15,68	16,72	–
Вища теплота згоряння, $Q^{daf}$ , МДж/кг	19,06	20,50	18,48
Склад золи, %:			
$P_2O_5$	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 стадій плавкості золи, °C:			
Деформація, IDT	–	1232	–
Півсфера, HT	–	1500	–
Розтікання, FT	–	1500	–
Біохімічний склад, %			
Целюлоза	–	36,80	51,20
Геміцелюлоза	–	25,40	30,70
Лігнін	–	16,90	14,40
<b>Примітка:</b> $r$ – робочий стан палива; $d$ – суха маса; $daf$ – сухий беззольний залишок.			

<sup>15</sup> <https://www.ecn.nl/phyllis2/Browse/Standard/ECN-Phyllis>

Вміст золи у ПП залежить від технології заготівлі, оскільки при контакті біомаси із ґрунтом її зольність збільшується. З огляду на це виділяють два типи золи: структурну та неструктурну [13]. Структурна зола складається з неорганічних речовин рослини, які залишаються після її спалювання. Звичайна зольність кукурудзяної соломи становить 3,5%. Неструктурована зола – це неорганічні речовини (переважно ґрунт), що потрапляють до соломи під час збирання, зокрема при формуванні валків та тюкуванні. Типовий повний вміст золи при багаторазовому проходженні с/г машин при збиранні складає 8-10%.

*За характеристиками плавкості золи кукурудзяна солома наближається до деревної біомаси* (для порівняння: у деревини температура плавлення золи складає близько 1200<sup>0</sup>С), що забезпечує кращі умови для спалювання порівняно із соломою зернових колосових культур.

Також солома кукурудзи містить менше хлору (0,2% маси с.р.) порівняно із свіжою («жовтою») соломою зернових колосових (0,75% маси с.р.) (Табл. 8). Це є позитивним фактором з точки зору застосування соломи як палива з огляду на те, що сполуки хлору викликають корозію сталевих елементів енергетичного обладнання.

**Таблиця 8.** Хімічний склад та деякі характеристики різних видів біомаси [14]

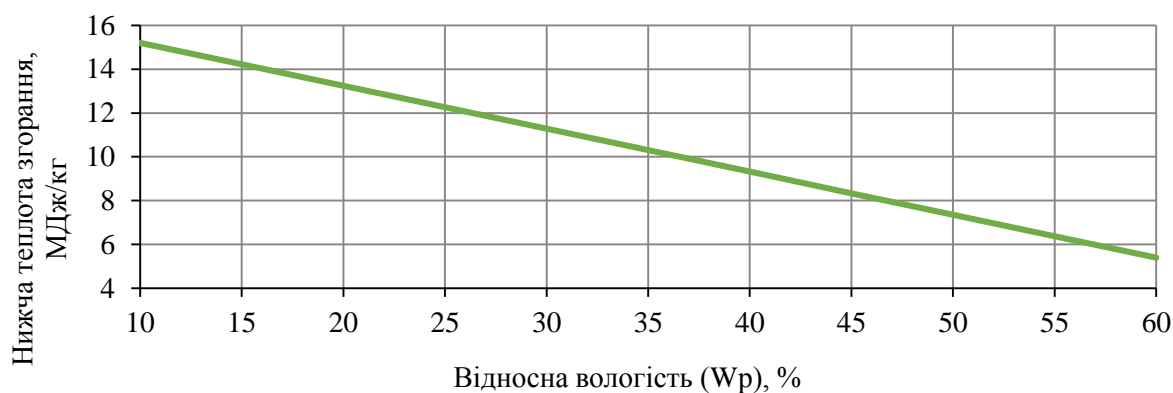
Показники	Свіжа солома («жовта»)	Лежала солома («сіра»)	Солома озимої пшениці	Стебла кукурудзи*	Стебла соняшника*	Деревна тріска
Вологість, %	10-20	10-20	11,2	45-60 (після збирання) 15-18 (висушені на повітрі)	60-70% (після збирання) ~20 (висушені на повітрі)	40
Нижча теплота згорання, МДж/кг	14,4	15	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	0,7	0,3
сірка	0,16	0,13	0,08	0,04	0,1	0,05
Температура плавлення золи, °С	800-1000	950-1100	1150	1050-1200	800-1270	1000-1400

**Примітка:**

с.р. – суха речовина; W – вологість.

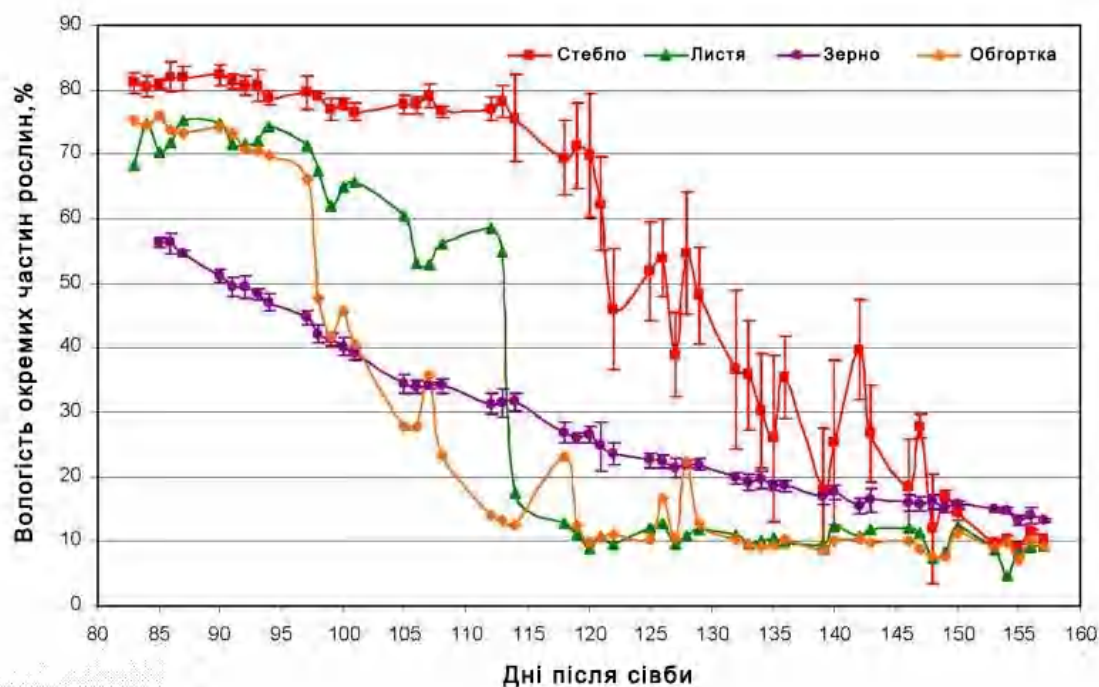
\* Дані по вмісту летючих речовин, зольності, елементарному складу – % маси с.р.

За елементарним складом кукурудзяна солома майже не відрізняється від соломи зернових колосових, тому у них порівнювана теплотворна здатність. Властивості соломи сильно залежать від місця вирощування, періоду збирання та погоди, ґрунту й добрив [15]. Найбільше на теплотворну здатність біомаси кукурудзи впливає вологість (**Рис. 12**).



**Рис. 12.** Графік залежності нижчої теплоти згорання від відносної вологості кукурудзяної соломи.

Вологість окремих частин кукурудзи неоднорідна і стрімко зменшується після 120 дня від дати сівби (**Рис. 13**). Стрижні качанів кукурудзи завжди вологіші ( $W$  35-45%), ніж зерно ( $W$  22-35%), але під час сушіння інтенсивніше випаровують вологу. Одразу після збирання вологість стебел знаходиться в межах 45-60% (теплота згорання 5-8 МДж/кг) [16]. Але належна технологія, що створює умови для продування біомаси вітром, дозволяє у полі зменшити  $W$  до 30% протягом 10 годин [12]. Також вологість ПП дуже сильно залежить від часу збирання та погодних умов, а тому сильні опади у період збирання врожаю можуть призвести до недоцільності заготівлі біомаси для виробництва твердого біопалива.



**Рис. 13.** Розподілення вологи у надземній частині стоячої рослини кукурудзи [17].

Таким чином, заготовляти ПП кукурудзи на зерно для енергетичного використання необхідно у період, коли вологість біомаси зменшиться до 20%, що приблизно настає після 150 днів від дати сівби. Важливими чинниками для забезпечення належної якості біомаси є правильно підібрані технологія та обладнання. Також необхідно координувати плани виконання робіт збиральної компанії із прогнозом погоди.

Дослідження [18] показують можливість успішного спалювання тюків зі стебел кукурудзи у котлі Farm 2000 (Великобританія) потужністю 176 кВт (Рис. 14), призначеному для тюкованої соломи зернових культур. Однією з відмінностей було утворення більшого обсягу золи – 9,2% для стебел кукурудзи проти 2,6% для соломи зернових. Середній рівень викидів CO при спалюванні стебел кукурудзи був вище, ніж для соломи (2725 мг/м<sup>3</sup> проти 2210 мг/м<sup>3</sup>), а NO<sub>x</sub> і SO<sub>2</sub> – нижче (мг/м<sup>3</sup>): 9,8 проти 40,4 та, відповідно, 2,1 проти 3,7.

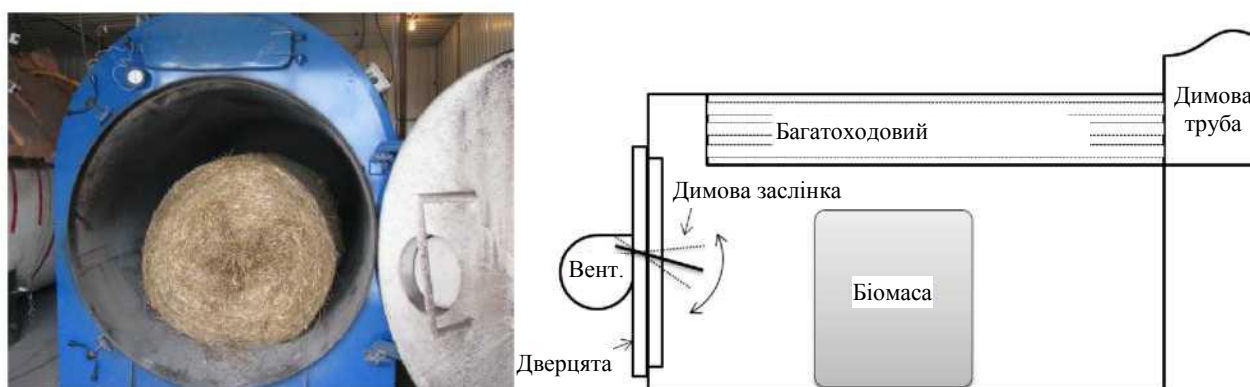


Рис. 14. Загальний вигляд котла Farm 2000 [18].

Використання ПП кукурудзи на зерно для отримання енергії в Україні запроваджено давно, але у досить обмежених масштабах, переважно для виробництва теплової енергії для потреб домогосподарств, хоча має значну сировинну базу для масштабного розвитку. Крім цього, необхідно визначити умови, при яких можливо відчужувати ПП з полів із збереженням родючості ґрунтів та критерії для їх оцінки. Зола від спалювання ПП кукурудзи може бути використана як добриво. Національною академією аграрних наук України для АПК розроблені рекомендації із застосування соломи і післяжнивних решток як *органічних добрив* [6, 30], тоді як спеціалізовані рекомендації із визначення можливості відчуження побічної продукції рослинництва поки що відсутні. Тому вітчизняні агровиробники на власний розсуд визначають напрямки використання побічної продукції рослинництва, що часто не є раціональним, або спалюють її разом із стернею на полях, що завдає значної шкоди навколишньому середовищу.

#### **Досвід США із заготівлі біомаси для виробництва біоетанолу з лігноцелюлозної сировини**

Для оцінки впливу відчуження ПП розроблено багато керівництв з управління рослинними рештками. Зокрема, Служба охорони природних ресурсів Міністерства

сільського господарства США оприлюднила Білу книгу «Вилучення рослинних решток для виробництва енергії: вплив на ґрунт та рекомендації» [19].

Цим документом обумовлено, що вплив відчуження рослинних решток на якість ґрунтів пов'язаний із:

- **Ерозією ґрунтів.** Поверхневі рослинні рештки захищають ґрунти від водної та вітрової ерозії. Рештки також підвищують опір ґрунту до змиву, якщо не порушена інфільтрація ґрунту. Дослідження показують, що до 30% поверхневих решток можуть бути видалені у деяких системах No-till без збільшення ерозії або змивання ґрунту.

- **Органічними та поживними речовинами.** При використанні додаткових азотних добрив рослинні рештки можуть підвищити органічну речовину ґрунту. Проте, коріння є найбільшим вкладником нової органічної речовини у ґрунті, роблячи рештки менш вагомими для накопичення вуглецю. Видалення рослинних решток призводить до збільшення ерозії та темпів змивання, що збільшує втрату органічної речовини ґрунту та поживних речовин. Вилучення рослинних решток вимагає також збільшення доз внесення добрив для заміни поживних речовин у відчуженому рослинному матеріалі.

- **Корисними та шкідливими ґрунтовими організмами.** Видалення рослинних решток може призвести до згубних наслідків у багатьох показниках якості ґрунту, включаючи: ґрунтовий вуглець, мікробіологічну активність, грибну біомасу та популяцію дощових черв'яків, що вказує на зменшення родючості ґрунтів. Деякі хвороботворні організми розвиваються від видалення залишків, інші, навпаки, при збереженні залишків, залежно від сільськогосподарської культури та регіону.

- **Доступною водою та посухостійкістю.** Поверхневі рослинні залишки сприяють зменшенню випаровування з поверхні ґрунту, що збільшує вологозабезпечення та подовжує період виживання сільськогосподарських культур в умовах посухи. Із збільшенням обсягів рослинних решток покращуються фізичні властивості ґрунту, зокрема, зменшується щільність та покращується агрегатна стабільність, що також призводить до кращої інфільтрації та затримання води.

- **Температурою ґрунту та урожайністю сільськогосподарських культур.** У холодному кліматі рослинні рештки пов'язують із здатністю зменшувати врожайність відповідно до меншої температури ґрунту, що призводить до слабого пророщування. Мульчування стерні на противагу простому подрібненню залишків може подолати цю проблему. Асоційоване із залишками зменшення врожайності також було встановлено на ґрунтах погано осушених та дрібної структури. У зв'язку з тим, що такі ґрунти мають низьку загрозу ерозії, залишки можуть безпечно видалятися.

*Рекомендації для відчуження рослинних решток:*

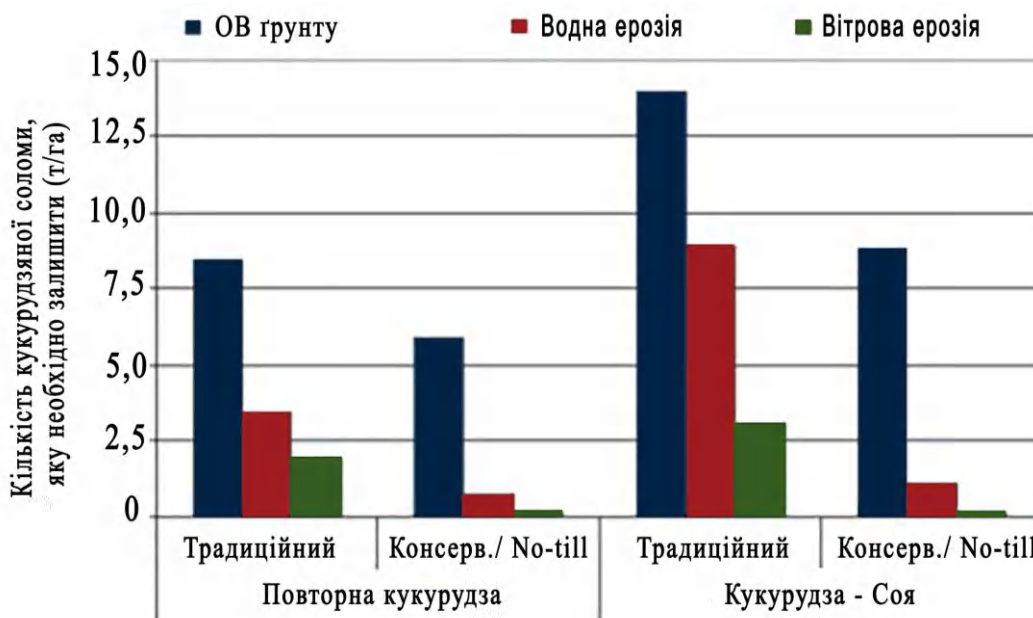
- **Обсяги відчуження решток.** Обсяги відчуження рослинних решток, визначених на принципах сталого розвитку, залежать від багатьох факторів, таких як менеджмент, врожайність та тип ґрунту. Такі інструменти, як програмне забезпечення RUSLE, WEQ та Soil Conditioning Index (Індекс стану ґрунту) є найбільш практичним способом визначення кількості біомаси для безпечного відчуження. Об'єм відчуження відрізняється від обсягів решток, необхідних для покриття ґрунту. Він залежить від виду сільськогосподарської

культури та регіону. Площі із малим нахилом поверхні та високою врожайністю дозволяють збирання рослинних решток, тоді як у багатьох інших місцях кількість решток, необхідних для підтримання якості ґрунту, буде вище, ніж існуючі практики покриття ґрунту.

- **Додаткові ґрунтозахисні заходи.** Ґрунтозахисні заходи, такі як смуги захисних насаджень або ґрунтозахисний обробіток ґрунту, повинні використовуватися для компенсації втрат захисту від ерозії та зменшення органічної речовини ґрунту, пов'язаних із видаленням рослинних решток. У багатьох регіонах, як альтернатива, застосовуються покривні рослини.

- **Періодичний моніторинг та оцінка.** Незалежно від обраної практики відчуження рослинних решток, поля повинні ретельно контролюватися візуально на ознаки ерозії або кірки. Також рекомендуються періодичні перевірки ґрунтового вуглецю як частина випробування родючості. Обсяги відчуження повинні бути скориговані відповідно до шкідливих змін: якщо збільшується ерозія або зменшується вуглець, кількість видалення має бути зменшена для підтримання якості ґрунту.

Дослідження американських вчених [20] показують, що при визначенні обсягів відчуження ПП кукурудзи на зерно основним обмежуючим фактором є забезпечення балансу гумусу, який характеризується органічним вуглецем у ґрунті (Рис. 15). При повторному вирощуванні кукурудзи і традиційній технології обробітку ґрунту потрібно залишити близько 8,5 т/га кукурудзяної соломи, при консервуючій і No-till – 6 т/га. А при вирощуванні кукурудзи після сої при оранці необхідно залишити близько 14 т/га, а при консервуючій і No-till технології – 8,75 т/га.



**Рис. 15.** Середній обсяг залишків кукурудзи, необхідних для забезпечення балансу органічного вуглецю у ґрунті та управління водною та вітровою ерозією, за різних систем обробітку ґрунту [20].

Практичний досвід заготівлі значних обсягів ПП кукурудзи на зерно напрацьований у США компанією DuPont, яка 30 жовтня 2015 р. відкрила у м. Невада штату Айова

найбільший у світі завод з виробництва целюлозного біоетанолу [21]. На заводі планується виробляти більш ніж 110 млн. л. целюлозного біоетанолу на рік (Рис. 16).



Рис. 16. Виробнича програма заводу біоетанолу з лігноцелюлозної сировини DuPont<sup>16</sup>.

Завод целюлозного біоетанолу DuPont сплачує фермерам за дозвіл збирати ПП кукурудзи та управляє витратами на заготівлю, зберігання та транспортування. Фермери отримують кошти за доступ до поля та за обсяги поживних елементів, які забираються разом з ПП. Солому кукурудзи збирають з 500 найближчих ферм. На заводі зайнято 85 постійних працівників, та 150 працівників забезпечують збирання, транспортування та зберігання сировини.

Відповідно до заготівельної програми, DuPont заключає контракти з місцевими фермерами на збір, зберігання та постачання соломи кукурудзи на завод з виробництва біоетанолу на таких умовах<sup>17</sup>:

- Розташування у радіусі 48 км від м. Невада, штат Айова;
- Кукурудза повинна вирощуватися за системою обробітку ґрунту No-till або консервуючою;
- Урожайність не менше 12,2 т/га;
- Відносно рівні поля (нахил поверхні не більше 4%).

Зростання врожаїв кукурудзи призводить до більшої кількості рослинних решток, що створює проблеми для фермерів. Збільшення кількості рослинних решток від вирощування кукурудзи на зерно спричиняє хвороби рослин, перешкоджає сівбі і стабільному розвитку

<sup>16</sup> <http://www.dupont.com/products-and-services/industrial-biotechnology/advanced-biofuels/articles/nevada-cellulosic-ethanol-by-the-numbers.html>

<sup>17</sup> <http://www.dupont.com/products-and-services/industrial-biotechnology/advanced-biofuels/articles/nevada-corn-stover-harvest-program.html>



кукурудзи та сприяє поглинанню азоту. Відчуження частини ПП з високопродуктивного поля перед сівбою може покращити пророщення, ріст та підвищити врожайність культур.

Дослідження, проведені у штаті Айова показали, що врожайність на полях з частково видаленою ПП з повторним вирощуванням кукурудзи на зерно збільшилася приблизно на 0,35 т/га у порівнянні з попередніми роками.

Кількість ПП кукурудзи на зерно, доступна для відчуження, відповідно до рекомендацій DuPont [20] залежить від врожайності кукурудзи та культури-попередника (Табл. 9).

**Таблиця 9.** Вплив врожайності та сівозміни на кількість ПП кукурудзи на зерно, доступну для відчуження при збереженні балансу органічного вуглецю [20]

Врожайність кукурудзи на зерно	ПП кукурудзи на зерно <sup>1</sup>	Обсяги ПП кукурудзи на зерно, доступні для відчуження			
		Повторне вирощування кукурудзи <sup>2</sup>	Чергування кукурудзи з соєю <sup>3</sup>	Повторне вирощування кукурудзи <sup>2</sup>	Чергування кукурудзи з соєю <sup>3</sup>
т/га		т сухої маси/га		%	
9,4	8,6	3,0	0,0	34	0
10,0	9,4	3,7	0,7	39	8
10,7	9,9	4,2	1,2	43	13
11,3	10,6	4,9	2,0	47	19
11,9	11,1	5,4	2,5	49	22
12,5	11,6	5,9	3,0	51	26
13,2	12,3	6,7	3,7	54	30
13,8	12,8	7,2	4,2	56	33
14,4	13,3	7,7	4,7	57	35
15,1	14,1	8,4	5,4	60	39
15,7	14,6	8,9	5,9	61	41

**Примітка:**

1. Розраховано за індексом врожаю  $IV=0,5$  ( $IV = \text{врожайність зерна} / \{\text{врожайність зерна} + \text{врожайність соломи}\}$ );

2. Приблизно 5,75 т/га сухої маси ПП кукурудзи на зерно потрібно, щоб забезпечити баланс органічного вуглецю при довготривалому вирощуванні кукурудзи за технологіями обробки ґрунту No-till або консервуючою;

3. Приблизно 8,75 т/га сухої маси відходів кукурудзи на зерно потрібно щоб забезпечити баланс органічного вуглецю при чергуванні кукурудзи з соєю за технологіями обробки ґрунту No-till або консервуючою.

**Збирання побічної продукції кукурудзи на зерно**

При збиранні врожаю зернозбиральним комбайном з кукурудзяною жаткою рослинні рештки перерозподіляються наступним чином (Рис. 17): у стерні, за жаткою комбайна та за комбайном. Найбільший обсяг біомаси із стебел і листя утворюється за жаткою, що у вологому стані дорівнює **0,96** маси зерна.



СТ – стебла, ЛС – листя, ОК – обгортка качана, СН – стрижень,  $M_{\text{зерна}}$  – маса зерна

**Рис. 17.** Напрямки і кількість утворення ПП за зернозбиральним комбайном.

Технологічні операції заготівлі у загальному випадку передбачають подрібнення, розподілення та ущільнення біомаси. Відповідно до способів заготівлі ПП кукурудзи на зерно, можна виділити *п'ять* базових технологій (Табл. 10). Крім цього, розподілену після зернозбирального комбайна ПП кукурудзи можна тюкувати, але низька ефективність підбирання залишків (25-30% [22]) за великих витрат палива внаслідок необхідності проходження прес-підбирачами всієї площі поля робить даний спосіб *економічно непривабливим*. За рахунок використання комбінації базових технологій можна забезпечити збирання певної кількості біомаси, чого важко досягнути при заготівлі соломи зернових колосових, сої та ріпаку з огляду на те, що вся ПП концентрується за комбайном. Перші чотири технології ущільнюють ПП у прямокутні тюки або круглі рулони, а п'ята – заготовляє її у подрібненому вигляді. Залежно від кінцевої товарної форми біомаси розрізняються технологічні операції збирання, завантаження/розвантаження і перевезення, та, відповідно до цього, можуть використовуватися різні технічні засоби.

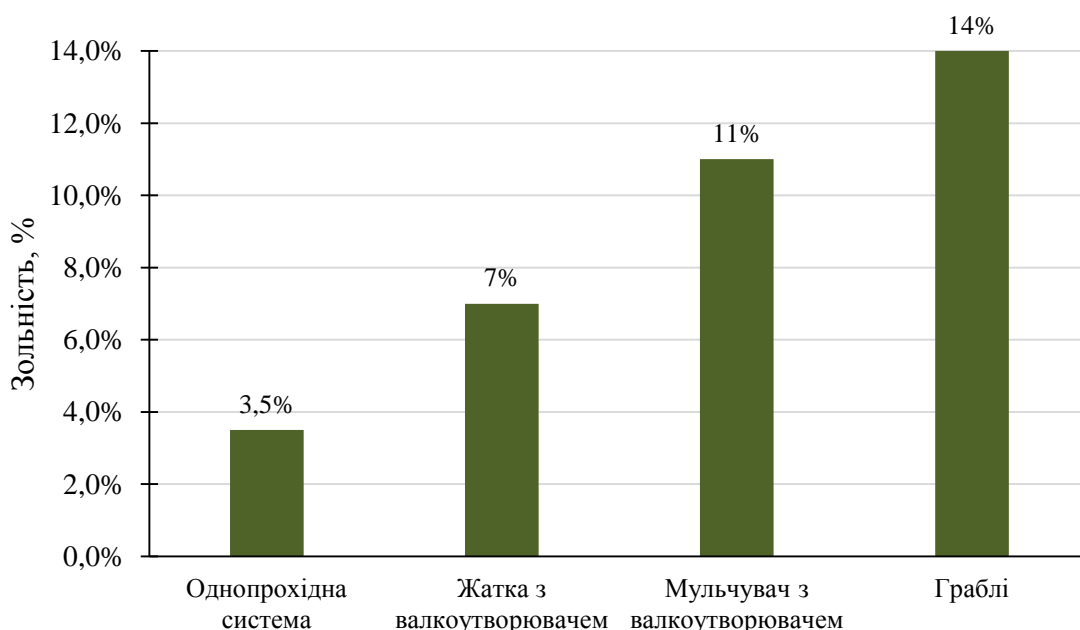
Для заготівлі максимальної кількості ПП кукурудзи треба застосовувати мульчувачі, які дозволяють подрібнити рослинні рештки до 40–70 мм, та граблі для формування валків. Слід відзначити, що із збільшенням контакту із ґрунтом підвищується зольність біомаси (Рис. 18). Для визначення необхідного переліку технологічних операцій та обладнання важливо також враховувати втрати та залишки рослинних решток у полі.

Відповідно до досвіду заготівлі ПП кукурудзи в Угорщині за 4-ою технологією (комбайн + трактор з мульчувачем + трактор з граблями + трактор з прес-підбирачем), найкраще відбувається ущільнення такої біомаси у рулони при вологості 24-30%, у тюки – при 22-30%. Після подрібнення та ущільнення в тюках і рулонах заготовлюється лише 35-50% від сухої маси рослини. Більшу частину втрат (близько 66,6%) становить біомаса, яка залишається у полі після формування валків [12].

**Таблиця 10.** Класифікація технологій заготівлі ПП кукурудзи на зерно після зернозбирального комбайна

№ п/п	Найменування технології заготівлі	Види зібраної біомаси	Збирання / транспортування на локальний склад*	Вантажні операції*	Транспортування на центральний склад*
1	Однопрохідна система: комбайн з прес-підбирачем	ОК+СН	Трактор з самозавантажувальним причепом (автомобіль-підбирач або навантажувачі + трактор з причепом (автомобіль))	Навантажувач телескопічний (навантажувач фронтальний або трактор з фронтальним навантажувачем)	Вантажний автомобіль з причепом-платформою (автомобіль-тягач з напівпричепом-платформою)
2	Комбайн з жаткою, що формує валок + трактор з прес-підбирачем	ОК+СН + СТ+ЛС			
3	Комбайн + трактор з мульчувачем з валкоутворювачем + трактор з прес-підбирачем	ОК+СН + СТ+ЛС+ Стерня			
4	Комбайн + трактор з мульчувачем + трактор з граблями + трактор з прес-підбирачем	ОК+СН + СТ+ЛС+ Стерня			
5	Комбайн з підбирачем обгорток та стрижнів качанів	ОК+СН	Трактор з причепом	Навантажувач	Вантажний автомобіль з причепом

\* В дужках зазначено можливі варіанти.



**Рис. 18.** Типова зольність соломи кукурудзи залежно від технології заготівлі.

Джерело: M.J. Darr Machinery Innovations to Meet Industrial Biomass Harvesting Demands in Expanding United States Markets – 71st International Conference on Agricultural Engineering LAND TECHNIK AgEng 2013 (November 8–9, 2013 Hannover, Germany).

На основі орієнтовної ефективності збирання сухої речовини у ПП кукурудзи на зерно [12, 22, 23, 24] визначено втрати рослинних решток за технологічними операціями при заготівлі біомаси (Табл. 11).

**Таблиця 11.** Очікувані втрати с.р. в результаті різних технологічних операцій у полі

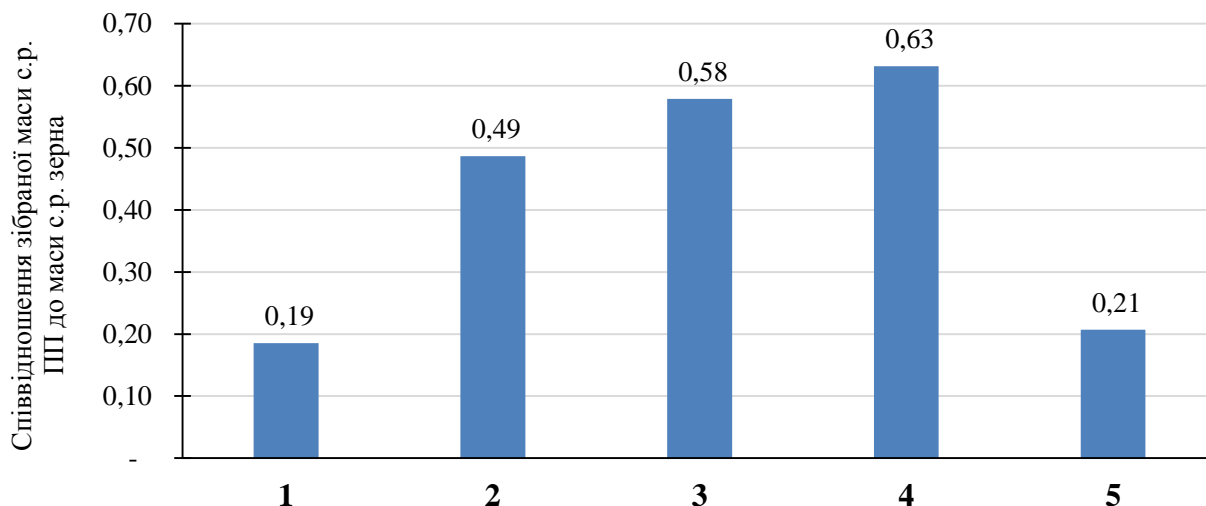
Найменування технологічної операції	Максимальні втрати с.р. при машинних операціях та залишки у полі, %
Жатка кукурудзяна:	
- зрізання	5
- подрібнення	5
- утворення валка	5
Комбайн зернозбиральний:	
- обмолот	3
- подрібнення і формування валка	10
Мульчувач:	
- подрібнення	5
- формування валка	10
Прес-підбирач:	
- з підбиранням маси з землі	20
- маса поступає з комбайна	5
Граблі	5
Збирання і укладання тюків у штабелі	2

Для розрахунку маси с.р. у рослинних рештках використаємо значення типової вологості висушеної у полі ПП кукурудзи на зерно (**Табл. 12**).

**Таблиця 12.** Вологість ПП кукурудзи на зерно [22]

Найменування	Вологість, % (сушіння у полі)
Зерно	15
Стрижень	19
Обгортка	24
Стебло і листя	33

Отже, виходячи з припущень щодо обсягів ПП кукурудзи на зерно (**Рис. 17, Табл. 10**), вологості (**Табл. 12**) та можливих втрат (**Табл. 11**), можна визначити орієнтовні обсяги біомаси для кожної з п'яти базових технологій заготівлі, що зображено на **Рис. 19**. Так, при врожайності кукурудзи на зерно 80 ц/га і вологості 15% технічно можливо заготовити від 13 до 43 ц/га с.р. у ПП, тоді як інша частина рослин залишається у полі і використовується як органічні добрива. Разом із тим слід відзначити, що вказані співвідношення орієнтовні і залежать від багатьох факторів, у першу чергу від співвідношення частин рослини конкретного гібриду, періоду збирання, вологості біомаси, погодних умов, характеристик конкретних моделей технічних засобів, кваліфікації механізаторів, тощо.



1 – однопрохідна система: комбайн з прес-підбирачем; 2 – комбайн з жаткою, що формує валок + трактор з прес-підбирачем; 3 – комбайн + трактор з мульчувачем з валкоутворювачем + трактор з прес-підбирачем; 4 – комбайн + трактор з мульчувачем + трактор з граблями + трактор з прес-підбирачем; 5 – комбайн з підбирачем качанів

**Рис. 19.** Орієнтовне співвідношення зібраної маси с.р. ПП до маси с.р. зерна кукурудзи залежно від технології заготівлі ПП.

Нині для промислової заготівлі ПП кукурудзи на зерно використовуються спеціальні технічні засоби. Так, на заводі целюлозного біоетанолу DuPont заготівельно-логістична система включає сім базових технологічних операцій (**Рис. 20**). Збирання зерна кукурудзи здійснюється силами фермерів, тоді як інші операції – заготівельними ланками заводу.



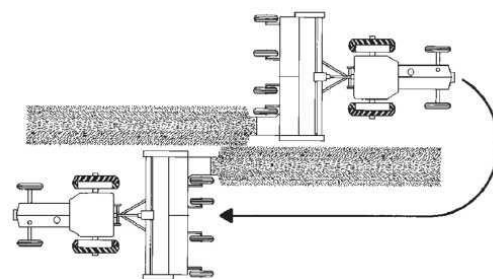
**Рис. 20.** Технологічна схема заготівельно-логістичної структури для ПП кукурудзи на зерно компанії DuPont [25].

Для подрібнення та формування валків з ПП кукурудзи після комбайна застосовуються мульчувачі (**Рис. 21 а**). Американська компанія Hiniker випускає мульчувачі з

валкоутворювачами серії 5600 шириною 15, 20 та 30 футів. Для забезпечення високої лінійної маси валка і зменшення кількості проходів техніки, Нінікер 5610 та 5620 з'єднують два проходи у один валок (Рис. 21 б). Для агрегування мульчувача шириною 30 футів потрібен трактор з потужністю двигуна 200 к.с.



а) загальний вигляд



б) використання

**Рис. 21.** Машина для подрібнення рослинних решток та формування валків Нінікер 5620.

Для тюкування ПП використовуються прес-підбирачі великогабаритних прямокутних тюків (Рис. 22 а). За рахунок тюкування біомаса ущільнюється з  $51 \text{ кг/м}^3$  до  $272 \text{ кг/м}^3$  [12], що суттєво покращує ефективність логістики та скорочує витрати на неї. Також широко застосовуються рулонні прес-підбирачі (Рис. 22 б). Вони дешевші і для них потрібний трактор меншої потужності, але при цьому вони характеризуються нижчою пропускною здатністю порівняно із прес-підбирачами великогабаритних прямокутних тюків. Крім того, рулонні прес-підбирачі забезпечують меншу щільність пресування та потребують застосування сітки, що дещо дорожче порівняно із шпагатом. Тому важливо ретельно проаналізувати витрати при виборі варіанта тюкування біомаси. Слід також зазначити, що прес-підбирачі повинні бути пристосовані для тюкування стебел кукурудзи з огляду на більші розміри фракції і міцність речовини порівняно із сіном, соломкою зернових колосових, ріпаку й сої. Необхідно враховувати можливості роботи обладнання у несприятливих погодних умовах.

Для попередження втрат сухої речовини та погіршення якості біомаси тюки та рулони необхідно швидко забрати з поля та укласти в штабелі для зберігання. Наприклад, на заводі целюлозного біоетанолу DuPont для цього використовують спеціальні машини та причепи, які можуть самостійно завантажуватися та розвантажуватися (Рис. 23). Машина Stinger Stacker 6500 має двигун потужністю 305 к.с., 6-швидкісну автоматичну коробку передач та може за 1 годину зібрати, вивезти й укласти в штабель 80-120 великогабаритних прямокутних тюків. Самозавантажувальний причеп 16K Plus Bale Runner збирає за одну ходку 12 великих тюків шириною 1,2 м та висотою 0,9 м і агрегується з трактором потужністю від 180 к.с.



*a*

*б*

*a – прес-підбирач великогабаритних прямокутних тюків Massey Ferguson 2270XD;  
б – рулонний прес-підбирач 605 Super M Cornstalk Special Baler*

**Рис. 22.** Обладнання для тюкування ПП кукурудзи на зерно.



*a*

*б*

*a – машина Stinger Stacker 6500; б – самозавантажувальний причеп 16K Plus Bale Runner*

**Рис. 23.** Машини для збирання та укладання тюків у штабелі

У подальшому для вантажних операцій на складах використовуються фронтальні та телескопічні навантажувачі, а для перевезення з локального на центральний склад – автомобілі-тягачі з напівпричепами-платформами. Таке обладнання традиційно використовують і для логістичних операцій із тюками соломи та сіна. Але тюки з ПП кукурудзи зазвичай характеризуються більшою вологістю і тому важчі порівняно із соломою зернових колосових і ріпаку, тому це треба враховувати при виборі навантажувачів та вантажних автомобілів. З огляду на меншу ефективність використання об'єму транспорту та складів, логістичні операції із рулонами порівняно із прямокутними тюками більш складні і дорогі.

Розглянуте вище обладнання дозволяє забезпечити заготівлю ПП кукурудзи на зерно для заводу целюлозного біоетанолу DuPont, але реалізує тільки технологію №3 комбайн + трактор з мульчувачем з валкоутворювачем + трактор з прес-підбирачем (Табл. 10). Для інших технологій додатково використовують наступне обладнання.

Для формування валків з кукурудзяної соломи застосовуються спеціальні жатки з валкоутворювачем (Рис. 24) у технології №2 (Табл. 10). У валках ПП кукурудзи може підсушитися, і таким чином покращаться паливні характеристики біомаси. Жатка Geringhoff Mais Star Collect може подрібнювати і розкидати стебла і листя кукурудзи або укладати їх у

валок. Зверху на цей валок також можуть поступати подрібнені стрижні та обгортки качанів після молотарки комбайна. Компанія New Holland випускає пристосування для формування валків Cornrower, що може бути приєднане до жаток для збирання кукурудзи. Це технічне рішення отримало срібну медаль на виставці Agritechnica 2013. Для збирання валків ПП кукурудзи на зерно крім прес-підбирачів іноді застосовують кормозбиральні комбайни, і біомасу у подрібненому вигляді насипом транспортують до тваринницьких ферм або біогазових установок.



*a*



*б*

*a – Geringhoff Mais Star Collect; б – New Holland's Cornrower*

**Рис. 24.** Жатки для збирання кукурудзи з валкоутворювачами.

Сучасні зернозбиральні комбайни подрібнюють і розподіляють солому по поверхні поля. Але іноді при застосуванні зернозбиральних комбайнів із звичайними жатками для збирання кукурудзи може виникнути необхідність додаткового подрібнення ПП. Тоді застосовують стандартні мульчувачі, агреговані із трактором, які також подрібняють і стерню та розкидають біомасу по полю, що передбачено у технології заготівлі ПП кукурудзи **№4 (Табл. 10)**. Для формування валків використовуються граблі, агреговані з трактором (**Рис. 25**). З їх допомогою також можна здвоювати валки. Для роботи із стеблами кукурудзи граблі повинні бути обладнані більш міцними пальцями, ніж для сіна.



**Рис. 25.** Формування валків біомаси граблями Vermeer VR2040.





підбирачі стрижнів і обгортки качанів для зернозбиральних комбайнів, мульчувачі та жатки з валкоутворювачами зустрічаються *рідко*. Разом із цим у багатьох вітчизняних господарствах вже наявна сільськогосподарська техніка, яка дозволяє заготовити ПП кукурудзи на зерно за технологією №4 комбайн + трактор з мульчувачем + трактор з граблями + трактор з прес-підбирачем (Табл. 10).

### Ціноутворення на ринку побічної продукції рослинництва в умовах України

Важливим аспектом сталого функціонування біоенергетики є ціноутворення на ринку біомаси. Для ПП у рослинництві використовуються декілька можливих варіантів визначення ціни:

- закупівельна ціна встановлюється переробним підприємством;
- ціна визначається за кормовою цінністю;
- ціна визначається за вартістю еквівалентних доз мінеральних добрив для заміни поживних елементів у біомасі, а також з врахуванням економії агровиробника на технологічних операціях по управлінню рослинними рештками [26].

В Україні наразі ціна на ПП кукурудзи на зерно формується індивідуально за домовленістю між продавцем і покупцем. Для забезпечення сталого розвитку рослинництва доцільно при визначенні базової ціни враховувати вартість мінеральних добрив для еквівалентної заміни поживних елементів у рослинних рештках, які відчужуються [14]. Для прикладу у Табл. 13 наведено результати розрахунків вартості с.р. ПП кукурудзи на зерно за еквівалентною вартістю мінеральних добрив (простих та комплексних); також врахована можливість повернення у поле золи, яка є цінним калійно-фосфорним добривом.

**Таблиця 13.** Визначення вартості поживних елементів у ПП (с.р.) кукурудзи на зерно

Поживний елемент	Вміст поживних елементів у ПП (с.р.) [27], %	Вартість поживного елементу у мінеральних добривах, грн./кг	Вартість поживних елементів у ПП (с.р.), грн./т	Вміст поживних елементів у золі <sup>4,5</sup> , %	Вартість поживних елементів у золі ПП, грн./т	Узагальнена вартість ПП (с.р.), грн./т	
						без повернення золи	зола повертається у поле
<b>Варіант 1. Використання простих мінеральних добрив</b>							
N	0,7	17,61 <sup>1</sup>	132,07	–	–	–	–
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,3	28,87 <sup>2</sup>	86,62	4,88	71,29	86,62	15,32
K <sub>2</sub> O	1,6	15,81 <sup>3</sup>	259,23	11,84	94,70	259,23	164,53
<b>ВСЬОГО</b>			<b>477,91</b>		<b>165,99</b>	<b>345,85</b>	<b>179,85</b>
<b>Варіант 2. Використання комплексних мінеральних добрив</b>							
<b>1 д.р.</b>	<b>2,69</b>	<b>21,25<sup>6</sup></b>	<b>571,63</b>	<b>16,72</b>	<b>179,78</b>	<b>448,36</b>	<b>232,47</b>
<b>Примітка:</b>							
<sup>1</sup> – карбамід (N-46%); <sup>2</sup> – суперфосфат подвійний (NP (S) 10:32 (20)); <sup>3</sup> – калій хлористий (K-62%);							
<sup>4</sup> – хімічний склад золи соломи, спаленої у котлі з рухомою колосниковою решіткою (подова зола) <sup>18</sup> ;							
<sup>5</sup> – вміст золи у сухій масі 5,06% (Табл. 10); <sup>6</sup> – нітроаммофоска (NPK 16:16:16).							

<sup>18</sup> <http://www.ieabcc.nl>

Слід відзначити, що вміст поживних елементів у ПП залежить від багатьох факторів і може коливатися у широкому діапазоні. Так, згідно роботи [17], він може бути 0,32-1,67% N, 0,045-0,36% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> та 0,54-1,45% K<sub>2</sub>O. А за дослідженнями компаній Monsanto та ADM, середній вміст N складає 0,73%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,24% та K<sub>2</sub>O – 0,82%, що менше, ніж дані вітчизняного довідника [27], які використані у розрахунках (Табл. 13).

В оцінках бажано враховувати види міңдобрив, які застосовуються агровиробником. При використанні простих мінеральних добрив (варіант 1: карбамід, суперфосфат подвійний та калій хлористий) орієнтовна вартість поживних елементів у ПП кукурудзи на зерно на січень 2016 р. складає 179,85 грн./т. Це на 22,5% менше порівняно із випадком застосування комплексних міңдобрив (варіант 2: нітроаммофоска), в якому вартість поживних елементів у ПП становить 232,47 грн./т. Також слід враховувати, що ПП розкладається тривалий час, що сповільнює засвоєння поживних речовин рослинами. За 2,5-4 місяці розкладається до 46% соломи, за 1,5-2 роки – до 80%, решта – пізніше. Для швидшого розкладання ПП необхідно вносити додаткові дози азотних добрив. При заготванні соломи рекомендується вносити в ґрунт 10-12 кг діючої речовини азоту на кожную її тону [6]. Ці дози азоту перевищують вміст азоту у рослинних рештках, тому в узагальненій вартості ПП, відповідно до рекомендацій [28], вміст у них азоту не враховується.

Графічна залежність зміни ціни ПП кукурудзи на зерно від її вологості для обох варіантів зображена на Рис. 28. Із збільшенням вологості (W) зменшується маса сухої речовини у 1 т біомаси, а тому знижується її ціна.

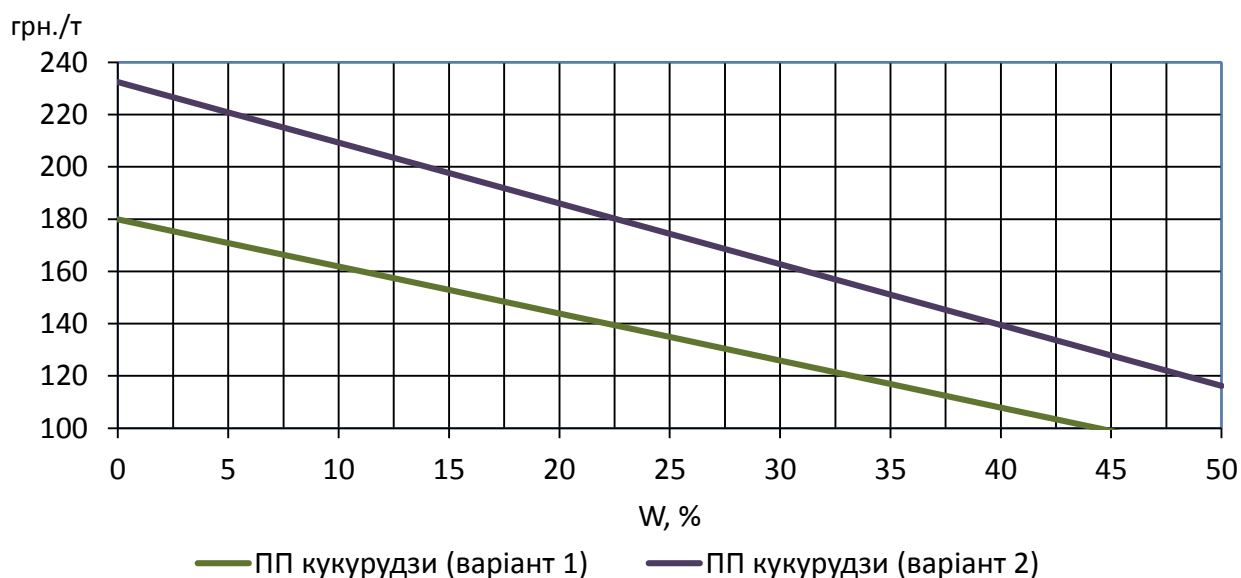


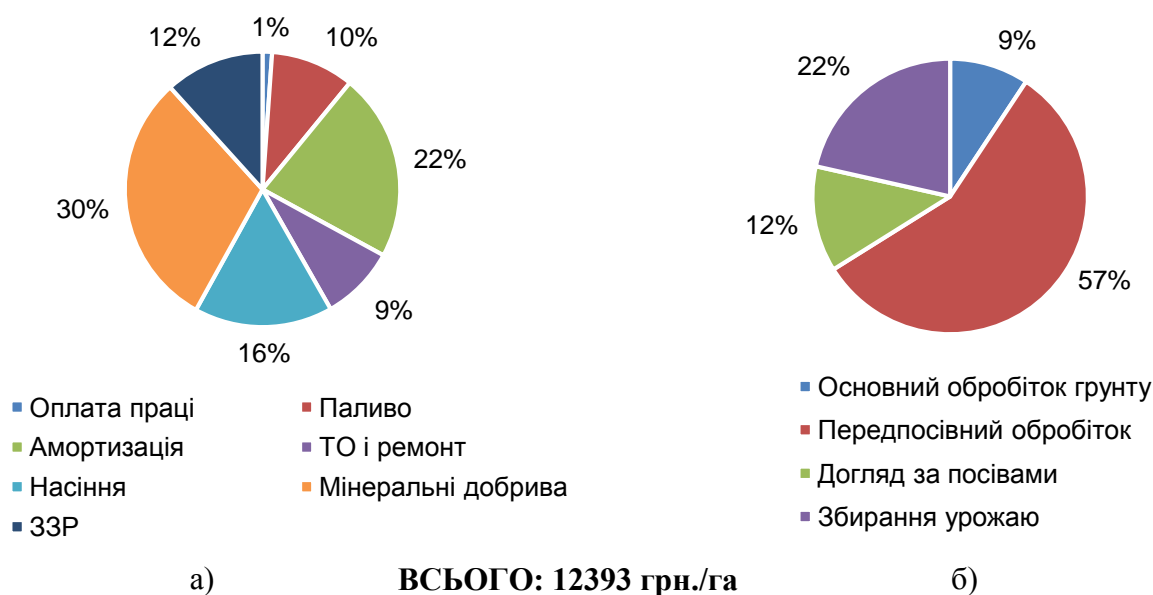
Рис. 28. Графік залежності вартості ПП кукурудзи на зерно від її вологості.

Отже, при заготівлі ПП кукурудзи вологістю 20% її орієнтовна вартість складає 143,88 грн./т при використанні міңдобрив за варіантом 1 та 185,97 грн./т – за варіантом 2. При вологості 30% вартість становить 125,90 та 162,73 грн./т, відповідно.

### Витрати на вирощування та збирання кукурудзи на зерно

З метою оцінки витрат складена технологічна карта вирощування кукурудзи на зерно для сільськогосподарського підприємства Київської області у зоні Лісотепу у 2015 р. Вихідні дані: площа посіву 119 га; норми внесення мінеральних добрив: нітроамофоска – 200 кг/га, аміачна селітра – 200 кг/га; органічні добрива – 30 т/га гною ВРХ; засоби захисту рослин: Харнес – 3 л/га та Майстер – 0,15 кг/га. Культура-попередник – соя. Основний обробіток ґрунту – оранка.

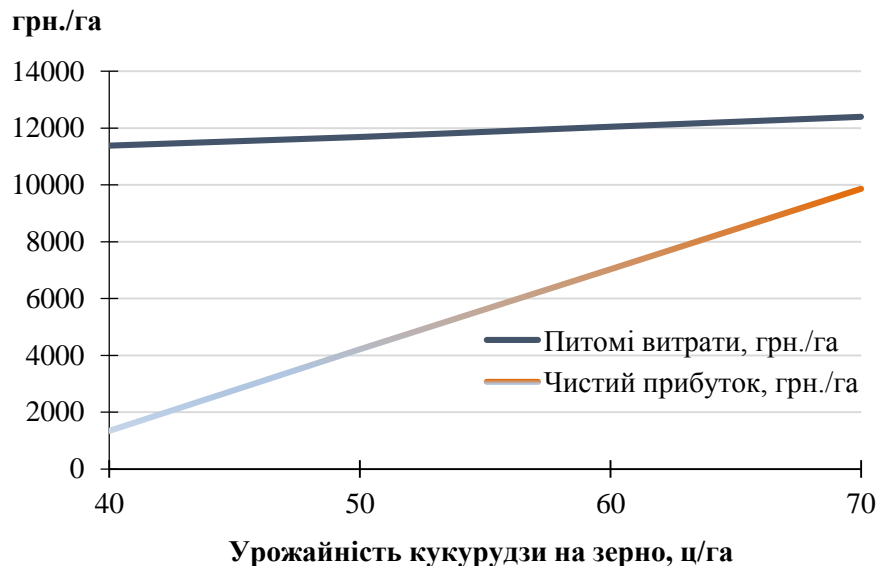
Структура питомих витрат на гектар за статтями при плановій врожайності зерна кукурудзи 70 ц/га зображена на **Рис. 29а**, а структура за с/г операціями – на **Рис. 29б**. Найбільше коштів необхідно витратити на закупівлю мінеральні добрив – 30% від загальних витрат (за статтями). Основний обробіток ґрунту займає 9% у структурі витрат (за с/г операціями), а використання мінімальних технологій обробітку ґрунту порівняно із традиційною оранкою дозволяє зменшити собівартість зерна кукурудзи на 2,6-4,5%.



**Рис. 29.** Структура питомих грошових витрат на вирощування кукурудзи при врожайності зерна 70 ц/га: а – за статтями витрат; б – за групами технологічних операцій.

Витрати та чистий прибуток (на гектар) від вирощування кукурудзи на зерно в залежності від врожайності зображені на **Рис. 30**. Прийнята закупівельна ціна зерна кукурудзи – 3180 грн./т. Отже, зменшення врожайності зерна з 70 до 40 ц/га зменшує прибуток виробника при реалізації основної продукції з 9867 грн./га до 1338 грн./га. У 2015 р. попередні дані щодо середньої врожайності кукурудзи на зерно по Київській області складають 60 ц/га<sup>19</sup>, що відповідає 54% рентабельності для розглянутої технологічної карти.

<sup>19</sup> <http://latifundist.com/urojai>



**Рис. 30.** Залежність витрат та прибутку вирощування кукурудзи на зерно від врожайності.

Разом із цим, вирощування кукурудзи дозволяє агровиробникам крім продажу основної продукції (зерна) отримати додатковий дохід від реалізації побічної продукції.

#### **Визначення допустимої частки відчуження побічної продукції кукурудзи на зерно для умов України**

Аналіз практичного досвіду країн Європи щодо частки рослинних відходів сільського господарства, доступних для виробництва енергії, й досліджень, проведених українськими фахівцями, наведено у Аналітичній записці БАУ №7 «Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні» [16]. Відповідно до цього аналізу, сформована така позиція БАУ:

1. Питання про частку соломи та інших поживних решток, що можуть бути використані для виробництва енергії або біопалива, необхідно вирішувати *індивідуально* для кожного господарства. При цьому мають бути враховані всі важливі агроекономічні фактори.

2. Для України в цілому можна запропонувати лише *загальні* рекомендації щодо частки соломи та інших рослинних залишків, доступних для використання в якості палива, з урахуванням власних потреб сільського господарства. А саме, рекомендується *використовувати до 30% теоретичного потенціалу соломи зернових культур й до 40% теоретичного потенціалу відходів виробництва кукурудзи на зерно та соняшника.*

Розглянемо більш детально диференційований підхід оцінки частки ПП кукурудзи на зерно, яку можна відчужувати для енергетичних потреб, на прикладі розглянутого вище сільськогосподарського підприємства Київської області у зоні Лісостепу.

Для сталого розвитку сільського господарства важливо дотримуватися агрохімічного закону повернення поживних речовин, згідно з яким елементи живлення, відчужені з урожаєм сільськогосподарських культур, мають бути повернені до ґрунту. Одним з основних заходів контролю є визначення *балансу гумусу і поживних речовин* у землеробстві. При цьому розраховують і порівнюють статті надходження елементів живлення в ґрунт і

виносу їх урожаєм, а також втрат з ґрунту. У розрахунках використовують складові цих статей, ґрунтуючись на експериментальних довідкових даних. Найчастіше до статті *надходжень* включають органічні і мінеральні добрива, меліоранти<sup>20</sup>, поживно-кореневі залишки, насіння, біологічну фіксацію азоту, надходження з атмосферними опадами. Стаття *втрат* формується за рахунок виносу поживних речовин урожаєм, ерозійних втрат, вимивання, звітрювання в атмосферу [10, 29]. Розрахунок балансу основних поживних речовин та гумусу проведемо за методичними вказівками з охорони ґрунтів [30].

### ***Розрахунок балансу основних поживних речовин (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O)***

#### ***Статті надходження поживних речовин***

- з мінеральними добривами ( $Q_1$ ):

За технологічною картою у господарстві заплановано внести нітроаммофоску (N16P16K16) – 200 кг/га, аміачну селітру (N34,4) – 200 кг/га. Отже, надходження поживних речовин у кг д.р. N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O на гектар становлять:

$$Q_{1(N)} = 100,8 \text{ кг/га}, Q_{1(P_{2O_5})} = 32 \text{ кг/га}, Q_{1(K_{2O})} = 32 \text{ кг/га};$$

- з органічними добривами ( $Q_2$ ):

При середньому вмісті поживних речовин у гної N – 0,5 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,25 % та K<sub>2</sub>O – 0,6 %, внесення 30 т/га гною ВРХ забезпечить надходження:

$$Q_{2(N)} = 150 \text{ кг/га}, Q_{2(P_{2O_5})} = 75 \text{ кг/га}, Q_{2(K_{2O})} = 180 \text{ кг/га};$$

- з атмосферними опадами ( $Q_3$ ):

Умовно рахують, що у Лісостепу за рахунок опадів надходить N 10 кг/га ( $Q_{3(N)} = 10 \text{ кг/га}$ ), а величина надходжень  $Q_{3(P_{2O_5})}$  та  $Q_{3(K_{2O})}$  враховуються при наявності даних. Будемо вважати, що поблизу полів нема промислових підприємств, які викидають в атмосферу відповідні речовини, і відсутні дані щодо потрапляння фосфору у ґрунти з опадами;

- з насінням ( $Q_4$ ):

При нормі висіву насіння 24 кг/га і середньому вмісті у зерні кукурудзи N – 1,9 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,57 % та K<sub>2</sub>O – 0,37 %, надходження поживних речовин складуть:

$$Q_{4(N)} = 0,46 \text{ кг/га}, Q_{4(P_{2O_5})} = 0,14 \text{ кг/га}, Q_{4(K_{2O})} = 0,09 \text{ кг/га};$$

- симбіотична азотфіксація<sup>21</sup> ( $Q_5$ ):

Враховуючи, що попередник – соя відноситься до зернобобових, які є культурами-азотфіксаторами, на 1 ц основної продукції фіксується 2,5 кг N. Враховуючи, що середня урожайність сої у 2014 р. у Київській області складала 21,9 ц/га, відповідне надходження азоту становить  $Q_{5(N)} = 55 \text{ кг/га}$ ;

- несимбіотична азотфіксація<sup>22</sup> ( $Q_6$ ):

Умовно рахується, що поглинання атмосферного азоту і перетворенні його в органічну форму ґрунтовими мікроорганізмами в Лісостепу складає 10 кг N/га ( $Q_{6(N)} = 10 \text{ кг/га}$ ).

<sup>20</sup> Меліоранти – речовини, які застосовуються для проведення заходів покращення ґрунтів з несприятливими хімічними та фізичними властивостями.

<sup>21</sup> Симбіотична азотфіксація – поглинання атмосферного азоту мікроорганізмами, які живуть у симбіозі із бобовими та деякими небобовими рослинами.

<sup>22</sup> Несимбіотична азотфіксація – поглинання атмосферного азоту вільноживучими ґрунтовими мікроорганізмами.

Сумарне надходження азоту, фосфору та калію складає:

$$Q_{(N)} = Q_{1(N)} + Q_{2(N)} + Q_{3(N)} + Q_{4(N)} + Q_{5(N)} + Q_{6(N)} = 100,8 + 150 + 10 + 0,46 + 55 + 10 = 326,26 \text{ кг/га};$$

$$Q_{(P_{2O5})} = Q_{1(P_{2O5})} + Q_{2(P_{2O5})} + Q_{4(P_{2O5})} = 32 + 75 + 0,14 = 107,14 \text{ кг/га};$$

$$Q_{(K_{2O})} = Q_{1(K_{2O})} + Q_{2(K_{2O})} + Q_{4(K_{2O})} = 32 + 180 + 0,09 = 212,09 \text{ кг/га}.$$

*Статті втрат поживних речовин*

- з урожаєм сільськогосподарських культур ( $V_1$ ):

Для визначення втрат поживних речовин с/г культурами використовуємо середні показники виносу поживних речовин урожаєм кукурудзи на 1 ц продукції згідно роботи [30, табл. 2.2]. Результати розрахунків у залежності від урожайності наведено у **Табл. 14**.

**Таблиця 14.** Винос поживних речовин основною та побічною продукцією кукурудзи, кг

	На 1 ц зерна	Урожайність зерна кукурудзи, ц/га						
		40	50	60	<b>70</b>	80	90	100
$V_{I(N)}$	2,41	96,4	120,5	144,6	<b>168,7</b>	192,8	216,9	241
$V_{I(P_{2O5})}$	0,86	34,4	43	51,6	<b>60,2</b>	68,8	77,4	86
$V_{I(K_{2O})}$	2,24	89,6	112	134,4	<b>156,8</b>	179,2	201,6	224

- з бур'янами ( $V_2$ ):

Виходячи із того, що при вирощуванні кукурудзи на зерно застосовуються інтенсивні агротехнології, втратами поживних речовин від виносу бур'янами знехтуємо;

- з іригаційними водами ( $V_3$ ) поживні речовини втрачаються через вимивання, але ці втрати враховуються тільки на зрошувальних землях, тому у розрахунках для умов Київської області не будемо їх враховувати;

- за рахунок ерозії ( $V_4$ ):

Середні втрати елементів живлення на слабоеродованих ґрунтах складають:

$$V_{4(N)} = 18 \text{ кг/га}, V_{4(P_{2O5})} = 5 \text{ кг/га} \text{ та } V_{4(K_{2O})} = 12 \text{ кг/га};$$

- за рахунок денітрифікації ( $V_5$ ):

Втрати азоту за рахунок денітрифікації при нормах більше 60 кг N/га становлять 20%, тому  $V_{5(N)} = 20,16 \text{ кг/га}$ .

Сумарні втрати азоту, фосфору та калію при плановій врожайності зерна кукурудзи 70 ц/га складають:

$$V_{(N)} = V_{I(N)} + V_{4(N)} + V_{5(N)} = 168,7 + 18 + 20,16 = 206,86 \text{ кг/га};$$

$$V_{(P_{2O5})} = V_{I(P_{2O5})} + V_{4(P_{2O5})} = 60,2 + 5 = 65,2 \text{ кг/га};$$

$$V_{(K_{2O})} = V_{I(K_{2O})} + V_{4(K_{2O})} = 156,8 + 12 = 168,8 \text{ кг/га}.$$

Таким чином, розрахований баланс азоту, фосфору та калію при плановій врожайності зерна кукурудзи 70 ц/га складає:

$$B_{(N)} = Q_{(N)} - V_{(N)} = 326,26 - 206,86 = 119,4 \text{ кг/га};$$

$$B_{(P_{2O5})} = Q_{(P_{2O5})} - V_{(P_{2O5})} = 107,14 - 65,2 = 41,94 \text{ кг/га};$$

$$B_{(K_{2O})} = Q_{(K_{2O})} - V_{(K_{2O})} = 212,09 - 168,8 = 43,29 \text{ кг/га}.$$

Позитивний баланс основних поживних речовин свідчить про *можливість відчуження* частини побічної продукції. З огляду на винос поживних елементів із урожаєм ПП кукурудзи на зерно N – 0,69 кг/ц, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,21 кг/ц, K<sub>2</sub>O – 1,42 кг/ц, визначимо обсяги біомаси, яку можна відчужувати за умови забезпечення бездефіцитного балансу поживних речовин:

- $119,4/0,69 = 173$  ц/га;
- $41,94/0,21 = 200$  ц/га;
- $43,29/1,42 = 30,5$  ц/га.

Отже, для розглянутих умов можна забрати з поля **30,5 ц/га** ПП кукурудзи на зерно, що складає **33,5%** від всього обсягу ПП. Збільшити долю відчуження ПП до 100% можна за рахунок збільшення норми внесення калійних добрив. Основними статтями надходження поживних елементів є внесення мінеральних (15-31%) та органічних добрив (46-85%), а статтями витрат – винос поживних речовин основною та побічною продукцією кукурудзи (82-93%).

### ***Розрахунок балансу гумусу***

#### *Розрахунок надходження гумусу*

- гуміфікація поживно-корневих залишків ( $Q_1$ ):

Кількість утвореного гумусу у т/га розраховуємо за формулою:

$$Q_1 = U \cdot k_p \cdot k_g = 7 \cdot 1,3 \cdot 0,2 = 1,82 \text{ т/га},$$

де  $U = 7$  т/га – урожайність кукурудзи на зерно;

$k_p = 1,3$  – коефіцієнт накопичення поживно-корневих залишків відносно врожаю зерна кукурудзи;

$k_g = 0,2$  – коефіцієнт гуміфікації залишків кукурудзи на зерно у Ліссостепу.

- гуміфікація органічних добрив ( $Q_2$ ):

Враховуючи, що коефіцієнт гуміфікації підстилкового гною у Ліссостепу становить 0,054, при нормі внесення гною 30 т/га, кількість гумусу, яка утворилася з гною:

$$Q_2 = 0,054 \cdot 30 = 1,62 \text{ т/га}.$$

Загальне надходження гумусу складає:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1,82 + 1,62 = 3,44 \text{ т/га}.$$

#### *Розрахунок витрат гумусу*

- мінералізація гумусу ( $V_1$ ):

Величину мінералізації гумусу (у т/га) визначають через загальну кількість гумусу у орному шарі, ступінь його стійкості при різних системах обробітку та кліматичних умовах.

Розраховується за формулою:

$$V_1 = G \cdot h \cdot d_v \cdot k_m \cdot k_k = 3,2 \cdot 30 \cdot 1,1 \cdot 0,0108 \cdot 1,065 = 1,21 \text{ т/га},$$

де  $G = 3,2$  % – вміст гумусу у ґрунті;

$h = 30$  см – глибина орного шару;

$d_v = 1,1$  г/см<sup>3</sup> – щільність ґрунту;

$k_m = 0,0108$  – коефіцієнт мінералізації гумусу;

$k_k = 1,065$  – відносний індекс біологічної продуктивності.

- втрати гумусу від ерозії ( $V_2$ ):



Втрати гумусу внаслідок ерозії (у т/га) визначимо з рівняння:

$$V_2 = B_e \cdot \frac{G}{100} = 10 \cdot \frac{3,2}{100} = 0,32 \text{ т/га,}$$

де  $B_e = 10$  т/га – втрати гумусу під впливом ерозії у Лісостепу при крутизні схилу до  $2^0$ .

Загальне втрати гумусу становлять:

$$V = V_1 + V_2 = 1,21 + 0,32 = 1,53 \text{ т/га.}$$

Отже, баланс гумусу складає:

$$Bg = Q - V = 3,44 - 1,53 = 1,91 \text{ т/га.}$$

Баланс гумусу *позитивний*, і враховуючи, що втрати гумусу менші, ніж його надходження з гуміфікації гною, можна відчужувати *всю* ПП при плановій врожайності зерна кукурудзи 70 ц/га. Якщо ж *гній не вноситься*, то втрати гумусу 1,53 т/га необхідно *перекрити* за рахунок використання частини ПП як органічних добрив. У такому випадку необхідно залишити **7,65 т/га** ПП кукурудзи на зерно, що становить **83%** всього обсягу ПП. А забрати з поля можна, відповідно, лише **17%**. Для отримання більш точного результату необхідно розраховувати баланс поживних речовин та гумусу для всієї сівозміни.

Треба зазначити, що в Україні у с/г переважає рослинництво, і обсяги внесення органічних добрив, зокрема, гною, в останні роки суттєво *зменшилися*. Так, за даними Державної служби статистики України, у 2014 р. у Київській області на га посівної площі внесли 1,7 т/га<sup>23</sup> органічних добрив, тоді як у 1985 р. – 12 т/га [10]. А рекомендовані для бездефіцитного балансу гумусу норми внесення гною становлять **6-8** т/га [30]. Багато агровиробників не вносять гною взагалі, а запаси гумусу поповнюють тільки за рахунок післяжнивних решток. Як було показано вище, у такому випадку за умови використання компенсуючих доз мінеральних добрив на відносно рівних полях з крутизною схилу до  $2^0$ , які є слабоеродованими, необхідно для підтримання балансу гумусу залишати 7,65 т/га ПП кукурудзи на зерно, а решту біомаси можна відчужувати.

При використанні системи мінімального обробітку ґрунту або No-till, а також протиерозійних заходів, втрати від ерозії суттєво зменшуються та наближуються до нуля. При відсутності втрат гумусу від ерозії необхідно залишити і використати як органічні добрива **6,05 т** ПП кукурудзи на зерно, що забезпечить надходження гумусу 1,21 т/га, а відчужити можна **3,05 т ПП (33,5%)**.

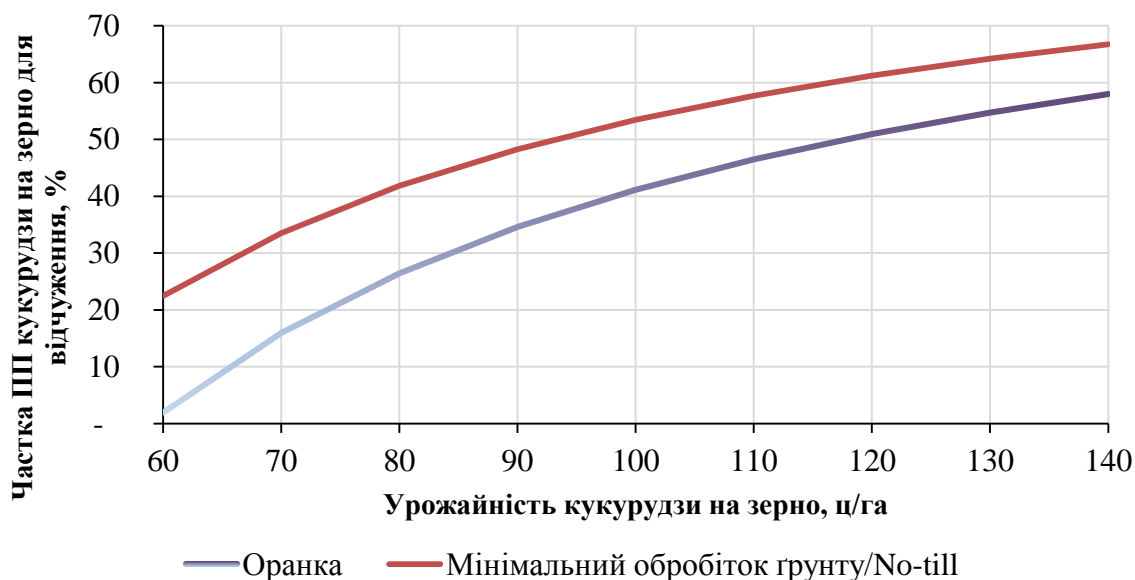
Із збільшенням врожайності кукурудзи на зерно збільшуються обсяги ПП для відчуження у розглянутому с/г підприємстві (**Рис. 31**). Таким чином, якщо як органічні добрива використовуються тільки рослинні рештки, **40%** ПП можна забирати з полів при урожайності кукурудзи на зерно від **80 ц/га** для мінімальної технології і No-till та від **100 ц/га** при оранці.

За даними ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»<sup>24</sup>, фактичний баланс гумусу у випадку внесення 0,4-0,5 т/га органічних добрив на 1 га посівної площі, що спостерігається в Україні в останні роки, без внесення нетоварної частини врожаю становить **-1,22 т/га**. Для того, щоб забезпечити бездефіцитний баланс гумусу необхідно залишити і використати як органічні

<sup>23</sup> Статистичний бюлетень «Внесення мінеральних та органічних добрив під урожай сільськогосподарських культур у 2014 р.» / К.: Державна служба статистики України, 2015. – 52 с.

<sup>24</sup> <http://www.bakertilly.ua/media/pdf/Biogas%20Institute.pdf>

добрива **6,1 т/га** ПП кукурудзи на зерно, яка утворюється при урожайності основної продукції **47 ц/га**. Отже, врожайність кукурудзи на зерно 47 ц/га є мінімальною для оцінки обсягів відчуження ПП. Із зростанням врожайності кукурудзи збільшуються і обсяги побічної продукції, які можна відчужувати для енергетичних потреб.



**Рис. 31.** Залежність частки відчуження ПП кукурудзи від урожайності зерна у с/г підприємстві Київської області (при використанні як органічних добрив тільки рослинних решток)

Таким чином, при фактичній середній врожайності кукурудзи на зерно в Україні у 2014 р. 61,6 ц/га, утворюється 8,0 т/га ПП. З цього обсягу **можна відчужувати на енергетичні потреби не більше 24%**, що в цілому по країні складає 8891 тис. т біомаси (близько 4 млн. т у.п.). Така оцінка є досить наближеною з огляду на значні відхилення в урожайності, різні норми внесення добрив, агротехнологічні прийоми, економічно обґрунтовані обсяги заготівлі ПП та інші особливості рослинництва.

Отже, частка ПП кукурудзи на зерно для відчуження та подальшого енергетичного використання визначається, в основному, *урожайністю*, але її можливо *регулювати* шляхом внесення обґрунтованих норм мінеральних і органічних добрив та застосування відповідних агротехнологічних заходів.

### **Оцінка витрат на заготівлю побічної продукції кукурудзи на зерно в умовах України**

Витрати на заготівлю ПП кукурудзи на зерно визначені для технології **№4 комбайн + трактор з мульчувачем + трактор з граблями + трактор з прес-підбирачем** (див. **Табл. 10**), яку можна впровадити, використовуючи наявну у господарствах України техніку. В розрахунках використано результати дослідження збирання соломи кукурудзи з роботи [12]. Перелік та техніко-економічні характеристики технічних засобів наведені у **Табл. 15**.

У варіанті 1 врожайність зерна кукурудзи була 9,0 т/га при вологості 24,2-27,6%, а у варіанті 2 – 8,5 т/га при вологості 22-23%. Була досягнута щільність пресування рулонів 163,13 кг/м<sup>3</sup> при вологості біомаси 25,8% (варіант 1) та для тюків – 266,42 кг/м<sup>3</sup> при вологості 28,4% (варіант 2). Середня лінійна маса валка у варіанті 1 спостерігалася від 1,18 до 2,84 кг/м та у варіанті 2 – від 3,56 до 4,62 кг/м [12]. У 1-му варіанті відчувалося 3,3 т/га ПП кукурудзи на зерно вологістю 26,7%, у 2-му варіанті – 7,1 т/га при вологості 28,7%.

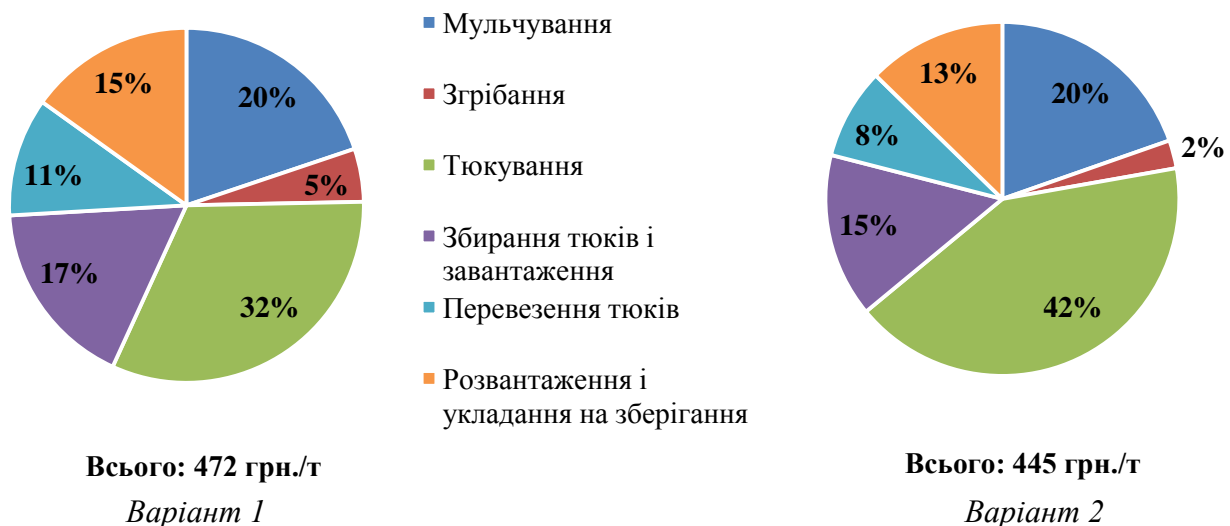
**Таблиця 15.** Техніко-економічні характеристики машин для збирання ПП кукурудзи [12]

Найменування	Показник	Од. вимір.	Машинно-тракторні агрегати		
			Мульчування	Згрібання	Тюкування
Варіант 1			MT3-82 + RZ 1,5	MT3-82 + ПЗК 5	MT3-82 + Claas Rollant 66
	Площа	га/год.	1,3	3,59	–
	Продуктивність	т/год.	–	–	10,0
		шт./год.	–	–	21
Витрати палива	л/год.	13,6	10,09	16,09	
Варіант 2			Krone BIG M + Perfect	McCormick CX 90 XL + ПЗК 5	Atles 936 RZ + Claas Quadrant 2200 RC
	Площа	га/год.	4,09	3,59	–
	Продуктивність	т/год.	–	–	37
		шт./год.	–	–	74
Витрати палива	л/год.	36,0	10,09	61,28	

Врахуємо, що готові тюки/рулони за двома варіантами збираються телескопічним навантажувачом і завантажуються у вантажні автомобілі [31], які транспортують біопаливо до складу на відстань 30 км. Розвантажування транспортних засобів і складування тюків/рулонів здійснюється також телескопічним навантажувачом.

Розрахована структура витрат на заготівлю та транспортування ПП кукурудзи зображена на **Рис. 32**. Найбільші кошти витрачаються на тюкування – 152 грн./т для рулонів (32% загальних витрат, варіант 1) та 186 грн./т для тюків (42%, варіант 2). Загальні витрати на ущільнення, заготівлю та перевезення біомаси у варіанті 1 склали **472 грн./т**, у варіанті 2 – **445 грн./т**.

Ціна поживних елементів у біомасі при використанні простих мінеральних добрив за умови повернення золи у поле, за варіантами 1 і 2 становить, відповідно, **132 грн./т** та **128 грн./т**. Таким чином, при додаванні витрат на заготівлю та транспортування ПП, **собівартість біопалива** на складі становить **604 грн./т** при теплотворній здатності 12 МДж/кг (варіант 1) та **573 грн./т** при 11,7 МДж/кг (варіант 2). У 1-му варіанті питома вартість енергії у біопаливі становить **50,3 грн./ГДж**, а у 2-му – **49,0 грн./ГДж**.



**Рис. 32.** Структура витрат на заготівлю ПП кукурудзи на зерно та транспортування на склад за технологічними операціями

### Рекомендації для заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні

Можна визначити наступні *бар'єри*, які перешкоджають широкому впровадженню практики заготівлі ПП кукурудзи в умовах України:

1. нижча врожайність кукурудзи на зерно порівняно із провідними аграрними країнами;
2. не відпрацьована методика визначення обсягів рослинних решток, які можна вивезти з полів при забезпеченні сталості сільськогосподарського виробництва;
3. широке використання традиційного обробітку ґрунту;
4. зміни клімату викликають зміни у агротехнології та необхідність застосування зрошування для забезпечення стабільно високої врожайності, що пов'язано із додатковими витратами коштів;
5. дощова погода у період збирання кукурудзи перешкоджає заготівлі ПП;
6. відсутній сталий ринок ПП кукурудзи на зерно. Покупцям та продавцям важко домовитися про ціну;
7. не розвинута логістична інфраструктура;
8. мала пропозиція спеціалізованих машин для заготівлі ПП кукурудзи на зерно на ринку України. Одиначні машини імпортного виробництва дуже дорогі і не мають належного сервісного обслуговування та запасних частин;
9. звичайна ширина міжрядь в Україні складає 70 см, тоді як у США – 76 см (30 дюймів), що потребує адаптації американської агротехнології та сільськогосподарської техніки.

Для *усунення* цих бар'єрів необхідна реалізація таких заходів:

1. вивчення і адаптація досвіду США для умов України;
2. поширення інформації про сучасні технології та обладнання для заготівлі і логістики ПП кукурудзи на зерно. Співпраця із заводами-виробниками сільськогосподарської техніки;
3. створення ринку біомаси як палива;

4. створення спеціалізованих заготівельно-логістичних підприємств із мобільними заготівельними ланками.

Також потрібно забезпечити наступні *практичні* підходи:

- збирання ПП кукурудзи на зерно у суху погоду восени та суху і морозну погоду зимою;
- мінімізувати потрапляння землі у тюки;
- технічні засоби для послідовного технологічного процесу підбирають за відповідною продуктивністю;
- посилені робочі органи машин, які взаємодіють із стеблом кукурудзи;
- вологість ПП кукурудзи, яку збирають, повинна бути до 30%, а бажано – до 20%;
- при тривалому зберіганні на локальному складі на полі штабелі тюків накривають плівкою або спеціальним покривним матеріалом;
- наявність під'їзних шляхів до локального складу для руху автотранспорту;
- критий центральний склад.

Налагодити заготівлю ПП кукурудзи після зернозбирального комбайна можна на базі наявної сільськогосподарської техніки: мульчувач, граблі та прес-підбирач. У разі придбання спеціалізованої техніки, такої як жатка з валкоутворювачем, мульчувач з валкоутворювачем, зменшиться необхідність додаткових проходів техніки по полю та покращиться якість біомаси за рахунок меншої зольності.

Для визначення обсягів відчуження ПП кукурудзи на зерно агровиробники можуть використати наведений у **Табл. 16 алгоритм**.

**Таблиця 16.** Порядок визначення обсягів ПП кукурудзи на зерно для відчуження

Умова	Обмеження	
	Мінімальне	Максимальне
Агрокліматична зона	Лісостеп, Полісся	Степ
Сівозміна	повторна кукурудза	після соняшника і цукрових буряків
Врожайність основної продукції	більше 80 ц/га	менше 80 ц/га
Волога	ступінь вологозабезпечення в кореневмісному шарі ґрунту більше 60%	менше 30 мм опадів у місяць
Ерозія	нахил поверхні поля до 4 <sup>0</sup> , наявність захисних лісосмуг	нахил поверхні поля понад 4 <sup>0</sup>
Технологія обробітку ґрунту	No-till, мінімальна	оранка
Добрива	органічні та мінеральні	тільки мінеральні
Баланс гумусу	позитивний	негативний
Погодні умови під час збирання кукурудзи на зерно	суха погода	сильні опади

У загальному випадку ПП кукурудзи на зерно *рекомендується* збирати агровиробникам, які розташовані у Лісостеповій або Поліській зоні, використовують мінімальний обробіток ґрунту або No-till без внесення органічних добрив або будь-яку технологію обробітку ґрунту при внесенні органічних добрив, застосовують повторне вирощування кукурудзи на одних полях, мають в наявності лісозахисні полоси і отримують високі врожаї кукурудзи на зерно понад 80 ц/га. Інші агровиробники можуть відчужувати ПП за умови забезпечення балансу гумусу і поживних елементів, а також при запобіганні ерозії та негативного впливу на характеристики ґрунту.

## **Висновки**

Виробництво кукурудзи на зерно у світі за валовим збором (**1008,8 млн. т у 2014/2015 МР**) займає лідируючу позицію серед інших сільськогосподарських культур. Врожайність кукурудзи постійно зростає за рахунок використання новітніх досягнень аграрної науки (наприклад, у США з 2000 р. – **на 2% щорічно**) і становила наразі 107,3 ц/га у 2014 р. В Україні середня врожайність складала 61,6 ц/га у 2014 р., але вона має значний потенціал для підвищення. При цьому треба зазначити, що деякі вітчизняні господарства за рахунок використання сучасних гібридів та високої агротехнології вже отримують урожаї на рівні провідних країн.

Крім основної продукції – зерна, кукурудза формує значні обсяги побічної продукції, яка є цінною сировинною для виробництва різних видів продукції, зокрема біопалив. **Відношення маси ПП до зерна становить 1,3.** За даними 2014 р., маса побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні складала **37 млн. т**. Враховуючи, що для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу необхідно залишити і використати як органічні добрива **6,1 т/га** ПП кукурудзи на зерно, що утворюється при врожайності зерна кукурудзи **47 ц/га**, **24%** побічної продукції могло бути відчужено на енергетичні потреби у 2014 р. Це складає **8,9 млн. т біомаси**, що може замінити **3,45 млрд.м<sup>3</sup>** природного газу. Отже, врожайність кукурудзи на зерно **47 ц/га є мінімальною** для оцінки обсягів відчуження ПП. Із зростанням врожайності кукурудзи збільшуються і обсяги побічної продукції, які можна відчужувати для енергетичних потреб.

У світі є досвід промислової заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно. Так, у США один тільки завод з виробництва біоетанолу з лігноцелюлозної сировини компанії DuPont (м. Невада штату Айова) здатний переробити **375 тис. т кукурудзяної соломи** щорічно. При цьому відчуження біомаси здійснюється на принципах сталого розвитку при виконанні умов та рекомендацій Служби охорони природних ресурсів Міністерства сільського господарства США.

При визначенні обсягів заготівлі ПП кукурудзи на зерно в умовах України необхідно враховувати баланс гумусу і поживних елементів, уникати таких наслідків, як ерозія та погіршення характеристик ґрунту.

Останніми роками, внаслідок значного підвищення цін на енергоресурси, аграрії почали відпрацьовувати технології заготівлі ПП кукурудзи на зерно, що базуються на застосуванні сучасного обладнання, зокрема високопродуктивних прес-підбирачів. Можна

очікувати, що обсяги використання ПП кукурудзи на зерно у енергетичному секторі будуть збільшуватися, враховуючи, що вона має кращі паливні характеристики, ніж солома зернових колосових культур. Зокрема *за показниками плавкості золи, кукурудзяна солома наближається до деревної біомаси.*

Заготовляти ПП кукурудзи на зерно для енергетичного використання необхідно у період, коли вологість біомаси зменшиться до 20%. Необхідно координувати плани виконання робіт збиральної компанії із прогнозом погоди. Важливими чинниками для забезпечення належної якості біомаси є правильно підібрані технологія та обладнання.

Відповідно до наведених у даній аналітичній записці рекомендацій можна визначити обсяги відчуження побічної продукції кукурудзи на зерно, обрати технологію та обладнання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування і використання / Під загальною редакцією Д. Шпаара. – К.: Альфа-стевія ЛТД – 2009. – 396 с.
2. Циков В.С. Кукуруза: технологія, гібриди, семена / Циков В.С. // Днепропетровск: Издательство Зоря, 2003. – 296 с.
3. Циков В.С. Интенсивная технология возделывания кукурузы. / Циков В.С., Матюха Л.А // – М.: Агропромиздат, 1989. – 247 с.
4. 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.
5. Комплексна механізація виробництва зерна: Навчальний посібник / В.Д. Гречкосій, М.Д. Дмитришак, Р.В. Шатров та ін. – К.: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2012. – 288 с.
6. Застосування соломи і пожнивних решток як органічних добрив для поліпшення гумусового стану ґрунту (рекомендації) / О.А. Демидов, А.Т. Рудюк, А.С. Заришяк та ін. // Харків: КП «Міська друкарня», 2012. – 38 с.
7. Технологія вирощування кукурудзи на зерно / [В.М. Кабанець, М.Г. Собко, І.І. Дубовик та ін.]. – Сад: Інститут сільського господарства Північного Сходу, 2012. – 20 с.
8. Цехмейструк М.Г. Аспекти вирощування кукурудзи / М.Г. Цехмейструк, Н.М. Музафаров, К.М. Манько // Агробізнес сьогодні, 2014. – №8 (279). – С. 28-33.
9. Косолап М.П. Система землеробства No-till: Навч. посібник / М.П. Косолап, О.П. Кротінов – К.: «Логос», 2011. – 352 с.
10. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України / С.А. Балюк, В.В. Медведєв і інш. – К., 2010. – 112 с.
11. Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси. Узгоджена Головою Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, 2013. [http://www.journal.esco.co.ua/industry/2013\\_11/art225.pdf](http://www.journal.esco.co.ua/industry/2013_11/art225.pdf)
12. L. Kocsis, Z. Hudoba and T. Vojtela Investigation of the maize stalk gathering for energetic use [www.tankonyvtar.hu/.../publikacio\\_67.pdf](http://www.tankonyvtar.hu/.../publikacio_67.pdf)
13. Brittany Schon, Matt Darr Corn Stover Ash <https://store.extension.iastate.edu/Product/Corn-Stover-Ash>
14. Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення. Практичний посібник / Під загальною редакцією Тормосова Р.Ю. – К.: ТОВ «Поліграф плюс», 2015. – 208 с.
15. Справочник потребителя биотоплива / [под. ред. Виллу Вареса]. – Таллин: Таллинский технический университет, 2005. – 183 с.
16. Гелетуха Г.Г. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. Аналітична записка БАУ №7 / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна – Біоенергетична асоціація України, 2014. – 33 с.  
<http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-7-ukr-draft.pdf>



17. Vertical Mass and Moisture Distribution in Standing Corn Stalks / C. Igathinathane, Alvin R. Womac, Shahab Sokhansanj, Lester O. Pordesimo // 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting (Ottawa, Ontario, Canada, 1-4 August, 2004). – 20 p.
18. Morissette, R.; Savoie, P.; Villeneuve, J. Corn Stover and Wheat Straw Combustion in a 176-kW Boiler Adapted for Round Bales. – *Energies*, 2013, 6. – p.5760-5774.
19. Susan S. Andrews White paper. Crop Residue Removal for Biomass Energy Production: Effects on Soils and Recommendations / USDA-Natural Resource Conservation Service – February 22, 2006 [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_053255.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053255.pdf)
20. Sustainable Corn Stover Harvest for Biofuel Production / Mark Jeschke and Andy Heggenstaller [http://www.dupont.com/content/dam/assets/products-and-services/industrial-biotechnology/documents/IB-PDF-01\\_Pioneer\\_Crop\\_Insights.pdf](http://www.dupont.com/content/dam/assets/products-and-services/industrial-biotechnology/documents/IB-PDF-01_Pioneer_Crop_Insights.pdf)
21. <http://energy.gov/eere/bioenergy/articles/largest-cellulosic-ethanol-plant-world-opens-october-30>
22. Feasibility of Corn Stover in Missouri / Ryan Milhollin, John Hoehne, Joe Horner and other <http://crops.missouri.edu/corn/CornStoverReport.pdf>
23. S. Sokhansanj, Anthony Turhollow, Erin Wilkerson Development of the integrated biomass supply analysis and logistics model (IBSAL) / OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY - ORNL/TM-2006/57 - March 2008 – 49 p.
24. Milan Martinov, Djordje Djatkov, Marko Golub, Miodrag Viskovic Harvestable biomass of corn, wheat, soybean and sunflower, experiences in Vojvodina (agricultural region of Serbia) <http://iet.jrc.ec.europa.eu/bf-ca/sites/bf-ca/files/files/documents/events/martinov.pdf>
25. DuPont 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](http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/industrial-biotechnology/documents/IB-PDF-04-Feedstock_Collection_Program_2015.pdf)
26. David Ertl Sustainable corn stover harvester [http://www.iowacorn.org/documents/filelibrary/research/research\\_reports/IowaCornResearchBrochureExtended\\_EBC92457EA83D.pdf](http://www.iowacorn.org/documents/filelibrary/research/research_reports/IowaCornResearchBrochureExtended_EBC92457EA83D.pdf)
27. Добрива та їх використання: Довідник. – К.: Арістей, 2010. – 254 с.
28. Estimating a Value for Corn Stover <https://store.extension.iastate.edu/Product/Estimating-a-Value-for-Corn-Stover>
29. Голуб Г. А. Двоємнісна модель гумусного стану ґрунтового середовища агроєкосистем / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець // *Наук. вісн. НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК.* – 2015. – Вип. 212, ч. 2. – С. 302–307.
30. Методичні вказівки з охорони ґрунтів / Греков В.О., Дацько Л.В., Жилкін В.А., Майстренко М.І, та ін. – К., 2011. – 108 с.
31. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник / За ред. Г.Гелетуха. – К.: «Поліграф плюс», 2015. – 72 с.

### ***Умовні позначення***

АПК – агропромисловий комплекс

БМ – біомаса

ВРХ – велика рогата худоба

д.р. – діюча речовина

З – зерно

ЗСС – зерно-стрижнева суміш

к.с. – кінська сила

н/д – немає даних

КЧ – качани

ЛС – листя

МР – маркетинговий рік

ОВ – органічний вуглець

ОК – обгортка качана

ПП – побічна продукція

СН – стрижень

СМ – суха маса

с.р. – суха речовина

с/г – сільське господарство

СТ – стебла

ТО – технічне обслуговування

ФАР – фотосинтетична активна радіація

## *Попередні публікації БАУ*

<http://www.uabio.org/ua/activity/uabio-analytics>

1. Аналітична записка БАУ №1 (2012) «Місце біоенергетики в проекті оновленої Енергетичної стратегії України до 2030 року».
2. Аналітична записка БАУ № 2 (2013) «Аналіз Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» № 5485-VI від 20.11.2012».
3. Аналітична записка БАУ № 3 (2013) «Бар'єри для розвитку біоенергетики в Україні».
4. Аналітична записка БАУ № 4 (2013) «Перспективи розвитку виробництва та використання біогазу в Україні».
5. Аналітична записка БАУ № 5 (2013) «Перспективи виробництва електричної енергії з біомаси в Україні».
- 6 Аналітична записка БАУ № 6 (2013) «Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні».
7. Аналітична записка БАУ № 7 (2014). «Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні».
8. Аналітична записка БАУ № 8 (2014). «Енергетичний та екологічний аналіз технологій виробництва енергії з біомаси».
9. Аналітична записка БАУ № 9 (2014). «Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні».
10. Аналітична записка БАУ № 10 (2014). «Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні».
11. Аналітична записка БАУ № 11 (2014) «Перспективи виробництва та використання біометану в Україні».
12. Аналітична записка БАУ № 12 (2015) «Перспективи розвитку біоенергетики як інструменту заміщення природного газу в Україні».
13. Аналітична записка БАУ № 13 (2015) «Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлюваних джерел енергії».
14. Аналітична записка БАУ № 14 (2016) «Аналіз тарифоутворення у секторі централізованого тепlopостачання країн Європейського Союзу».
15. Аналітична записка БАУ № 15 (2016) «Аналіз додаткових джерел деревного палива в Україні».

---

Громадська спілка «Біоенергетична асоціація України» (БАУ) була заснована з метою створення спільної платформи для співпраці на ринку біоенергетики України, забезпечення найбільш сприятливих умов ведення бізнесу, прискореного та сталого розвитку біоенергетики. Загальні установчі збори БАУ було проведено 25 вересня 2012 року в м. Київ. Асоціація офіційно зареєстрована 8 квітня 2013 року. Членами БАУ стали понад 10 провідних компаній та понад 20 визнаних експертів, що працюють в галузі біоенергетики.

[www.uabio.org](http://www.uabio.org)

