



ВОЗМОЖНОСТИ ЗАГОТОВКИ ПОБОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УКРАИНЕ

Аналитическая записка БАУ №16

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

6 апреля 2016 г.

Публикация на www.uabio.org: 06.04.2016

Публикация доступна на: www.uabio.org/activity/uabio-analytics

Для отзывов и комментариев: geletukha@uabio.org

Содержание

Введение.....	3
Состояние выращивания кукурузы на зерно в мире и Украине.....	3
Особенности выращивания кукурузы на зерно в Украине	9
Технологии сбора урожая кукурузы на зерно	14
Использование побочной продукции кукурузы на зерно	16
Примеры энергетического использования побочной продукции кукурузы на зерно	18
Опыт США по заготовке биомассы для производства биоэтанола из лигноцеллюлозного сырья.....	22
Сбор побочной продукции кукурузы на зерно.....	26
Ценообразование на рынке побочной продукции растениеводства в условиях Украины	35
Затраты на выращивание и сбор кукурузы на зерно	37
Определение допустимой доли отчуждения побочной продукции кукурузы на зерно для условий Украины	38
Оценка затрат на заготовку побочной продукции кукурузы на зерно в условиях Украины ...	44
Рекомендации для заготовки побочной продукции кукурузы на зерно в Украине.....	45
Выводы	47
ЛИТЕРАТУРА.....	49
<i>Условные обозначения</i>	51
<i>Предыдущие публикации БАУ</i>	52

Введение

В Аналитической записке № 16 Биоэнергетической ассоциации Украины рассмотрен вопрос текущего состояния производства кукурузы на зерно, особенности ее выращивания и возможности использования побочной продукции для получения энергии. По объемам образования биомассы кукуруза – самая продуктивная зерновая культура. В Украине пока только ее часть – зерно – реализуется как товарная продукция, а растительные остатки остаются в поле. Приведена информация о топливных характеристиках побочной продукции кукурузы и свойствах ее золы. Проведен обзор Возможности заготовки побочной продукции кукурузы на зерно для энергетического использования в Украине технологий и оборудования для заготовки побочной продукции кукурузы на зерно. Особое внимание уделено передовому опыту США. Предложена методика определения цены побочной продукции кукурузы на зерно. Оценены перспективы ее энергетического использования в условиях Украины.

Состояние выращивания кукурузы на зерно в мире и Украине

Кукуруза – наиболее урожайная зерновая культура, которая широко используется как:

- сырье в пищевой, фармацевтической, химической и других отраслях промышленности;
- высокоэнергетический корм, пригодный для кормления всех видов животных и птицы;
- сырье для производства биотоплива первого и второго поколений;
- сырье для производства биогаза.

Велико и агротехнологическое значение этой культуры, поскольку она очищает почву от сорняков и является хорошим предшественником в севообороте. По поглощению углекислого газа и выделению кислорода кукуруза занимает одно из первых мест среди всех культурных растений и является более эффективной, чем лес аналогичной площади [1]. Выращивание кукурузы на зерно позволяет лучше использовать сельскохозяйственную технику за счет более поздних сроков посева и уборки.

Ценные свойства кукурузы вызывают ее стабильно высокий спрос на мировом рынке. По объему валового сбора зерна (**Рис. 1**), урожайности (**Рис. 2**) и прироста собранной площади (**Рис. 3**), кукуруза, среди других зерновых – занимает первое место.

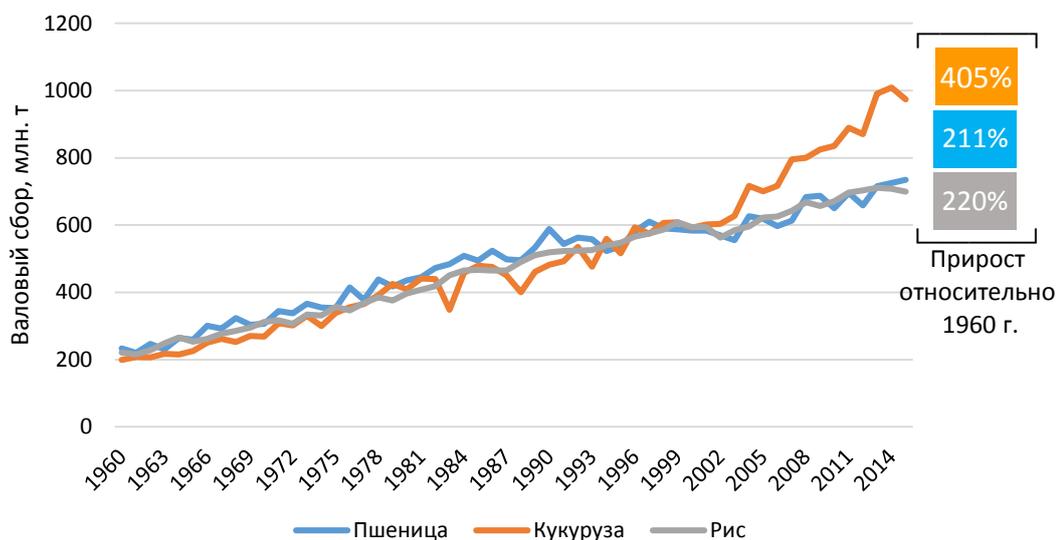


Рис. 1. Валовый сбор основных зерновых культур в мире.

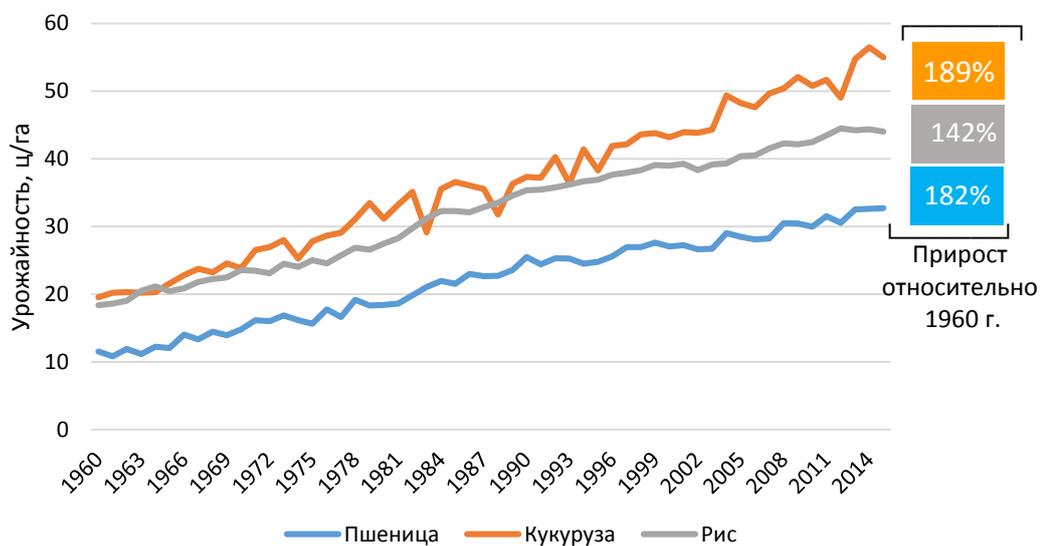


Рис. 2. Урожайность основных зерновых культур в мире.

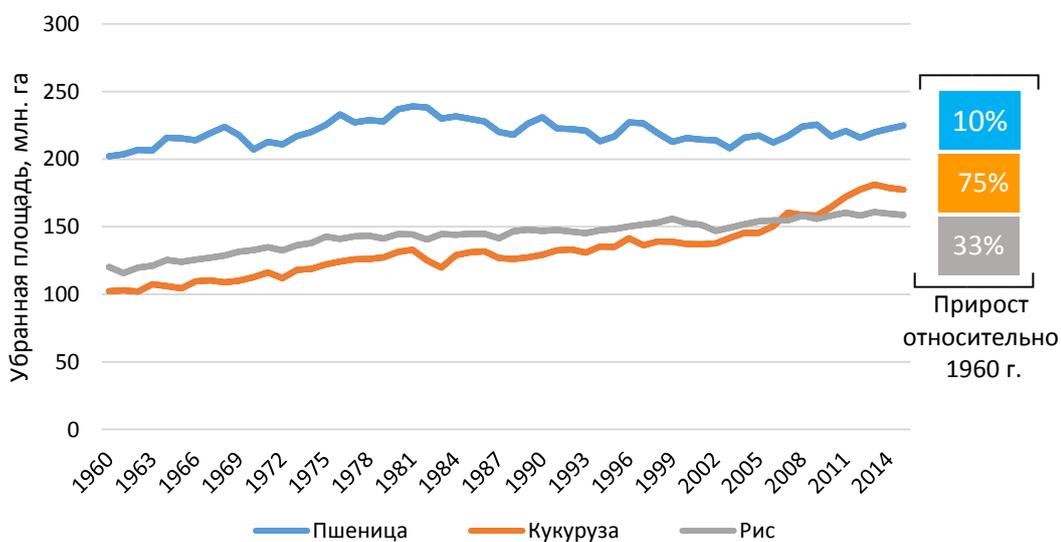


Рис. 3. Площадь под основными зерновыми культурами в мире.

США являются мировым лидером по валовому сбору и урожайности кукурузы на зерно. В 2014/2015 МГ в этой стране собрали 361 млн. т (36,4% общемирового урожая этой культуры), получив в среднем 107,3 ц/га (Табл. 1). Также много кукурузы на зерно производится в Китае – около 216 млн. т в 2014/2015 МГ, в Бразилии – 85 млн. т, в ЕС – 76 млн. т, и замыкает пятерку лидеров Украина – 28,5 млн. т.

Рост урожайности кукурузы связан с развитием аграрной науки и использованием биотехнологии для создания гибридов, что с 2000 года обеспечивает прирост урожайности в США на 2% ежегодно (Рис. 4). На сравнительных испытаниях американские фермеры достигают урожайности зерна кукурузы более 250 ц/га. В 2015 г. Национальная ассоциация производителей кукурузы сообщила об установлении мирового рекорда в штате Вирджиния – более 334 ц/га зерна кукурузы сорта Pioneer® P1197AM™¹.

Таблица 1. Основные производители зерна кукурузы в мире

№ П/П	Страна / регион	Площадь, млн. га			Урожайность, т/га			Валовый сбор, 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	Бразилия	15,80	15,75	15,80	5,06	5,40	5,16	80,00	85,00	81,50
4	ЕС	9,66	9,53	9,27	6,69	7,95	6,23	64,63	75,73	57,75
5	Украина	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	Индия	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
	Мир	181,16	178,61	177,46	5,47	5,65	5,49	991,43	1008,79	974,87

* Предварительные данные; ** Прогноз

Источник: USDA²

¹ <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>

² <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=Table+04+Corn+Area%2c+Yield%2c+and+Production&hidReportRetrievalID=884&hidReportRetrievalTemplateID=1>

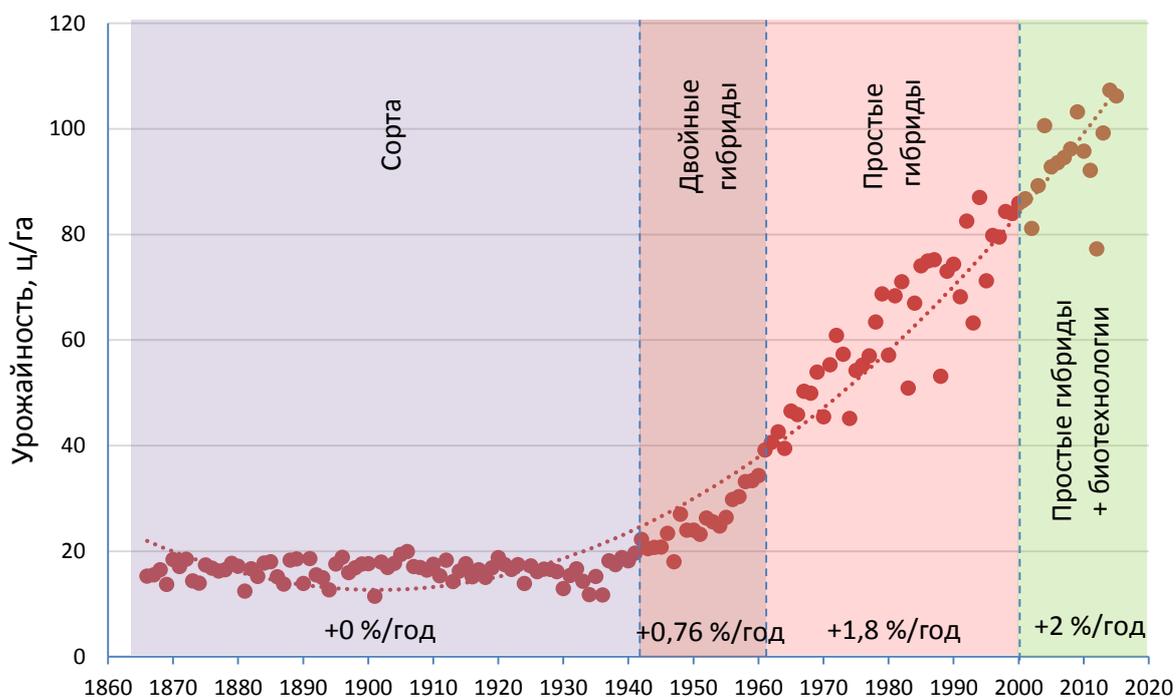


Рис. 4. Увеличение урожайности кукурузы в США за последние 150 лет³.
 Источник: USDA, обработка данных AGPM, Arvalis

В ЕС кукуруза на зерно и на зерно-стержневую смесь (ЗСС) занимает по валовому сбору второе место среди зерновых (**Рис. 5**). При этом преобладает выращивание кукурузы для получения зерна, которого собрали в количестве 75,7 млн. т в 2014 г., тогда как ЗСС – 2,4 млн. т. Наибольшие объемы кукурузы на зерно производят во Франции (18,4 млн. т), что составляет 24,3% от валового сбора Европейского Союза в 2014 г., Румынии – 11,73 млн. т, Венгрии – 9,17 млн. т и Италии – 8,33 млн. т. Наибольшая урожайность в 2014 г. была в Испании – 112,4 ц/га, Австрии – 107,9 ц/га, Германии – 106,8 ц/га и Франции – 103,8 ц/га.

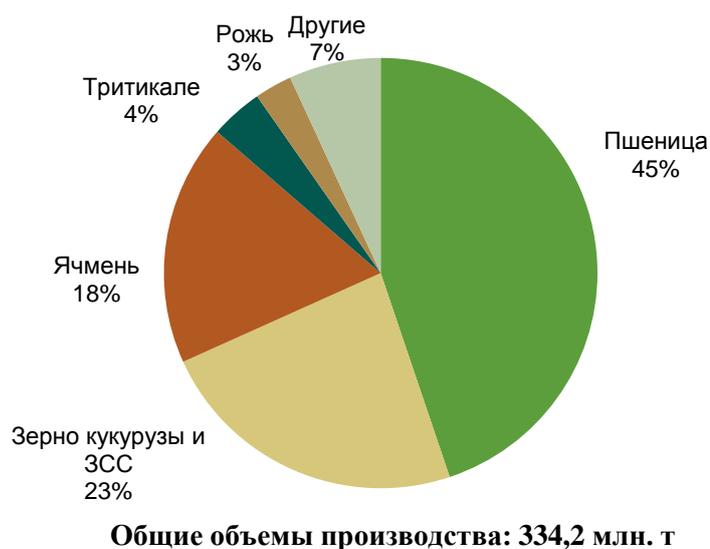


Рис. 5. Структура производство зерна в ЕС-28 в 2014 р.*

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

* в % от общего производства зерна.

Источник: Евростат

Наибольший валовой сбор кукурузы на зерно в Европе получают в Украине. В 2011 г. установлен общеевропейский рекорд по урожайности кукурузы на предприятии Мироновский хлебопродукт ЗАО НПФ «Урожай», где собрали 190 ц/га гибрида ДКС 5143 селекции компании «Монсанто» влажностью около 22% с 91,4 га⁴. Настоящим достижением в 2013 г. стал урожай фермерского хозяйства «Ладис» Монастырищенского района Черкасской области, где со 100 гектаров получили 205 ц/га зерна кукурузы гибрида ДКС 3511 при влажности 22-23%⁵. Высокие урожаи кукурузы на уровне 10-12 т/га получают в некоторых хозяйствах Лесостепи и Полесья, что намного превышает средние показатели по областям и стране. По данным Министерства аграрной политики и продовольствия Украины, в 2015 г. намолочено 23,2 млн. тон зерна кукурузы, что на 9% меньше, чем годом ранее. Средняя урожайность составила 57,1 ц/га, что соответствует 95,5% по сравнению с 2014 г.⁶ Данные по производству кукурузы по областям в 2014 г. приведены в Табл. 2.

В 2014 г. наибольший валовой сбор кукурузы на зерно получили в Полтавской области (3379 тыс. т), хотя это было только 82,8% от урожая 2013 г. Средняя урожайность в Полтавской области в 2014 г. была на уровне 58,1 ц/га, тогда как в Винницкой, Ровенской, Сумской и Хмельницкой она превышала 80 ц/га, а Киевской области – 79,4 ц/га.

Таблица 2. Производство кукурузы на зерно по областям Украины в 2014 г.

	Валовый сбор		Собранная площадь		Урожайность	
	тыс. т	2014 г. в % к 2013г.	тыс. га	2014 г. в % к 2013 г.	ц/га	2014 г. (+,-) к 2013 г.
Винницкая	2702,7	97,0	345,3	94,7	82,6	+1,9
Волынская	184,9	105,8	24,6	97,2	77,5	+6,4
Днепропетровская	929,1	70,6	322,7	107,9	26,7	-14,1
Донецкая	366,7	102,3	95,3	106,1	36,3	-1,3
Житомирская	1292,9	82,5	199,6	89,6	72,3	-6,2
Закарпатская	196,4	104,6	41,8	102,6	45,8	+0,9
Запорожская	130,7	75,0	53,0	88,7	27,8	-5,0
Ивано-Франковская	355,8	102,1	52,5	94,9	71,5	+5,1
Киевская	2053,3	94,5	291,7	88,8	79,2	+4,7
Кировоградская	1834,4	85,2	389,6	94,3	49,9	-5,4
Луганская	316,3	91,5	105,0	85,0	35,4	+2,5
Львовская	434,1	110,4	61,3	101,5	69,7	+5,5
Николаевская	499,2	68,1	141,8	94,4	37,3	-14,4
Одесская	546,0	67,7	169,7	95,5	33,7	-13,8
Полтавская	3380,1	82,8	592,7	98,2	58,1	-10,8
Ровенская	506,3	98,4	63,1	97,1	82,6	+1,1
Сумская	2672,7	110,8	317,7	102,5	82,1	+6,2
Тернопольская	1188,1	98,5	159,8	96,0	77,5	+2,0

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

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

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

Харьковская	1606,8	100,1	319,1	94,3	53,4	+3,1
Херсонская	224,5	59,7	59,6	72,7	51,8	-11,3
Хмельницкая	1727,4	94,6	251,2	83,4	82,4	+9,8
Черкасская	2286,8	85,9	339,4	96,0	70,2	-8,2
Черновицкая	399,7	98,2	66,9	94,2	63,4	+2,6
Черниговская	2661,9	118,0	353,7	104,5	72,0	+8,2
Украина	28496,8	92,3	4626,9	96,1	61,6	-2,5

Источник: Государственная служба статистики Украины

Вследствие неблагоприятных погодных условий (сухое и жаркое лето) 2015 г. оказался в целом по Украине сложным для выращивания кукурузы на зерно. Хотя средняя урожайность в Полтавской области выросла и достигла 73,1 ц/га⁷, а в Шишацком районе даже превышала 100 ц/га.

Финансовые трудности и уменьшение экономической привлекательности выращивания кукурузы сократили посевные площади в 2015 г. на 13% до 4,01 млн. га, что также уменьшило валовый сбор зерна кукурузы. График изменения внутренней цены предложения зерна кукурузы в 2010-2015 гг. изображен на **Рис. 6**. Максимальная цена (261 долл. США/т) была достигнута в июне-августе 2011 г., а минимальная (115 долл. США/т) – в ноябре 2014 г. На январь 2016 г. закупочная цена зерна кукурузы на элеваторах ООО СП «НИБУЛОН» составляла от 3150 до 3350 грн./т (от 134 до 142,5 долл. США/т).

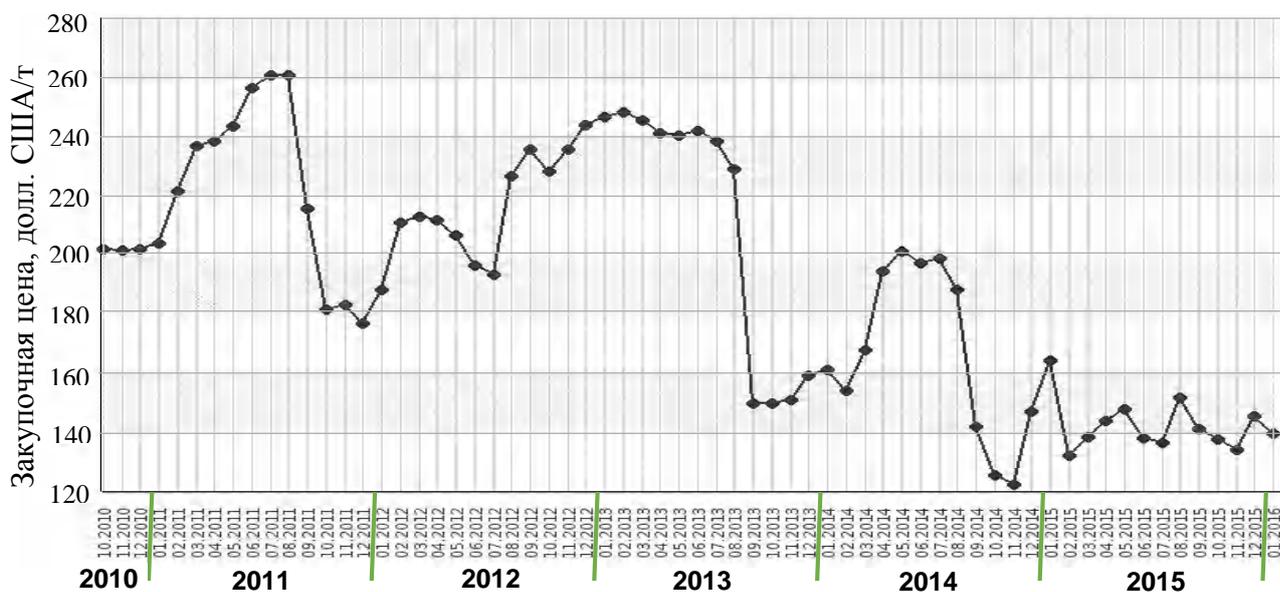


Рис. 6. Динамика изменения закупочной цены на зерно кукурузы⁸.

По заключению экспертов, низкие цены на зерно кукурузы на внутреннем и внешнем рынках связаны с падением цен на нефть, что также привело к снижению цен на биоэтанол, и со значительными переходящими запасами⁹. Ожидается, что уменьшение мирового

⁷ 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>

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

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

производства кукурузы на зерно в текущем году может изменить нисходящий тренд цен на рынке.

Таким образом, учитывая значительные площади под кукурузой на зерно в Украине, занимающие около 15% от площади пашни, и высокую урожайность за последние 3 года (в среднем от 57 до 64 ц/га), очевидно, что эта сельскохозяйственная культура образует кроме зерна большие объемы побочной продукции, которую можно использовать в секторе биоэнергетики. Можно отметить, что в Украине есть резервы увеличения урожайности за счет более широкого использования достижений аграрной науки. Для обеспечения стабильных цен на кукурузу необходимо наращивать ее внутреннее потребление, в том числе за счет переработки для получения товаров с высокой добавленной стоимостью.

Особенности выращивания кукурузы на зерно в Украине

Кукуруза – высокопроизводительное растение тропического происхождения. Ее родина – Средняя и Южная Америка, что объясняет потребности растения в тепле для ее роста и развития. Кукуруза за короткое время дает больше органической массы, чем другие культурные растения. Благодаря прогрессу в селекции границы зон выращивания кукурузы в последние годы продвинулись далеко на север [1].

Ботанические особенности. Кукуруза (*Zea mays L.*) - однолетнее, однодомное, раздельнополое перекрёстноопыляемое растение семейства злаковых. Стебель прямостоячий, его высота у разных гибридов в зависимости от климатических условий, агротехники и почвенного плодородия составляет от 0,5 до 6-7 м. Основная масса корней сосредоточена на глубине 30-60 см, но много мелких жизнеспособных корней проникают на глубину 150-250 см, используя влагу и питательные вещества из нижележащих слоев почвы [2].

По продолжительности вегетационного периода гибриды кукурузы делятся на семь групп с вегетационным периодом от 85 до 150 дней. Каждый биотип должен соответствовать климатическим условиям зоны выращивания, обеспечивать высокий урожай и надежное созревание [3]. В государственный реестр сортов растений Украины на 2015 г. занесено более 750 сортов.

Агроклиматические условия территории Украины неоднородные, поэтому выделяют четыре зоны для кукурузосеяния: Степь, Лесостепь, Полесье, горные районы Карпат и Степной Крым. Каждая зона имеет грунтовые особенности, условия увлажнения и температурный режим, которые существенно влияют на урожай. Период, когда кукуруза может активно развиваться и накапливать органическое вещество, ограничен датой устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 10°C. Важной особенностью теплового режима роста кукурузы является его продолжительность в сочетании с хорошей влагообеспеченностью [2]. Приоритетные гибриды кукурузы для различных зон выращивания по группе спелости: для Степи – среднеспелые, для Лесостепи – раннеспелые и среднеранние, для Полесья – раннеспелые, формируют сухое зерно и в большинстве случаев не требуют дополнительных затрат на сушку (Табл. 3).

Таблица 3. Тепловой режим гибридов кукурузы разных групп спелости [4]

Группа спелости гибридов	FAO ¹⁰	Сумма эффективных температур (выше 10 °С), °С	Вегетационный период, дней			Потребность в сумме температур выше 10 °С за вегетацию, °С
			Степь	Лесостепь	Полесье	
Ранне-спелые	100-199	900-1000	85-99	97-102	101-106	2100
Средне-ранние	200-299	1100	94-114	107-116	109-119	2200
Средне-спелые	300-399	1150	111-122	120-125	123-126	2400
Средне-поздние	400-499	1200	115-128	-	-	2500
Поздне-спелые	500-600	1250-1300	-	-	-	2700

Агроклиматические условия зон кукурузосеяния в Украине отмечаются существенным разнообразием гидротермических показателей, что обуславливает существенное варьирование как наступления научно обоснованных сроков сева, так и продолжительности вегетационного периода всех биотипов кукурузы и наступления полной спелости зерна (Табл. 4) [4].

Таблица 4. Зональные научно-обоснованные сроки посева гибридов кукурузы разных групп спелости [4]

Зона	Календарные сроки посева		Вегетационный период биотипов гибридов, дней			
			ранне-спелые	средне-ранние	средне-спелые	средне-поздние
Южная Степь	ранние	10-17.04	85-90	94-108	111-115	116-125
	оптимальные	20-30.04				
	поздние	01.05-08.05				
Северная Степь	ранние	15-24.04	94-99	106-114	114-122	123-126
	оптимальные	25.04-03.05				
	поздние	04.05-13.05				
Лесостепь	ранние	18-30.04	97-102	107-116	120-125	-
	оптимальные	01.05-09.05				
	поздние	10-16.05				
Полесье	ранние	22.04.-02.05	101-106	109-119	-	-
	оптимальные	03-10.05				
	поздние	10-15.05				

Кукуруза проходит различные стадии роста и развития. Содержание сухого вещества (с.в.) всего растения в стеблях растет в начальных стадий созревания, содержание сухой массы в початках – до полного созревания зерна. Максимальное содержание с.в. всего растения – 30-35% (оптимальный момент для уборки кукурузы на силос). Содержание с.в. уменьшается до наступления момента полной спелости до 15-20%. Осенью процессы накопления сухой массы завершаются при температурах ниже 20°С. Максимальная урожайность зерна достигается при содержании в нем 60-64% с.в. (физиологическая зрелость) [1].

¹⁰ FAO – число, характеризующее группу спелости гибрида кукурузы по шкале от 100 до 999

Высокий урожай кукуруза формирует на почвах чистых от сорняков, оструктуренных, относительно рыхлых, с глубоким залеганием гумусового горизонта и высоким содержанием питательных веществ. Лучшие почвы для кукурузы: черноземы, каштановые, темно-серые и пойменные с нейтральной реакцией (рН 7,0-7,5). Кукуруза не очень требовательна к предшественникам в севообороте. В севооборотах ее размещают после озимых колосовых, зернобобовых, картофеля, сахарной свеклы, яровых колосовых, бахчевых. Кукуруза способна выдерживать длительное выращивание на постоянных участках. В районах недостаточного увлажнения эту культуру не следует высевать после подсолнечника и сахарной свеклы, которые сильно иссушают почву [5].

Кукуруза достаточно требовательна к повышенному минеральному питанию и, как культура длительного вегетационного периода, способна усваивать питательные вещества в течение всего жизненного цикла. На создание 1 т зерна с соответствующим количеством листостебельной массы кукуруза потребляет из почвы и удобрений, в среднем, 24-30 кг азота, 10-12 кг фосфора и 25-30 кг калия. Для формирования урожая зерна на уровне 4,5-5,0 т/га кукуруза выносит из почвы, в среднем, 110-150 кг азота, 45-60 кг фосфора и 115-150 кг калия. Такое количество питательных веществ в доступных растениям формах, даже при высоком уровне плодородия, почва не в состоянии обеспечить. Поэтому удобрения остаются одним из самых влиятельных факторов повышения урожайности культуры. Дозы внесения минеральных удобрений под посевы кукурузы применяют с учетом обеспеченности пахотного слоя почвы питательными элементами и среднего выноса макроэлементов с урожаем основной и побочной продукции [4].

Ориентировочные нормы внесения минеральных удобрений следующие: в Степи – $N_{60-90}P_{60}K_{35-40}$, в Лесостепи – $N_{120}P_{90}K_{90}$, в Полесье и западных областях – $N_{130}P_{100}K_{100}$. Кроме этого вносят органические удобрения, в частности: навоз в Лесостепи и Полесье в нормативном объеме 30-40 т/га, в Степи – 20-30 т/га [5]. Также в качестве органических удобрений применяют солому и пожнивные остатки для улучшения гумусового состояния почвы [6]. Наиболее эффективным является совместное внесение минеральных и органических удобрений.

Обработка почвы является одним из основных элементов технологии выращивания кукурузы. Для нее необходим хорошо окультуренный грунт, что обеспечивает качественное размещение семян при посеве и получение дружных всходов, а также гарантирует беспрепятственное развитие корневой системы в пахотном и подпахотном слоях. Различают три системы обработки почвы: традиционная (в основе которой лежит плужный обработок), почвозащитная или консервирующая (минимальная) и нулевая (прямой посев без обработки почвы) (Рис. 7) [1].

Системы обработки почвы и посев

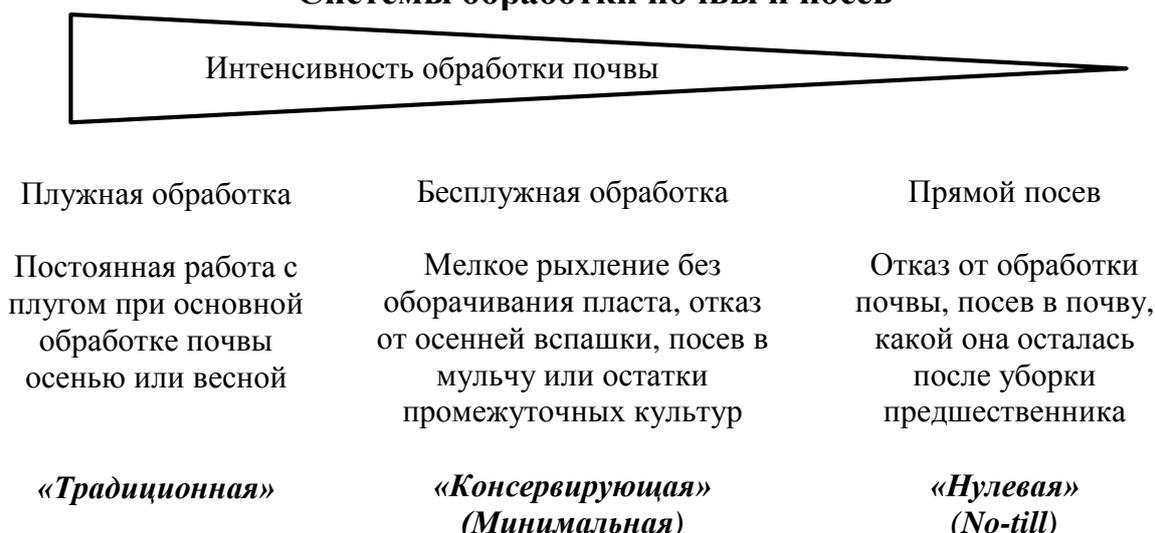


Рис. 7. Агротехнические приёмы и рабочие проходы при разных способах обработки почвы [1].

Традиционная обработка почвы под кукурузу состоит из основной и предпосевной. Основная обработка почвы начинается с лущения стерни или поверхностной обработки и вспашки. После зерновых предшественников перед вспашкой необходимо качественно измельчить растительные остатки, равномерно распределить их по площади поля и мелко заделывать в почву. Кукуруза имеет повышенные требования к аэрации почвы, оптимальные параметры которой обеспечивает традиционная глубокая вспашка (на 25-27 см) или энергосберегающая бесплужная чизельная обработка [1-4, 7, 8].

Лучший энергетический и почвозащитный эффект обеспечивает чизельная¹¹ обработка, при проведении которой экономится 10-12 кг/га горючего, эксплуатационные расходы сокращаются почти вдвое, затраты труда – на 31%, энергоёмкость снижается в 1,4 раза. В хозяйствах с высокой культурой земледелия, где используют интегрированную систему контроля сорняков, под кукурузу проводят мелкую обработку почвы на глубину 12-14 см [4].

Также в последние годы в Украине приобретает распространение технология *"No-till"* [9]. По оценкам ННЦ «ИГ имени А.Н. Соколовского»¹² (г. Харьков), в Украине есть большие возможности для внедрения минимальных способов обработки. Мешает этому низкая культура земледелия, избыток сорняков и вынужденное применение вспашки и других многочисленных предпосевных и междурядных обработок как средства борьбы с ними [10].

Использование почвозащитных технологий возделывания почвы предотвращает водную и ветровую эрозии (**Табл. 5**), увеличивает инфильтрационную способность почвы для воды, сохраняет благоприятное состояние почвы для осуществления технологических процессов. Вместе с тем, использование почвозащитных технологий, в том числе за счет

¹¹ Чизельная обработка – почвозащитная обработка почвы безотвальными почвообрабатывающими орудиями – чизелями, которые осуществляют неполное подрезание пласта без образования сплошного дна борозды.

¹² Национальный научный центр "Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского"
<http://www.issar.com.ua/>

мульчи из растительных остатков, имеет следующие негативные особенности: более позднее прогревание почвы; более низкая полевая всхожесть кукурузы; более медленное поступление и низкий уровень минерализации азота; усиленное засорение сорняками; увеличение повреждения посевов мышами. Для решения этих проблем необходимо осуществлять постоянный контроль за посевами и проводить соответствующие мероприятия [1].

Таблица 5. Влияние мульчи на поверхностный сток и вынос почвы [1]

Покрытие почвы мульчей, %	Растительные остатки, т с.в./га	Поверхностный сток, %	Вынос почвы, %
0	0	45	100
меньше 20	0,5	40	25
20-30	1	25	8
50	2	0,5	3
70	4	0,1	меньше 1
более 90	8	не измеряемо	меньше 1

Весной проводят предпосевную обработку почвы так, чтобы снизить к минимуму механическое влияние на нее сельскохозяйственных машин, сохранить сложившуюся структуру и обрабатывать только зоны заделки семян, а также уберечь почву от переуплотнения, пересыхания и распыления. Для этого проводят боронование, шлейфование и культивацию [1, 4].

На сегодняшний день основным способом посева кукурузы в Украине является широкорядный – с шириной междурядий 70 см, тогда как в США – 76,2 см. Расстояние между растениями в рядке зависит от нормы высева. Поскольку при системе земледелия No-till нет необходимости в проведении междурядных рыхлений во время вегетации, ширину междурядий можно уменьшить до 50 см, что обеспечивает повышение конкурентоспособности посева к сорнякам и позволяет повысить густоту стояния растений кукурузы. Но для уборки посевов необходимо использовать жатку, приспособленную к ширине междурядий. Для No-till характерно более медленное прогревание почвы весной по сравнению с традиционной системой земледелия, в том числе за счет ее покрытия растительными остатками [9]. К посеву кукурузы, как правило, приступают при прогревании почвы на глубине заделки семян до 8-10°C. Плотность посева кукурузы на зерно в период уборки должна составлять в зоне Полесья, Лесостепи, западных областях Украины 70-80 тыс. шт./га (20-25 кг/га), Степи - 50-70 тыс. шт./га (15 -20 кг/га) [5].

Уход за посевами должен создавать благоприятные условия для получения дружных всходов кукурузы, давать возможность содержать посевы в чистом от сорняков состоянии, а также сохранить влагу в посевном и пахотном слое почвы. Для этого используются боронование и культивация междурядий. Интенсивная технология выращивания кукурузы на фоне почвенных и послеуборочных гербицидов предусматривает сокращение количества механических приемов ухода, а на чистых полях – их полное исключение. Однако высокая потенциальная засоренность почвы семенами различных сроков прорастания, устойчивость отдельных видов сорняков к химическим препаратам требует сочетания механических и

химических мероприятий по уходу за посевами. Для борьбы с вредителями и болезнями кукурузы используются химические или биологические средства защиты [1, 4].

Технологии сбора урожая кукурузы на зерно

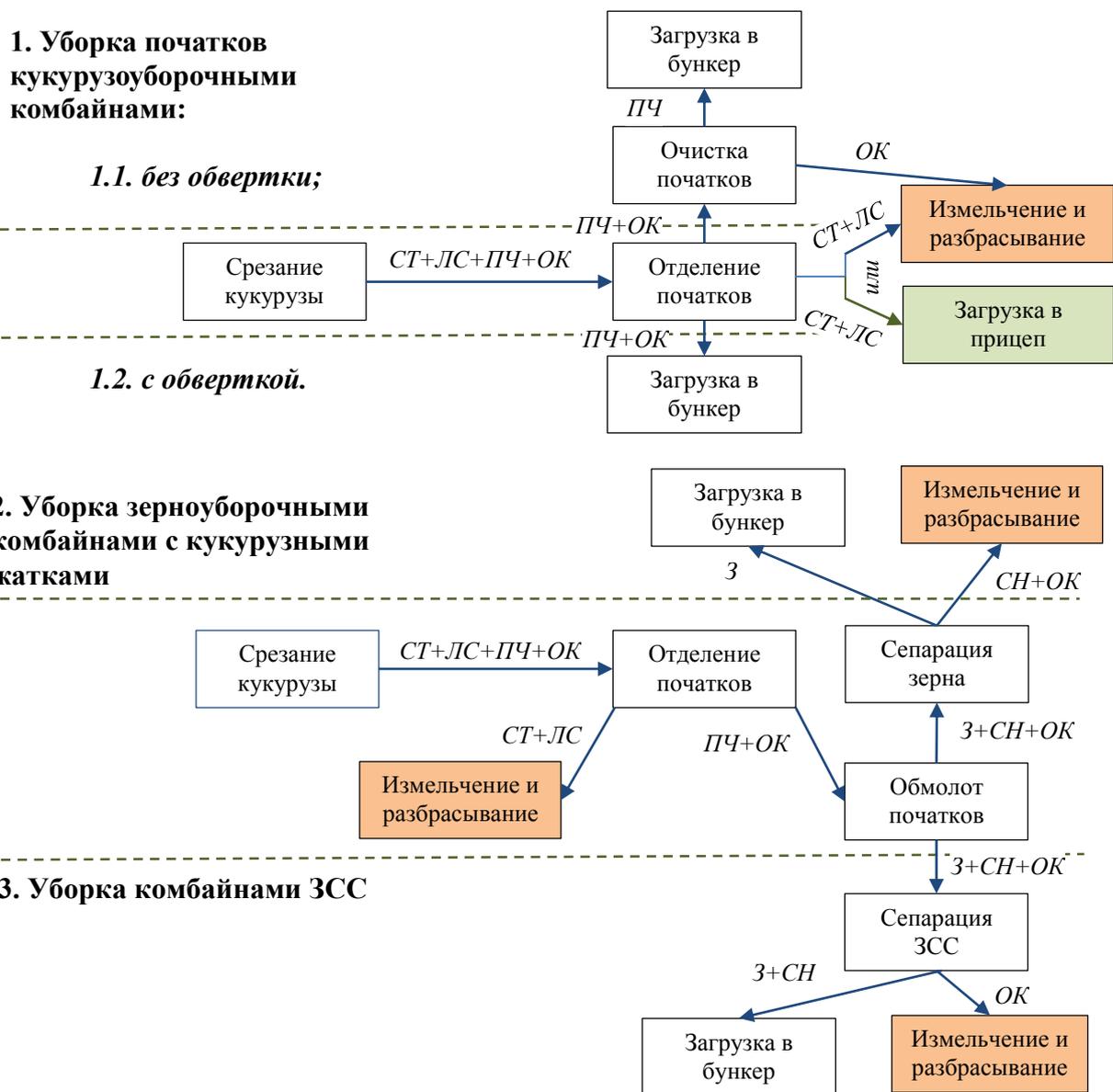
Сбор урожая кукурузы на зерно – сложный и трудоемкий процесс. Различают несколько технологических схем (**Рис. 8**):

1. Сбор кукурузоуборочными комбайнами с последующей доработкой початков на стационаре:
 - 1.1. без очистки початков от оберток (п. 1.1 на **Рис. 8**);
 - 1.2. с одновременной очисткой початков от оберток (п. 1.2 на **Рис. 8**);
2. Сбор зерноуборочными комбайнами с кукурузными жатками (п. 2 на **Рис. 8**);
3. Сбор комбайнами ЗСС (п. 3 на **Рис. 8**).

Кукурузу на зерно собирают при влажности зерна от 20 до 35-40%, а ЗСС – 40-50%. Сбор урожая культуры без обмолота початков начинают при влажности зерна не более 40%, а с обмолотом – при 30%. При большей влажности ухудшается обмолот, травмируется зерно, снижается производительность комбайнов. Наиболее качественный обмолот происходит при влажности зерна 20-22% [5].

В 80-90-х годах прошлого века в Украине пользовалась популярностью технология уборки кукурузы на зерно, предусматривающая сбор всего биологического урожая за счет использования зерноуборочных комбайнов СК-5М, Енисей-1200, Дон-1500 и КЗС-9-1 со специальными жатками производства завода «Херсонмаш» ППК-4, КМД-6, ПЗКС-6, которые направляли измельченную побочную продукцию в прицеп.

Сейчас основным способом сбора урожая товарной кукурузы является **комбайновый обмолот початков в поле, измельчение и разбрасывание срезанной массы** при использовании зерноуборочных комбайнов с кукурузными жатками. Такой способ уборки кукурузы является наиболее экономически целесообразным. Он, по сравнению со сбором кукурузы в початках, обеспечивает в 1,8-2 раза уменьшение затрат труда и на 20-25% – расход топлива [4]. Лишь немногие хозяйства собирают кукурузу в необмолоченных початках с последующим стационарным обмолотом, что *дает возможность сбора стержней*. Это семенные заводы, целью выращивания кукурузы в которых является получение (гибридных) семян кукурузы в качестве посадочного материала. Сбор ЗСС в Украине пока мало распространен.



$З$ – зерно; $СТ$ – стебель; $ЛС$ – листья; $СН$ – стержень; $ОК$ – обертка початка; $ПЧ$ – початок
($ПЧ = СН+З$)

Рис. 8. Технологии уборки кукурузы на зерно.

Учитывая календарные сроки периода посева кукурузы в зонах кукурузосеяния и среднюю продолжительность вегетационного периода биотипов гибридов кукурузы различных групп спелости, прогнозируемый срок достижения биологической спелости зерна, в зависимости от гидротермических условий выращивания календарно наступает, как правило [4]:

- в Южной Степи в период 1-5 августа (раннеспелые гибриды) – 10-15 сентября (среднепоздние гибриды)
- в Северной Степи, соответственно, 15-20 августа – 15-20 сентября;
- в Лесостепи - 25-30 августа – 20-25 сентября;
- в Полесье - 1-5 сентября – 25-30 сентября.

Продолжительность сбора одного гибрида не должна превышать 5-7 дней, опоздание приводит к существенным потерям урожая. Так, по данным Института сельского хозяйства

степной зоны¹³ (г. Днепропетровск), потери зерна кукурузы на 10-й день от начала сбора составляют лишь 4%, на 20-й – увеличиваются до 10%, на 30-й – до 17%, а на 35-й день – до 23% от уровня сформированного урожая [4]. В разных областях Украины сбор урожая кукурузы, как правило, проходит достаточно длительное время, значительно превышая пределы оптимально допустимых сроков. Обычно кукурузу на зерно собирают в октябре-ноябре. Для обеспечения базовой влажности 14% зерно кукурузы сушат в зерносушилках, что требует дополнительных затрат. Поэтому нередко в связи с повышенной влажностью основной продукции, даже при достижении ее полной спелости, в ряде хозяйств сознательно задерживают уборку культуры для уменьшения содержания влаги в зерне, оставляя растения длительное время на корне, что наносит непоправимые потери урожаю. В сухую морозную погоду влажность зерна уменьшается, но ухудшаются другие показатели качества основной продукции. Но несмотря на это, в некоторых хозяйствах собирают зерно кукурузы в декабре-январе или даже позже.

Использование побочной продукции кукурузы на зерно

Выделяют следующие составляющие побочной продукции кукурузы на зерно: *стебель, листья, стержень и обертка початка*. У кукурузы **отношение массы ПП к зерну** зависит от многих факторов, в первую очередь от гибрида, но в общем случае его можно принимать **1,3** по рекомендациям [11]. Общий вид и соотношение основных частей кукурузы [12] показано на **Рис. 9**.

В современных технологиях уборки кукурузы на зерно побочная продукция преимущественно измельчается и разбрасывается по полю. Если комбайны не оборудованы измельчителями, возникает необходимость в применении мульчирователей, агрегатированных с тракторами, которые позволяют качественно измельчить и равномерно распределить растительные остатки по поверхности поля. Для дальнейших расчетов примем *средние соотношения* частей кукурузы и рассчитаем потенциал ПП (**Табл. 6**). Потенциал ПП кукурузы на зерно в Украине в 2014 г. в общем составил 37046 тыс. т, из которых наибольшая доля, 4394 тыс. т, пришлось на Полтавскую область (**Рис. 10**).

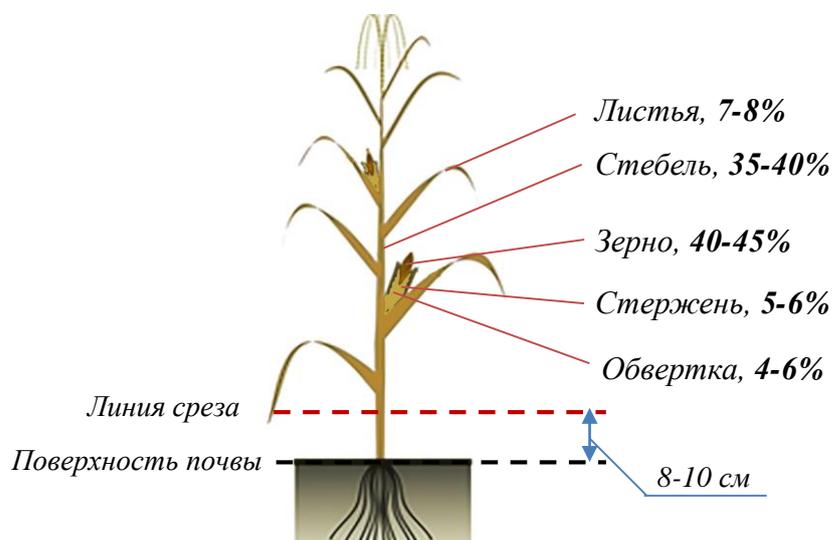


Рис. 9. Соотношение основных частей кукурузы.

¹³ <http://www.institut-zerna.com/>

Таблица 6. Потенциал частей ПП кукурузы на зерно в Украине в 2014 г.

Наименование	Обозначение	Среднее соотношение, %	Масса (ср.), тыс. т
Стебли	СТ	37,5	25259
Листья	ЛС	7,5	5052
Стержень	СН	5,5	3704
Обертка	ОК	4,5	3031
Всего			37046

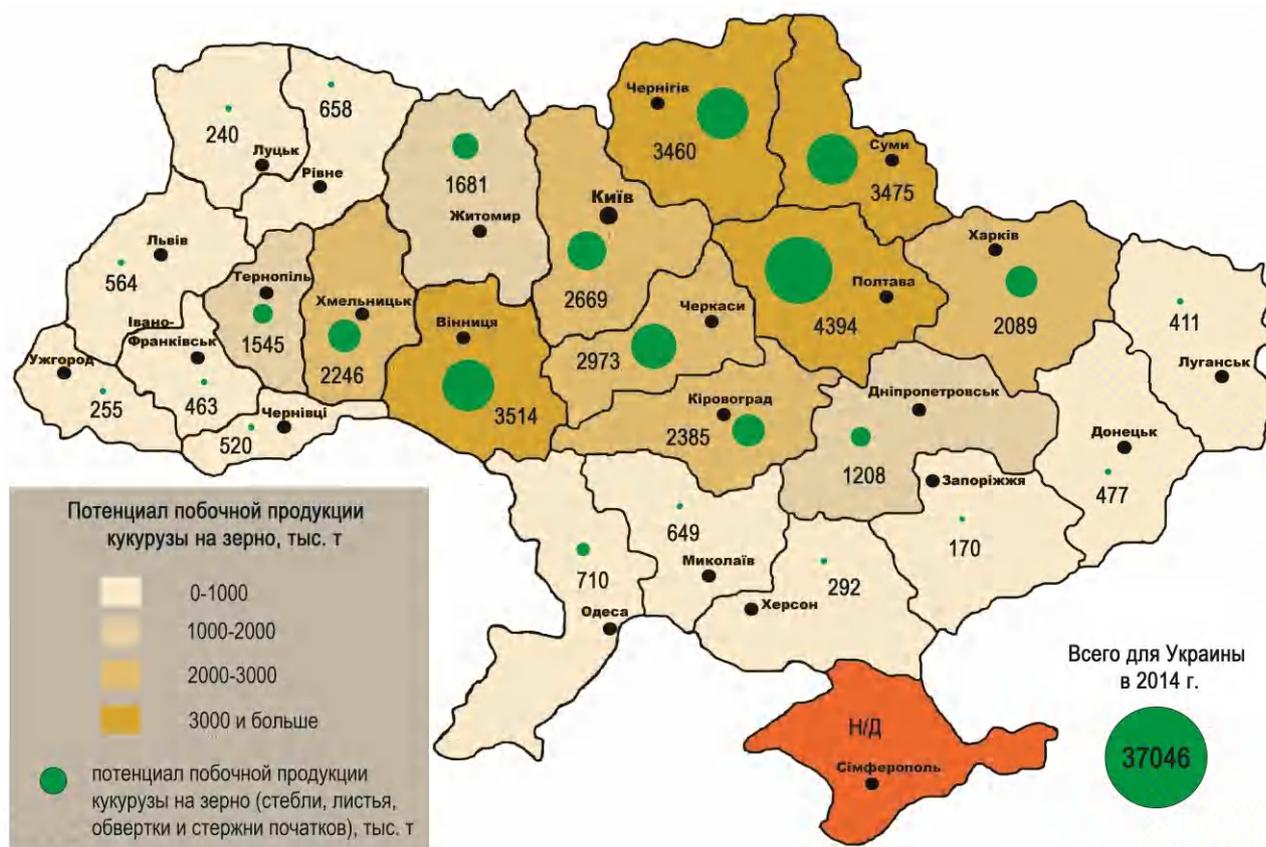


Рис. 10. Потенциал побочной продукции кукурузы на зерно в Украине (2014 г.).

Кукуруза – ценное сырье не только для АПК, но и для других отраслей экономики, так как при полной и комплексной ее переработке получают более 500 видов различных продуктов [3]. Основные направления использования ПП отображены на **Рис. 11**. В США и некоторых странах ЕС значительные объемы ПП заготавливаются и используются в промышленных масштабах для производства широкого ассортимента продукции. В Украине ПП кукурузы на зерно преимущественно используют как удобрение, а также традиционно применяют в животноводстве в качестве корма и подстилки, а в некоторых регионах – как твердое биотопливо.

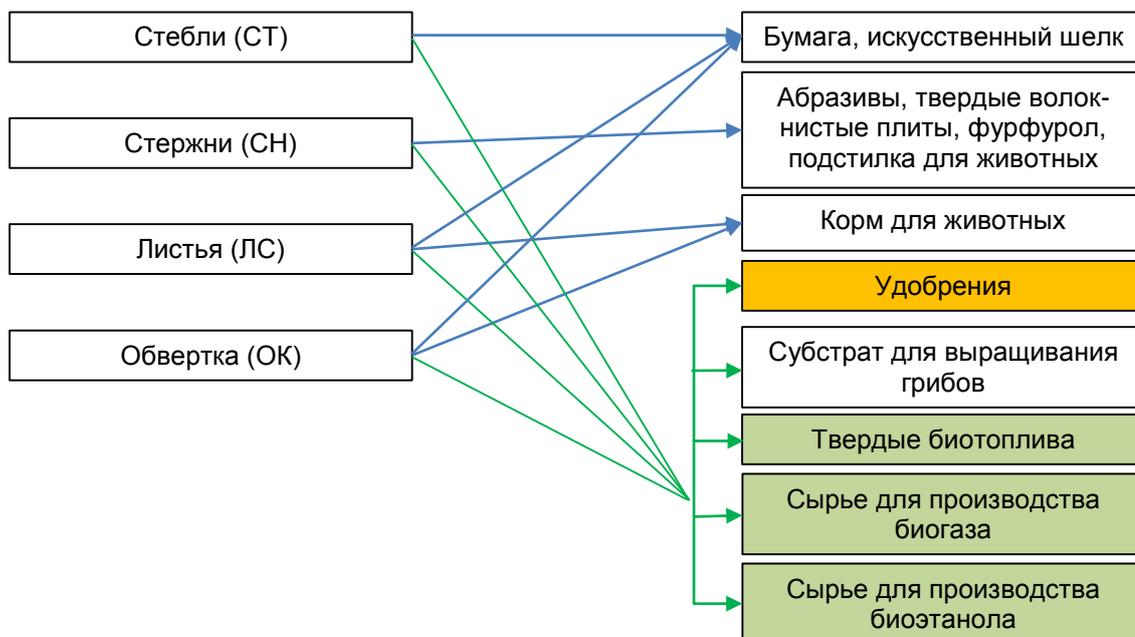


Рис. 11. Направления использования ПП кукурузы на зерно.

Вследствие низкой питательности, солому, в том числе кукурузную, в животноводстве используют в ограниченном количестве: как балластный корм и при недостатке других грубых кормов. У кукурузы на зерно питательность листьев и оберток початков выше по сравнению со стеблями и стержнями. Например, в селах на юге Одесской области после уборки початков местное население уже десятилетиями заготавливает кукурузные стебли с листьями для кормления скота зимой. Скот съедает листья, а стебли затем сжигают в печах для обогрева помещений.

Примеры энергетического использования побочной продукции кукурузы на зерно

В Украине из ПП кукурузы на зерно преимущественно производят *твердые биотоплива: прямоугольные и круглые тюки, гранулы и брикеты*. Также в тестовом режиме были попытки применения такой биомассы в качестве субстрата для *биогазовых установок*. Значительные объемы ПП кукурузы на зерно перерабатывают в США, в частности, современные технологии позволяют получать из этой лигноцеллюлозной биомассы *биоэтанол*.

При обмолоте початков кукурузы на стационарных пунктах собирают стержни, из которых можно производить топливные гранулы. Характеристики таких гранул, представленных на рынке Украины, следующие: диаметр 6-8 мм, влажность рабочая 7,3%, зольность 2,6%, низшая теплота сгорания 4168 ккал/кг (17,4 МДж/кг). Стоимость гранул на конец 2015 г. составляла 1900 грн./т¹⁴ с НДС. Также гранулированное и брикетированное биотопливо получают из других частей кукурузы, которые необходимо собрать с поля и доставить на место переработки. Некоторые агропроизводители уже провели модернизацию зерносушилок для использования тюкованной соломы как топлива, в том числе соломы

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

кукурузы. Характеристики *кукурузной соломы*, состоящей из стеблей и листьев, которые остаются после отделения початков, приведены в **Табл. 7**.

Таблица 7. Характеристики кукурузной соломы¹⁵

Наименование показателя	Значение для образца		
	№704	№889	№241
Общая влага, W^r , %	6,06	5,00	–
Зольность, A^d , %	5,06	7,35	3,7
Выход летучих, V^{daf} , %	85,17	84,30	–
Углерод, C^d , %	46,82	50,19	51,40
Водород, H^d , %	5,74	6,27	5,61
Азот N^d , %	0,66	0,60	0,62
Сера S^d , %	0,11	0,12	–
Кислород O^d , %	41,36	42,82	43,41
Хлор, Cl^d , мг/кг	2661,3	0,0	–
Низшая теплота сгорания, Q^r , МДж/кг	15,68	16,72	–
Высшая теплота сгорания, Q^{daf} , МДж/кг	19,06	20,50	18,48
Состав золы, %:			
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	–	–
Температуры стадий плавкости золы, °С:			
Деформация, IDT	–	1232	–
Полусфера, HT	–	1500	–
Растекания, FT	–	1500	–
Биохимический состав, %			
Целлюлоза	–	36,80	51,20
Гемицеллюлоза	–	25,40	30,70
Лигнин	–	16,90	14,40
Примечание:	r – рабочее состояние топлива; d – сухая масса; daf – сухой беззольный остаток.		

Содержание золы в ПП зависит от технологии заготовки, поскольку при контакте биомассы с почвой ее зольность увеличивается. Учитывая это выделяют два типа золы: структурную и неструктурную [13]. Структурная зола состоит из неорганических веществ растения, которые остаются после ее сжигания. Обычная зольность кукурузной соломы составляет 3,5%. Неструктурированная зола – это неорганические вещества (преимущественно грунт), которые попадают в солому при сборе соломы, в частности при

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

формировании валков и тюковании. Типичное полное содержание золы при многократном прохождении с/х машин при уборке составляет 8-10%.

По характеристикам плавкости золы кукурузная солома приближается к древесной биомассе (для сравнения: у древесины температура плавления золы составляет около 1200°C), что обеспечивает лучшие условия для сжигания по сравнению с соломой зерновых колосовых культур.

Также солома кукурузы содержит меньше хлора (0,2% массы с.в.) по сравнению со свежей («желтой») соломой зерновых колосовых (0,75% массы с.в.) (Табл. 8). Это является положительным фактором с точки зрения применения соломы как топлива ввиду того, что соединения хлора вызывают коррозию стальных элементов энергетического оборудования.

Таблица 8. Химический состав и некоторые характеристики различных видов биомассы [14]

Показатели	Свежая солома («желтая»)	Лежалая солома («серая»)	Солома озимой пшеницы	Стебли кукурузы*	Стебли подсолнечника*	Древесная щепа
Влажность, %	10-20	10-20	11,2	45-60 (после уборки) 15-18 (высушенная на воздухе)	60-70% (после уборки) ~20 (высушенная на воздухе)	40
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	14,4	15	14,96	16,7 (с.в.) 5-8 (W 45-60%) 15-17(W15-18%)	16 (W<16%)	10,4
Содержание летучих веществ, %	>70	>70	80,2	67	73	>70
Зольность, %	4	3	6,59	6-9	10-12	0,6-1,5
Элементарный состав, %:						
углерод	42	43	45,64	45,5	44,1	50
водород	5	5,2	5,97	5,5	5,0	6
кислород	37	38	41,36	41,5	39,4	43
хлор	0,75	0,2	0,392	0,2	0,7-0,8	0,02
калий (щелочной металл)	1,18	0,22	–	стержни: 6,1 мг/кг с.в.	5,0	0,13-0,35
азот	0,35	0,41	0,37	0,69	0,7	0,3
сера	0,16	0,13	0,08	0,04	0,1	0,05
Температура плавления золы, °С	800-1000	950-1100	1150	1050-1200	800-1270	1000-1400

Примечание: с.в. – сухое вещество; W – влажность.

* Данные по содержанию летучих веществ, зольности, элементарному составу – % массы с.в.

По элементарному составу кукурузная солома почти не отличается от соломы зерновых колосовых, поэтому у них сопоставимая теплотворная способность. Свойства соломы сильно зависят от места выращивания, времени сбора и погоды, почвы и удобрений [15]. Больше всего на теплотворную способность биомассы кукурузы влияет влажность (Рис. 12).

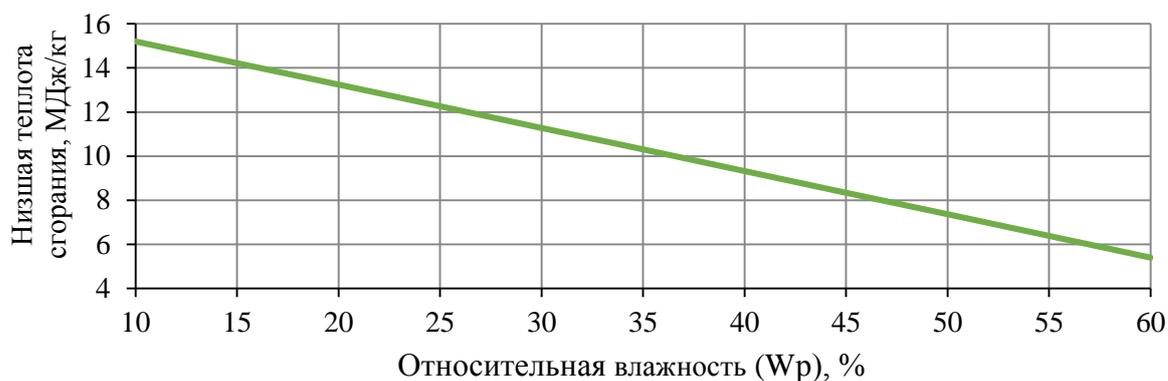


Рис. 12. График зависимости нижней теплоты сгорания от относительной влажности кукурузной соломы.

Влажность отдельных частей кукурузы неоднородная и стремительно уменьшается после 120 дня с даты посева (**Рис. 13**). Стержни початков кукурузы всегда влажнее ($W=35-45\%$), чем зерно ($W=22-35\%$), но при сушке интенсивнее испаряют влагу. Сразу после уборки влажность стеблей находится в пределах 45-60% (теплота сгорания 5-8 МДж/кг) [16]. Но правильный метод, который создает условия для продувки биомассы ветром, позволяет в поле уменьшить W до 30% в течение 10 часов [12]. Также влажность ПП очень сильно зависит от времени сбора и погодных условий, а поэтому сильные осадки в период уборки урожая могут привести к нецелесообразности заготовки биомассы для производства твердого биотоплива.

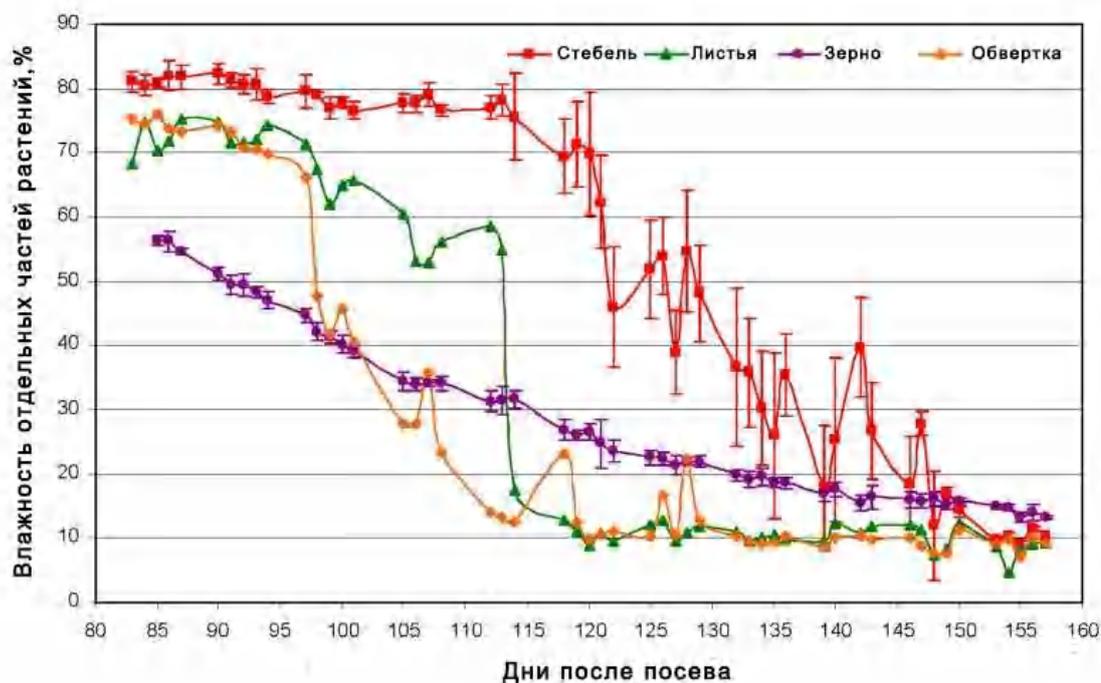


Рис. 13. Распределение влаги в надземной части стоящего растения кукурузы [17].

Таким образом, заготавливать ПП кукурузы на зерно для энергетического использования необходимо в период, когда влажность биомассы уменьшится до 20%, что примерно наступает после 150 дня с даты посева. Важными факторами для обеспечения надлежащего качества биомассы является правильно подобранные технология и

оборудование. Также необходимо координировать планы выполнения работ уборочной кампании с прогнозом погоды.

Исследования [18] показывают возможность успешного сжигания тюков из стеблей кукурузы в котле Farm 2000 (Великобритания) мощностью 176 кВт (Рис. 14), предназначенном для тюкованной соломы зерновых культур. Одним из отличий было образование большого объема золы – 9,2% для стеблей кукурузы против 2,6% для соломы зерновых. Средний уровень выбросов CO при сжигании стеблей кукурузы был выше, чем для соломы (2725 мг/м³ против 2210 мг/м³), а NO_x и SO₂ – ниже (мг/м³): 9,8 против 40,4 и 2,1 против 3,7 соответственно.

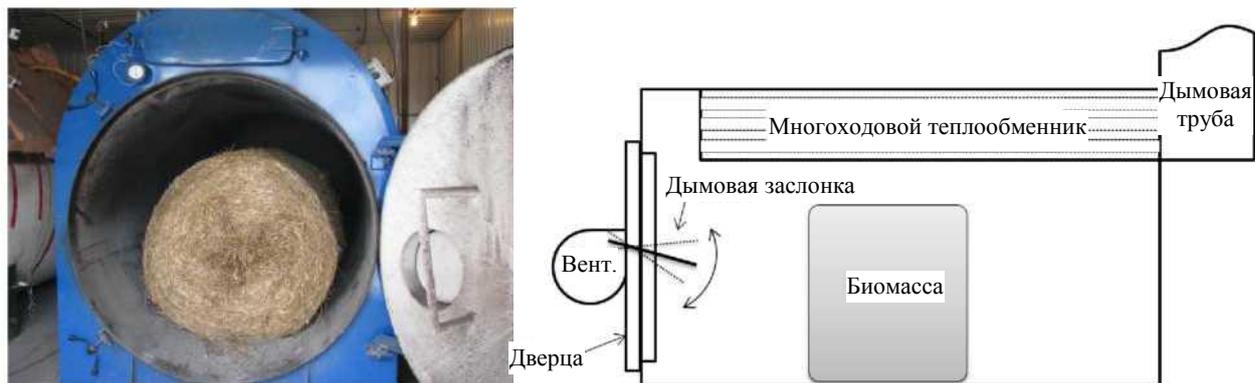


Рис. 14. Общий вид котла Farm 2000 [18].

Использование ПП кукурузы на зерно для получения энергии в Украине используется давно, но в весьма ограниченных масштабах, преимущественно для производства тепловой энергии для нужд домохозяйств, хотя имеет значительную сырьевую базу для масштабного развития. Кроме этого, необходимо определить условия, при которых возможно отчуждать ПП с полей с **сохранением плодородия почв** и критериев для их оценки. Зола от сжигания ПП кукурузы может быть использована в качестве удобрения. Национальной академией аграрных наук Украины для АПК разработаны рекомендации по применению соломы и пожнивных остатков в качестве *органических удобрений* [6, 30], тогда как специализированные рекомендации по определению возможности отчуждения побочной продукции растениеводства пока отсутствуют. Поэтому отечественные агропроизводители по своему усмотрению определяют направления использования побочной продукции растениеводства, что часто не является рациональным, или сжигают ее вместе со стерней на полях, нанося значительный ущерб окружающей среде.

Опыт США по заготовке биомассы для производства биоэтанола из лигноцеллюлозного сырья

Для оценки влияния отчуждения ПП разработано много руководств по управлению растительными остатками. В частности, Служба охраны природных ресурсов Министерства сельского хозяйства США обнародовала Белую книгу «Изымание растительных остатков для производства энергии: влияние на почву и рекомендации» [19].

Этим документом предусмотрено, что влияние отчуждения растительных остатков на качество почв связано с:

- **Эрозией почв.** Поверхностные растительные остатки защищают почвы от водной и ветровой эрозии. Остатки также повышают сопротивление почвы к смыву, если не нарушена ее инфильтрация. Исследования показывают, что до 30% поверхностных остатков могут быть удалены в некоторых системах No-till без увеличения эрозии или смывания почвы.

- **Органическими и питательными веществами.** При использовании дополнительных азотных удобрений растительные остатки могут повысить органическое вещество почвы. Однако, корни является крупнейшим вкладчиком нового органического вещества в почву, делая остатки менее весомыми для накопления углерода. Удаление растительных остатков приводит к увеличению эрозии и темпов смывания, что увеличивает потерю органического вещества почвы и питательных веществ. Удаление растительных остатков требует также увеличения доз внесения удобрений для замены питательных веществ в отчужденном растительном материале.

- **Полезными и вредными почвенными организмами.** Удаление растительных остатков может привести к пагубным последствиям во многих показателях качества почвы, включая: почвенный углерод, микробиологическую активность, грибную биомассу и популяцию дождевых червей, что указывает на уменьшение плодородия почв. Некоторые болезнетворные организмы развиваются от удаления остатков, другие, наоборот, при сохранении остатков, в зависимости от сельскохозяйственной культуры и региона.

- **Доступной водой и засухоустойчивостью.** Поверхностные растительные остатки способствуют уменьшению испарения с поверхности почвы, увеличивает влагообеспеченность и удлиняют период выживания сельскохозяйственных культур в условиях засухи. С увеличением объемов растительных остатков улучшаются физические свойства почвы, в частности, уменьшается плотность и улучшается агрегатная стабильность, что также приводит к лучшей инфильтрации и задержанию воды.

- **Температурой почвы и урожайностью сельскохозяйственных культур.** В холодном климате растительные остатки связывают со способностью уменьшать урожайность в соответствии с меньшей температурой почвы, что приводит к слабому прорастанию. Мульчирование стерни в противовес простому измельчению остатков может преодолеть эту проблему. Ассоциированное с остатками уменьшение урожайности также было установлено на почвах плохо осушенных и мелкой структуры. В связи с тем, что такие почвы имеют низкую опасность эрозии, остатки могут безопасно удаляться.

Рекомендации для отчуждения растительных остатков:

- **Количество отчуждения остатков.** Объемы отчуждения растительных остатков, определенных с учетом критериев устойчивого развития, зависят от многих факторов, таких как менеджмент, урожайность и тип почвы. Такие инструменты, как программное обеспечение RUSLE, WEQ и Soil Conditioning Index (Индекс состояния почвы) являются наиболее практическим способом определения количества биомассы для безопасного отчуждения. Объем отчуждения отличается от объемов остатков, необходимых для покрытия почвы. Он зависит от вида сельскохозяйственной культуры и региона. Площади с малым уклоном поверхности и высокой урожайностью позволяют сбор

растительных остатков, а во многих других местах количество остатков, необходимых для поддержания качества почвы, будет выше, чем существующие практики покрытия почвы.

- **Дополнительные почвозащитные мероприятия.** Почвозащитные мероприятия, такие как полосы защитных насаждений или почвозащитная обработка почвы, должны использоваться для компенсации потерь защиты от эрозии и уменьшения органического вещества почвы, связанного с удалением растительных остатков. Во многих регионах, как альтернатива, применяются покровные растения.

- **Периодический мониторинг и оценка.** Независимо от выбранной практики отчуждения растительных остатков, поля должны тщательно контролироваться визуально на признаки эрозии или корки. Также рекомендуются периодические проверки почвенного углерода как часть испытания плодородия. Объемы отчуждения должны быть скорректированы в соответствии с вредными изменениями: если увеличивается эрозия или уменьшается углерод, количество удаления должно быть уменьшено для поддержания качества почвы.

Исследования американских ученых [20] показывают, что при определении объемов отчуждения ПП кукурузы на зерно основным ограничивающим фактором является обеспечение *баланса гумуса*, который характеризуется органическим углеродом в почве (**Рис. 15**). При повторном выращивании кукурузы и традиционной технологии обработки почвы нужно оставить около 8,5 т/га кукурузной соломы, при консервирующей и No-till – 6 т/га. А при выращивании кукурузы после сои при вспашке необходимо оставить около 14 т/га, а при консервирующей и No-till технологии – 8,75 т/га.

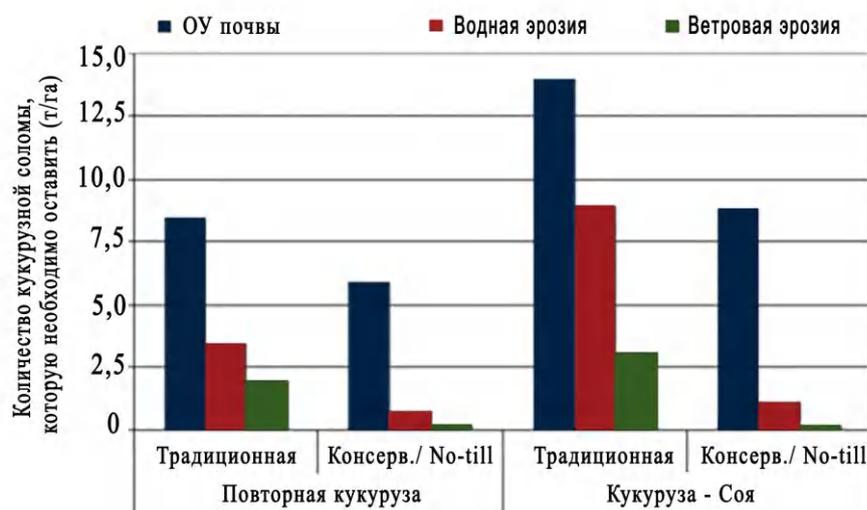


Рис. 15. Средний объем остатков кукурузы, необходимых для обеспечения баланса органического углерода в почве и управления водной и ветровой эрозией, при разных системах обработки почвы [20].

Практический опыт закупки значительных объемов ПП кукурузы на зерно наработан в США компанией DuPont, которая 30 октября 2015 г. открыла в г. Невада, штата Айова крупнейший в мире завод по производству целлюлозного биоэтанола [21]. На заводе планируется производить более 110 млн. л. целлюлозного биоэтанола в год (**Рис. 16**).



Рис. 16. Производственная программа завода биоэтанола из лигноцеллюлозного сырья DuPont¹⁶.

Завод целлюлозного биоэтанола DuPont платит фермерам за разрешение собирать ПП кукурузы и управляет затратами на заготовку, хранение и транспортировку. Фермеры получают плату за доступ к полю и за объемы питательных элементов, которые уносятся вместе с ПП. Солому кукурузы собирают из 500 ближайших ферм. На заводе занято 85 постоянных работников, и 150 работников обеспечивают сбор, транспортировку и хранение сырья.

Согласно заготовительной программы, DuPont заключает контракты с местными фермерами на сбор, хранение и поставки соломы кукурузы на завод по производству биоэтанола на следующих условиях¹⁷:

- Расположение в радиусе 48 км от г. Невада, штат Айова;
- Кукуруза должна выращиваться по системе обработки почвы No-till или консервирующей;
- Урожайность не менее 12,2 т/га;
- Относительно ровные поля (наклон поверхности не более 4%).

Рост урожая кукурузы приводит к большему количеству растительных остатков, что создает проблемы для фермеров. Увеличение количества растительных остатков от выращивания кукурузы на зерно вызывает болезни растений, препятствует посеву и стабильному развитию кукурузы, способствует поглощению азота. Отчуждение части ПП с высокопроизводительного поля перед посевом может улучшить прорастивание, рост и повысить урожайность культур.

Исследования, проведенные в штате Айова, показали, что урожайность на полях с частично удаленной ПП с повторным выращиванием кукурузы на зерно увеличилась примерно на 0,35 т/га по сравнению с предыдущими годами.

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

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

Количество ПП кукурузы на зерно, доступное для отчуждения, в соответствии с рекомендациями DuPont [20] зависит от урожайности кукурузы и культуры-предшественника (Табл. 9).

Таблица 9. Влияние урожайности и севооборота на количество ПП кукурузы на зерно, доступное для отчуждения при сохранении баланса органического углерода [20]

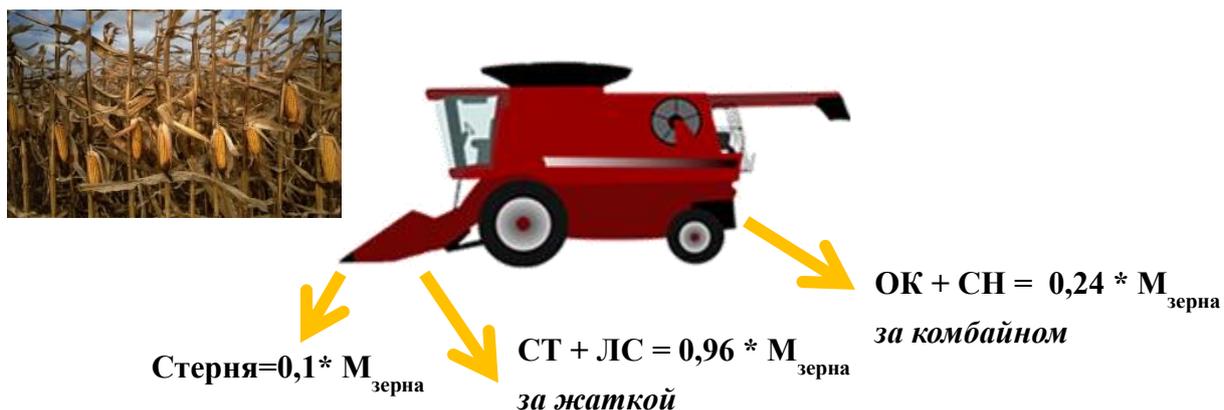
Урожайность кукурузы на зерно	ПП кукурузы на зерно ¹	Объемы ПП кукурузы на зерно, доступные для отчуждения			
		Повторное выращивание кукурузы ²	Чередование кукурузы с соей ³	Повторное выращивание кукурузы ²	Чередование кукурузы с соей ³
т/га	т сухой массы/га			%	
9,4	8,6	3,0	0,0	34	0
10,0	9,4	3,7	0,7	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

Примечания:

1. Рассчитано по индексу урожая $IV=0,5$ ($IV = \text{урожайность зерна} / \{\text{урожайность зерна} + \text{урожайность соломы}\}$);
2. Приблизительно 0,144 т/га сухой массы ПП кукурузы на зерно необходимо, для обеспечения баланса органического углерода при длительном выращивании кукурузы по технологиям обработки почвы No-till или консервирующей;
3. Приблизительно 0,22 т/га сухой массы отходов кукурузы на зерно необходимо для обеспечения баланса органического углерода при чередовании кукурузы с соей по технологии обработки почвы No-till или консервирующей.

Сбор побочной продукции кукурузы на зерно

При уборке урожая зерноуборочным комбайном с кукурузной жаткой растительные остатки перераспределяются следующим образом (Рис. 17): в стерне, за жаткой комбайна и за комбайном. Наибольший объем биомассы из стеблей и листьев образуется за жаткой, что во влажном состоянии составляет **0,96** массы зерна.



СТ – стебли, ЛС – листья, ОК – обвертка початка, СН – стержень, $M_{\text{зерна}}$ – масса зерна
Рис. 17. Направления и количество образования ПП за зерноуборочным комбайном.

Технологические операции заготовки в общем случае предусматривают измельчение, распределение и уплотнение биомассы. Согласно способов заготовки ПП кукурузы на зерно, можно выделить пять базовых технологий (Табл. 10). Кроме этого, распределенную после зерноуборочного комбайна ПП кукурузы можно тюковать, но низкая эффективность подбора остатков (25-30% [22]) при больших затратах топлива вследствие необходимости прохождения пресс-подборщиками всей площади поля делает данный способ экономически непривлекательным. За счет использования комбинации базовых технологий можно обеспечить сбор определенного количества биомассы, чего трудно достичь при заготовке соломы зерновых колосовых, сои и рапса с учетом того, что вся ПП концентрируется за комбайном. Первые четыре технологии уплотняют ПП в прямоугольные тюки или круглые рулоны, а пятая – заготавливает ее в измельченном виде. В зависимости от конечной товарной формы биомассы различаются технологические операции сбора, погрузки/разгрузки и перевозки, и, соответственно этому, могут использоваться различные технические средства.

Для заготовки максимального количества ПП кукурузы надо применять мульчирователи, которые позволяют измельчить растительные остатки до 40-70 мм, и грабли для формирования валков. Следует отметить, что с увеличением контакта с почвой повышается зольность биомассы (Рис. 18). Для определения необходимого перечня технологических операций и оборудования важно также учитывать потери и остатки растительных остатков в поле.

Согласно опыту заготовки ПП кукурузы в Венгрии по 4-ой технологии (комбайн + трактор с мульчирователем + трактор с граблями + трактор с пресс-подборщиком), лучше происходит уплотнение такой биомассы в рулоны при влажности 24-30%, в тюки – при 22-30%. После измельчения и уплотнения в тюках и рулонах заготавливается только 35-50% от сухой массы растения. Большую часть потерь (около 66,6%) составляет биомасса, которая остается в поле после формирования валков [12].

Таблица 10. Классификация технологий заготовки ПП кукурузы на зерно после зерноуборочного комбайна

№ п/п	Наименование технологии заготовки	Виды собранной биомассы	Сбор / транспортировка на локальный склад*	Грузовые операции*	Транспортировка на центральный склад*
1	Однопроходная система: комбайн з пресс-подборщиком	ОК+СН	Трактор з самозагружающимся прицепом (автомобиль-подборщик или погрузчики + трактор з прицепом (автомобиль))	Погрузчик телескопический (погрузчик фронтальный или трактор с фронтальным погрузчиком)	Грузовой автомобиль з прицепом-платформой (автомобиль-тягач з полуприцепом-платформой)
2	Комбайн з жаткой, которая формирует валок + трактор с пресс-подборщиком	ОК+СН + СТ+ЛС			
3	Комбайн + трактор з мульчирователем з валкообразователем + трактор с пресс-подборщиком	ОК+СН + СТ+ЛС+ Стерня			
4	Комбайн + трактор з мульчирователем + трактор з граблями + трактор с пресс-подборщиком	ОК+СН + СТ+ЛС+ Стерня			
5	Комбайн з подборщиком обверток и стержней початков	ОК+СН	Трактор с прицепом	Погрузчики	Грузовой автомобиль с прицепом

* В скобках указаны возможные варианты.

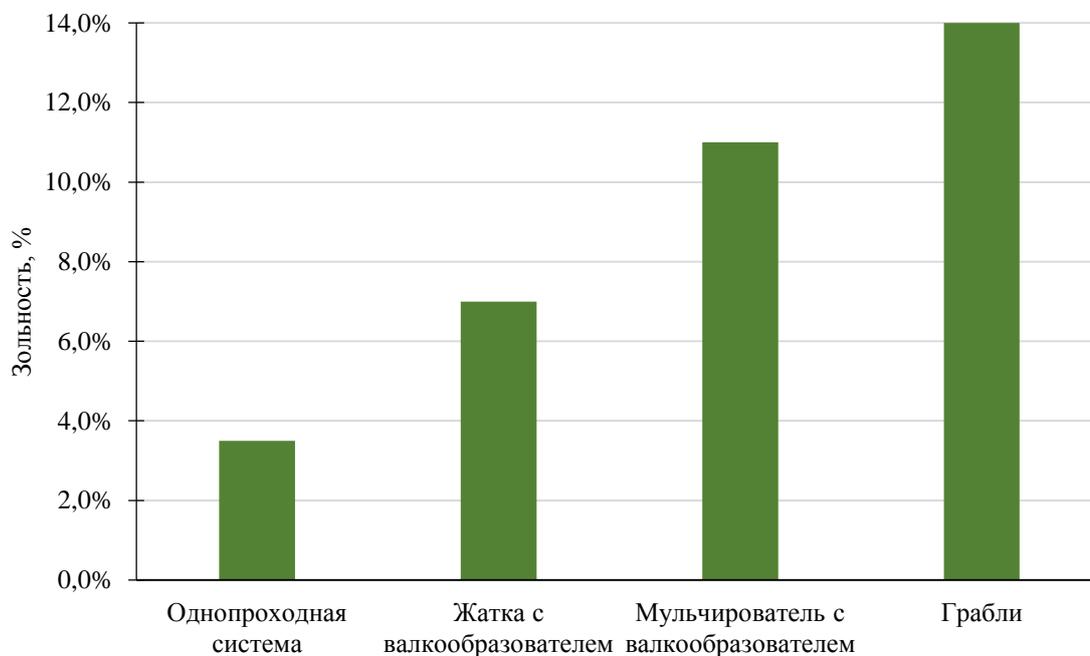


Рис. 18. Типичная зольность соломы кукурузы в зависимости от технологии заготовки.

Источник: 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 основе ориентировочной эффективности сбора сухого вещества в ПП кукурузы на зерно [12, 22, 23, 24] определены потери растительных остатков по технологическим операциям при заготовке биомассы (Табл. 11).

Таблица 11. Ожидаемые потери с.в. в результате разных технологических операций в поле

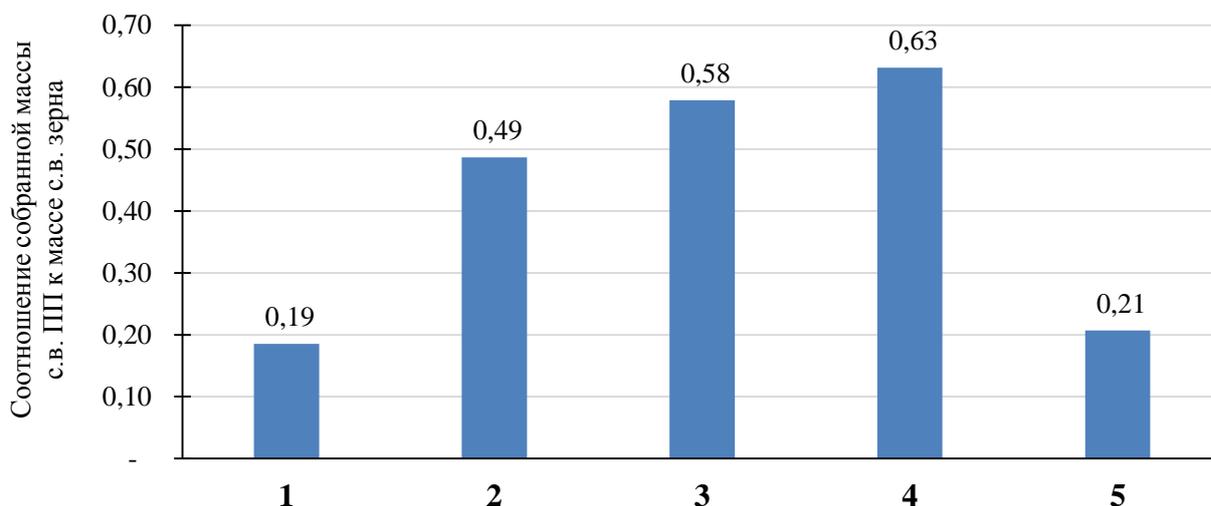
Наименование технологической операции	Максимальные потери с.в. при машинных операциях и остатки в поле, %
Жатка кукурузная:	
- срезание	5
- измельчение	5
- образование валка	5
Комбайн зерноуборочный:	
- обмолот	3
- измельчение и формирование валка	10
Мульчирователь:	
- измельчение	5
- формирование валка	10
Пресс-подборщик:	
- с подборщиком массы с земли	20
- масса поступает из комбайна	5
Грабли	5
Уборка и укладка тюков в штабели	2

Для расчета массы с.в. в растительных остатках используем значение типичной влажности, высушенной в поле ПП кукурузы на зерно (Табл. 12).

Таблица 12. Влажность ПП кукурузы на зерно [22]

Наименование	Влажность, % (сушка в поле)
Зерно	15
Стержень	19
Обвертка	24
Стебель и листья	33

Итак, исходя из предположений относительно объемов ПП кукурузы на зерно (Рис. 17, Табл. 10), влажности (Табл. 12) и возможных потерь (Табл. 11), можно определить ориентировочные объемы биомассы для каждой из пяти базовых технологий заготовки, что изображено на Рис. 19. Так, при урожайности кукурузы на зерно 80 ц/га и влажности 15% технически возможно заготовить от 13 до 43 ц/га с.в. в ПП, тогда как другая часть растений остается в поле и используется как органические удобрения. Вместе с тем следует отметить, что указанные соотношения ориентировочные и зависят от многих факторов, в первую очередь от соотношения частей растения конкретного гибрида, периода сбора, влажности биомассы, погодных условий, характеристик конкретных моделей технических средств, квалификации механизаторов, и тому подобное.



1 – однопроходная система: комбайн с пресс-подборщиком; 2 – комбайн с жаткой, которая формирует валок + трактор с пресс-подборщиком; 3 – комбайн + трактор с мульчирователем с валкообразователем + трактор с пресс-подборщиком; 4 – комбайн + трактор с мульчирователем + трактор с граблями + трактор с пресс-подборщиком; 5 – комбайн с подборщиком початков

Рис. 19. Ориентировочное соотношение собранной массы с.в. ПП к массе с.в. зерна кукурузы в зависимости от технологии заготовки ПП.

Сейчас для промышленной заготовки ПП кукурузы на зерно используются специальные технические средства. Так, на заводе целлюлозного биоэтанола DuPont заготовительно-логистическая система включает семь базовых технологических операций (**Рис. 20**). Сбор зерна кукурузы осуществляется силами фермеров, тогда как другие операции – заготовительными звеньями завода.

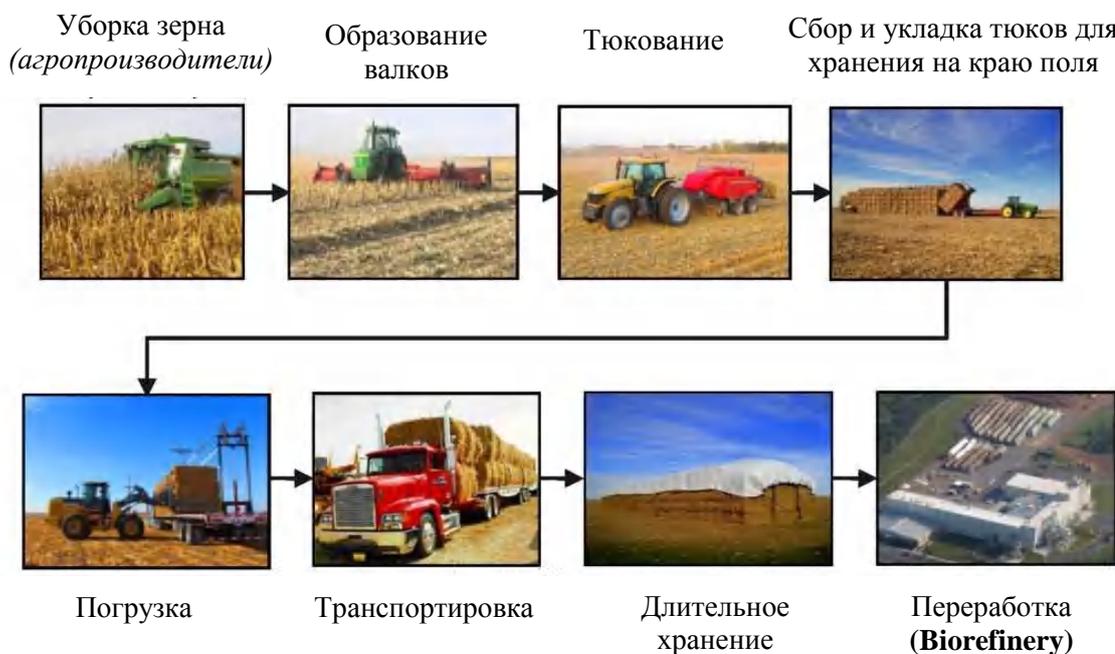
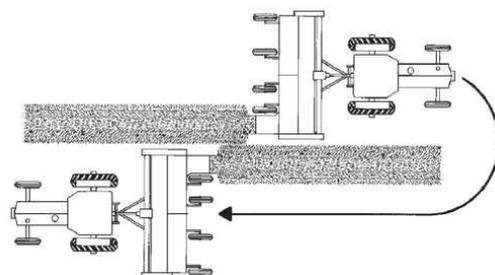


Рис. 20. Технологическая схема заготовительно-логистической структуры для ПП кукурузы на зерно компании DuPont [25].

Для измельчения и формирования валков из ПП кукурузы после комбайна применяются мульчирователи (Рис. 21 а). Американская компания Hiniker выпускает мульчирователи с валкообразователем серии 5600 шириной 15, 20 и 30 футов. Для обеспечения высокой линейной массы валка и уменьшения количества проходов техники, Hiniker 5610 и 5620 соединяют два прохода в один валок (Рис. 21 б). Для агрегатирования мульчирователя шириной 30 футов нужен трактор с мощностью двигателя 200 л.с.



а) общий вид



б) использование

Рис. 21. Машина для измельчения растительных остатков и формирования валков Hiniker 5620.

Для тюкования ПП используются пресс-подборщики крупногабаритных прямоугольных тюков (Рис. 22 а). За счет тюкования биомасса уплотняется с 51 кг/м^3 до 272 кг/м^3 [12], что существенно улучшает эффективность логистики и сокращает затраты на нее. Также широко применяют рулонные пресс-подборщики (Рис. 22 б). Они дешевле и для них нужен трактор меньшей мощности, но при этом они характеризуются низкой пропускной способностью по сравнению с пресс-подборщик крупногабаритных прямоугольных тюков. Кроме того, рулонные пресс-подборщики обеспечивают меньшую плотность прессования и требуют применения сетки, что несколько дороже по сравнению со шпагатом. Поэтому важно тщательно проанализировать затраты при выборе варианта тюкования биомассы. Следует также отметить, что пресс-подборщики должны быть приспособлены для тюкования стеблей кукурузы, учитывая большие размеры фракции и прочность вещества по сравнению с сеном, соломой зерновых колосовых, рапса и сои. Необходимо учитывать возможности работы оборудования в неблагоприятных погодных условиях.



а



б

а – пресс-подборщик больших прямоугольных тюков Massey Ferguson 2270XD;
 б – рулонный пресс-подборщик 605 Super M Cornstalk Special Baler
Рис. 22. Оборудование для тюкования ПП кукурузы на зерно.

Для предупреждения потерь сухого вещества и ухудшения качества биомассы тюки и рулоны необходимо быстро убрать с поля и уложить в штабеля для хранения. Например, на заводе целлюлозного биоэтанола DuPont для этого используют специальные машины и прицепы, которые могут самостоятельно загружаться и разгружаться (**Рис. 23**). Машина Stinger Stacker 6500 имеет двигатель мощностью 305 л.с., 6-скоростную автоматическую коробку передач и может за 1 час собрать, вывезти и уложить в штабель 80-120 крупногабаритных прямоугольных тюков. Самозагружающийся прицеп 16K Plus Bale Runner собирает за одну ходку 12 крупных тюков шириной 1,2 м и высотой 0,9 м и агрегируется с трактором мощностью от 180 л.с.



а



б

а – машина Stinger Stacker 6500; б – самозагружающийся прицеп 16K Plus Bale Runner

Рис. 23. Машины для сбора и укладки тюков в штабели

В дальнейшем для грузовых операций на складах используются фронтальные и телескопические погрузчики, а для перевозки с локального на центральный склад – автомобили-тягачи с полуприцепами-платформами. Такое оборудование обычно используют и для логистических операций с тюками соломы и сена. Но тюки с ПП кукурузы, обычно, характеризуются большей влажностью и поэтому тяжелее по сравнению с соломой зерновых колосовых и рапса, поэтому это надо учитывать при выборе погрузчиков и грузовых автомобилей. Учитывая меньшую эффективность использования объема транспорта и складов, логистические операции с рулонами по сравнению с прямоугольными тюками сложнее и дороже.

Рассмотренное выше оборудование позволяет обеспечить заготовку ПП кукурузы на зерно для завода целлюлозного биоэтанола DuPont, но реализует только технологию №3 комбайн + трактор с мульчирователем с валкообразователем + трактор с пресс-подборщиком (**Табл. 10**). Для других технологий дополнительно используют следующее оборудование.

Для формирования валков из кукурузной соломы применяются специальные жатки с валкообразователем (**Рис. 24**) в технологии №2 (**Табл. 10**). В валках ПП кукурузы может подсушиться, и таким образом улучшатся топливные характеристики биомассы. Жатка Geringhoff Mais Star Collect может измельчать и разбрасывать стебли и листья кукурузы или укладывать их в валок. Сверху на этот валок также могут поступать измельченные стержни и обертки початков после молотилки комбайна. Компания New Holland выпускает приспособление для формирования валков Cornpower, которое может быть присоединено к жатке для уборки кукурузы. Это техническое решение получило серебряную медаль на

выставке Agritechnica 2013. Для сбора валков ПП кукурузы на зерно кроме пресс-подборщиков иногда применяют кормоуборочные комбайны, и биомассу в измельченном виде насыпью транспортируют на животноводческие фермы или биогазовые установки.



а

б

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

Рис. 24. Жатки для уборки кукурузы с валкообразователем.

Современные зерноуборочные комбайны измельчают и распределяют *солому* по поверхности поля. Но иногда при применении зерноуборочных комбайнов с обычными жатками для уборки кукурузы может возникнуть необходимость дополнительного измельчения ПП. Тогда применяют стандартные мульчирователи, агрегатированные с трактором, которые измельчают стерню и разбрасывают биомассу по полю, что предусмотрено в технологии заготовки ПП кукурузы №4 (Табл. 10). Для формирования валков используются грабли, агрегатированные с трактором (Рис. 25). С их помощью также можно сдваивать валки. Для работы со стеблями кукурузы грабли должны быть оборудованы более крепкими пальцами, чем для сена.



Рис. 25. Формирование валков биомассы граблями Vermeer VR2040.

Рассмотренные выше технологии заготовки ПП кукурузы на зерно выполняются последовательно и поэтому требуют несколько дополнительных проходов техники по полю, что уплотняет почву. Поэтому в последние годы внедряется новая система сбора биомассы – однопроходная (технология №1, Табл. 10). В ней комбайн агрегируется с пресс-подборщиком (Рис. 26). Тюки или рулоны формируются из растительной массы, которая

прошла молотильно-сепарационную систему комбайна, в основном, это стержни и обертки початков. Несмотря на многочисленные преимущества, однопроходная система имеет существенное ограничение – влажность биомассы, при которой пресс-подборщик может выполнять операцию тюкования. Учитывая меньшую влажность зерна кукурузы по сравнению с другими частями растения, ПП может быть непригодной для тюкования, тогда как биомасса в валках при благоприятной погоде может подсушиться.



Рис. 26. Однопроходная система: а – Hillco для тюкования в рулоны; б – AGCO Challenger для формирования прямоугольных тюков

Технология заготовки ПП кукурузы №5 (Табл. 10) предусматривает применение зерноуборочного комбайна с кукурузной жаткой и подборщиком стержней и оберток початков (Рис. 27). Далее биомасса перегружается в автомобильный или тракторный прицеп и насыпью перевозится на место хранения.



Рис. 27. Зерноуборочный комбайн с подборщиком качанов COBS HARVESTER Lafargue Bio Energy

На сегодняшний день в условиях Украины можно реализовать все пять технологий заготовки ПП кукурузы на зерно, но пока *однопроходные системы* комбайн с пресс-подборщиком на отечественном рынке сельскохозяйственной техники *не представлены*, а подборщики стержней и оберток початков для зерноуборочных комбайнов, мульчирователи и жатки с валкообразователями встречаются *редко*. Вместе с тем во многих отечественных хозяйствах уже имеется сельскохозяйственная техника, которая позволяет заготовить ПП кукурузы на зерно по технологии №4 *комбайн + трактор с мульчирователем + трактор с граблями + трактор с пресс-подборщиком* (Табл. 10).

Ценообразование на рынке побочной продукции растениеводства в условиях Украины

Важным аспектом устойчивого функционирования биоэнергетики является ценообразование на рынке биомассы. Для ПП в растениеводстве используются несколько возможных вариантов определения цены:

- закупочная цена устанавливается перерабатывающим предприятием;
- цена определяется по кормовой ценности;
- цена определяется по стоимости эквивалентных доз минеральных удобрений для замены питательных элементов в биомассе, а также с учетом экономии агропроизводителя на технологических операциях по управлению растительными остатками [26].

В Украине в настоящее время цена на ПП кукурузы на зерно формируется индивидуально по договоренности между продавцом и покупателем. Для обеспечения устойчивого развития растениеводства целесообразно при определении базовой цены учитывать стоимость минеральных удобрений для эквивалентной замены питательных элементов в растительных остатках, которые отчуждаются [14]. Например, в Табл. 13 приведены результаты расчетов стоимости с.в. ПП кукурузы на зерно по эквивалентной стоимости минеральных удобрений (простых и комплексных); также учтена возможность возвращения в поле золы, которая является ценным калийно-фосфорным удобрением.

Таблица 13. Определение стоимости питательных элементов в ПП (с.в.) кукурузы на зерно

Пита- тельный элемент	Содержание пита- тельных элементов в ПП (с.в.) [27], %	Стоимость питательного элемента в минеральных удобрениях, грн./кг	Стоимость питательных элементов в ПП (с.в.), грн./т	Содержание пита- тельных элементов в золе ^{4,5} , %	Стоимость пита- тельных элементов в золе ПП, грн./т	Общая стоимость ПП (с.в.), грн./т	
						без возврата золы	зола возвра- щается в поле
Вариант 1. Использование простых минеральных удобрений							
N	0,7	17,61 ¹	132,07	–	–	–	–
P ₂ O ₅	0,3	28,87 ²	86,62	4,88	71,29	86,62	15,32
K ₂ O	1,6	15,81 ³	259,23	11,84	94,70	259,23	164,53
ВСЕГО			477,91		165,99	345,85	179,85
Вариант 2. Использование комплексных минеральных удобрений							
1 д.в.	2,69	21,25⁶	571,63	16,72	179,78	448,36	232,47
Примечание:							
¹ – карбамид (N-46%);							
² – суперфосфат двойной (NP (S) 10:32 (20));							
³ – калий хлористый (K-62%);							
⁴ – химический состав золы соломы, сожжённой в котле с подвижной колосниковой решеткой (подовая зола) ¹⁸ ;							
⁵ – содержание золы в сухой массе 5,06% (Табл. 10);							
⁶ – нитроаммофоска (NPK 16:16:16).							

¹⁸ <http://www.ieabcc.nl>

Следует отметить, что содержание питательных элементов в ПП зависит от многих факторов и может колебаться в широком диапазоне. Так, согласно работе [17], оно может составлять 0,32-1,67% N, 0,045-0,36% P₂O₅ и 0,54-1,45% K₂O. А по исследованиям компаний Monsanto и ADM, среднее содержание N составляет 0,73%, P₂O₅ – 0,24% и K₂O – 0,82%, что меньше, чем данные отечественного справочника [27], которые использованы в расчетах (Табл. 13).

В оценках желательно учитывать виды минудобрений, которые применяет агропроизводитель. При использовании простых минеральных удобрений (вариант 1: карбамид, суперфосфат двойной и калий хлористый) ориентировочная стоимость питательных элементов в ПП кукурузы на зерно на январь 2016 г. составляет 179,85 грн./т. Это на 22,5% меньше по сравнению со случаем применения комплексных минеральных удобрений (вариант 2: нитроаммофоска), в котором стоимость питательных элементов в ПП составляет 232,47 грн./т. Также следует учитывать, что ПП разлагается длительное время, что замедляет усвоение питательных веществ растениями. За 2,5-4 месяца разлагается до 46% соломы, за 1,5-2 года – до 80%, остальные – позже. Для быстрого разложения ПП необходимо вносить дополнительные дозы азотных удобрений. При прикапывании соломы рекомендуется вносить в почву 10-12 кг действующего вещества азота на каждую ее тонну [6]. Эти дозы азота превышают содержание азота в растительных остатках, поэтому в обобщенной стоимости ПП, в соответствии с рекомендациями [28], содержание в них азота не учитывается.

Графическая зависимость изменения цены ПП кукурузы на зерно от ее влажности для обоих вариантов изображена на Рис. 28. С увеличением влажности (W) уменьшается масса сухого вещества в 1 т биомассы, а поэтому снижается ее стоимость.

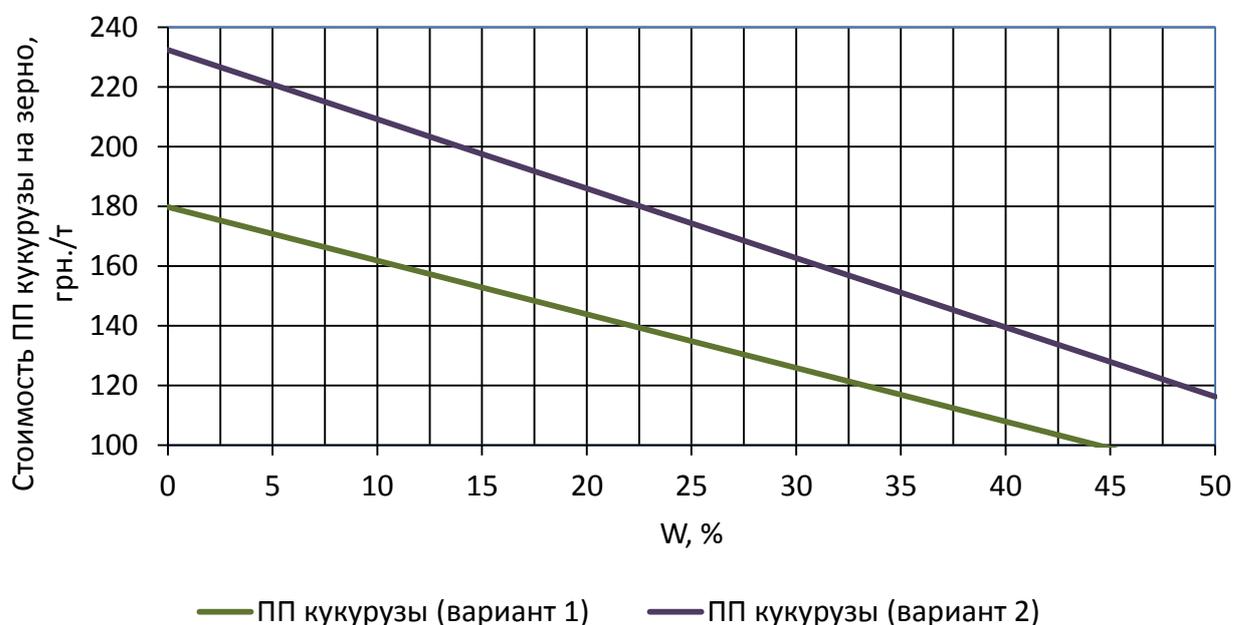


Рис. 28. График зависимости стоимости ПП кукурузы на зерно от ее влажности

Итак, при заготовке ПП кукурузы влажностью 20% ее ориентировочная стоимость составляет 143,88 грн./т при использовании минудобрений по варианту 1 и 185,97 грн./т – по варианту 2. При влажности 30% стоимость составляет 125,90 и 162,73 грн./т, соответственно.

Затраты на выращивание и сбор кукурузы на зерно

С целью оценки расходов составлена технологическая карта выращивания кукурузы на зерно для сельскохозяйственного предприятия Киевской области в зоне Лесостепи в 2015 г. Выходные данные: площадь посева 119 га; нормы внесения минеральных удобрений: нитроаммофоска – 200 кг/га, аммиачная селитра – 200 кг/га; органические удобрения – 30 т/га навоза КРС; средства защиты растений: Харнес – 3 л/га и Мастер – 0,15 кг/га. Культура-предшественник – соя. Основная обработка почвы – вспашка.

Структура удельных затрат на гектар по статьям при плановой урожайности зерна кукурузы 70 ц/га изображена на **Рис. 29а**, а структура по с/х операциям – на **Рис. 29б**. Больше всего средств необходимо потратить на закупку минеральных удобрений – 30% от общих расходов (по статьям). Основная обработка почвы занимает 9% в структуре расходов (по с/х операциям), а использование минимальных технологий обработки почвы по сравнению с традиционной вспашкой позволяет уменьшить себестоимость зерна кукурузы на 2,6-4,5%.

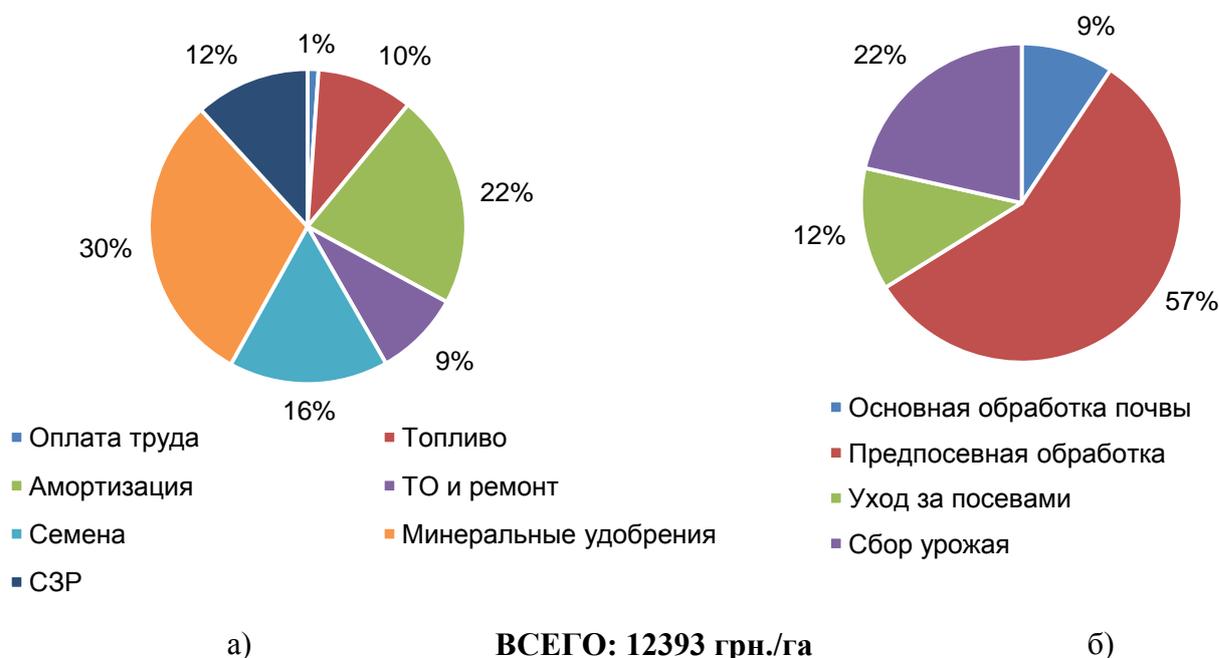


Рис. 29. Структура приведённых денежных затрат на выращивание кукурузы при урожайности зерна 70 ц/га: а – по статьям затрат; б – по группам технологических операций

Расходы и чистая прибыль (на гектар) от выращивания кукурузы на зерно в зависимости от урожайности изображены на **Рис. 30**. Принятая закупочная цена зерна кукурузы – 3180 грн./т. Следовательно, уменьшение урожайности зерна с 70 до 40 ц/га уменьшает прибыль производителя при реализации основной продукции с 9867 грн./га до 1338 грн./га. В 2015 г. предварительные данные по средней урожайности кукурузы на зерно по Киевской области составляют 60 ц/га¹⁹, что соответствует 54% рентабельности для рассматриваемой технологической карты.

¹⁹ <http://latifundist.com/urojai>

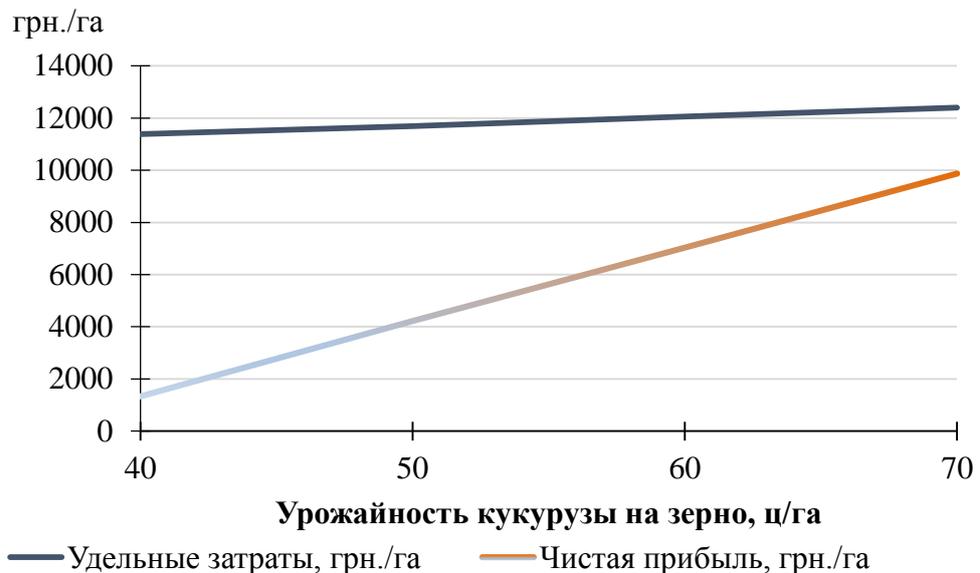


Рис. 30. Зависимость затрат и прибыли выращивания кукурузы на зерно от урожайности

Вместе с тем, кроме продажи основной продукции (зерна) выращивание кукурузы позволяет агропроизводителям получить дополнительный доход от реализации побочной продукции.

Определение допустимой доли отчуждения побочной продукции кукурузы на зерно для условий Украины

Анализ практического опыта стран Европы по доле растительных отходов сельского хозяйства, доступных для производства энергии, и исследований, проведенных украинскими специалистами, приведены в Аналитической записке БАУ №7 «Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине» [16]. Согласно этому анализу, сформирована такая позиция БАУ:

1. Вопрос о *доле* соломы и других растительных остатков, которые могут быть использованы для производства энергии или биотоплива, необходимо решать *индивидуально* для каждого хозяйства. При этом должны быть учтены все важные агроэкономические факторы.

2. Для Украины в целом можно предложить лишь *общие* рекомендации относительно доли соломы и других растительных остатков, доступных для использования в качестве топлива, с учетом собственных нужд сельского хозяйства. В частности, рекомендуется *использовать до 30% теоретического потенциала соломы зерновых культур и до 40% теоретического потенциала отходов производства кукурузы на зерно и подсолнечника.*

Рассмотрим более подробно дифференцированный подход оценки доли ПП кукурузы на зерно, которую можно отчуждать для энергетических нужд, на примере рассмотренного выше сельскохозяйственного предприятия Киевской области в зоне Лесостепи.

Для устойчивого развития сельского хозяйства важно соблюдать агрохимический закон возвращения питательных веществ, согласно которому элементы питания, что отчуждены с урожаями сельскохозяйственных культур, должны быть возвращены в почву. Одним из основных мер контроля является определение *баланса гумуса и питательных веществ* в

земледелии. При этом рассчитывают и сравнивают статьи поступления элементов питания в почву и выноса их урожаем, а также потерь из почвы. В расчетах используют составляющие этих статей, основываясь на экспериментальных справочных данных. Чаще всего в статью поступлений включают органические и минеральные удобрения, мелиоранты²⁰, пожнивно-корневые остатки, семена, биологическую фиксацию азота, поступившего с атмосферными осадками. Статья потерь формируется за счет выноса питательных веществ урожаем, эрозионных потерь, вымывания, выветривания в атмосферу [10, 29]. Расчет баланса основных питательных веществ и гумуса проведем по методическим указаниям по охране почв [30].

Расчет баланса основных питательных веществ (N, P₂O₅, K₂O)

Статьи поступления питательных веществ

- с минеральными удобрениями (Q₁):

По технологической карте в хозяйстве планируется внести нитроаммофоску (N16P16K16) – 200 кг/га, аммиачную селитру (N34,4) – 200 кг/га. Итак, поступление питательных веществ в кг д.в. N, P₂O₅, K₂O на гектар составляют:

$$Q_{1(N)} = 100,8 \text{ кг/га}, Q_{1(P2O5)} = 32 \text{ кг/га}, Q_{1(K2O)} = 32 \text{ кг/га};$$

- с органическими удобрениями (Q₂):

При среднем содержании питательных веществ в навозе N – 0,5 %, P₂O₅ – 0,25 % и K₂O – 0,6 %, внесение 30 т/га навоза КРС обеспечит поступления:

$$Q_{2(N)} = 150 \text{ кг/га}, Q_{2(P2O5)} = 75 \text{ кг/га}, Q_{2(K2O)} = 180 \text{ кг/га};$$

- с атмосферными осадками (Q₃):

Условно считают, что в Лесостепи за счет осадков поступает N 10 кг/га (Q_{3(N)} = 10 кг/га), а величины поступлений Q_{3(P2O5)} и Q_{3(K2O)}, учитываются при наличии данных. Будем считать, что вблизи полей нет промышленных предприятий, которые выбрасывают в атмосферу соответствующие вещества, и отсутствуют данные относительно попадания фосфора в почву с осадками;

- с семенами (Q₄):

При норме высева семян 24 кг / га и среднем содержании в зерне кукурузы N – 1,9 %, P₂O₅ – 0,57 % и K₂O – 0,37 %, поступление питательных веществ составят:

$$Q_{4(N)} = 0,46 \text{ кг/га}, Q_{4(P2O5)} = 0,14 \text{ кг/га}, Q_{4(K2O)} = 0,09 \text{ кг/га};$$

- симбиотическая азотфиксация²¹ (Q₅):

Учитывая, что предшественник – соя, относится к зернобобовым, которые являются культурами-азотфиксаторами, на 1 ц основной продукции фиксируется 2,5 кг N. Учитывая, что средняя урожайность сои в 2014 г. в Киевской области составляла 21,9 ц/га, соответствующее поступление азота составляет Q_{5(N)} = 55 кг/га;

- несимбиотическая азотфиксация²² (Q₆):

²⁰ Мелиоранты – вещества, которые используются для проведения мероприятий улучшения почв с неблагоприятными химическими и физическими свойствами.

²¹ Симбиотическая азотфиксация – поглощение атмосферного азота микроорганизмами, живущими в симбиозе с бобовыми и некоторыми небобовыми растениями.

²² Несимбиотическая азотфиксация – поглощение атмосферного азота свободноживущими почвенными микроорганизмами.

Условно считается, что поглощение атмосферного азота и превращение его в органическую форму почвенными микроорганизмами в Лесостепи составляет ($Q_{6(N)} = 10$ кг/га).

Суммарное поступление азота, фосфора и калия составляет:

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

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

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

Статьи потерь питательных веществ:

- с урожаем сельскохозяйственных культур (V_1):

Для определения потерь питательных веществ с/х культурами используем средние показатели выноса питательных веществ урожаем кукурузы на 1 ц продукции согласно работе [30, табл. 2.2]. Результаты расчетов в зависимости от урожайности приведены в **Табл. 14**.

Таблица 14. Вынос питательных веществ основной и побочной продукцией кукурузы, кг

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

- с сорняками (V_2):

Исходя из того, что при выращивании кукурузы на зерно применяются интенсивные агротехнологии, потерями питательных веществ от выноса сорняками пренебрежем;

- с ирригационными водами (V_3) питательные вещества теряются из-за вымывания, но эти потери учитываются только на орошаемых землях, поэтому в расчетах для условий Киевской области не будем их учитывать;

- за счет эрозии (V_4):

Средние потери элементов питания на слабоэродированных почвах составляют:

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

- за счет денитрификации (V_5):

Потери азота за счет денитрификации при нормах более 60 кг N/га составляют 20%, поэтому $V_{5(N)} = 20,16$ кг/га.

Суммарные потери азота, фосфора и калия при плановой урожайности зерна кукурузы 70 ц/га составляют:

$$V_{(N)} = V_{1(N)} + V_{4(N)} + V_{5(N)} = 168,7 + 18 + 20,16 = 206,86 \text{ кг/га};$$

$$V_{(P_{2O5})} = V_{1(P_{2O5})} + V_{4(P_{2O5})} = 60,2 + 5 = 65,2 \text{ кг/га};$$

$$V_{(K_{2O})} = V_{1(K_{2O})} + V_{4(K_{2O})} = 156,8 + 12 = 168,8 \text{ кг/га}.$$

Таким образом, рассчитанный баланс азота, фосфора и калия при плановой урожайности зерна кукурузы 70 ц/га составляет:

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

$$B_{(P2O5)} = Q_{(P2O5)} - V_{(P2O5)} = 107,14 - 65,2 = 41,94 \text{ кг/га};$$

$$B_{(K2O)} = Q_{(K2O)} - V_{(K2O)} = 212,09 - 168,8 = 43,29 \text{ кг/га}.$$

Положительный баланс основных питательных веществ свидетельствует о возможности отчуждения части побочной продукции. Учитывая вынос питательных элементов с урожаем ПП кукурузы на зерно N – 0,69 кг/ц, P₂O₅ – 0,21 кг/ц, K₂O – 1,42 кг/ц, определим количество биомассы, которую можно отчуждать при условии обеспечения бездефицитного баланса питательных веществ:

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

Итак, для рассматриваемых условий можно забрать с поля **30,5 ц/га** ПП кукурузы на зерно, что составляет **33,5%** от всего объема ПП. Увеличить долю отчуждения ПП до 100% можно за счет увеличения нормы внесения калийных удобрений. Основными статьями поступления питательных элементов является внесение минеральных (15-31%) и органических удобрений (46-85%), а статьями расходов – вынос питательных веществ основной и побочной продукцией кукурузы (82-93%).

Расчет баланса гумуса

Расчет поступления гумуса

- гумификация пожнивно-корневых остатков (Q_1):

Количество образованного гумуса в т/га рассчитаем по формуле:

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

где $U = 7 \text{ т/га}$ – урожайность кукурузы на зерно;

$k_p = 1,3$ – коэффициент накопления пожнивно-корневых остатков относительно урожая зерна кукурузы;

$k_g = 0,2$ – коэффициент гумификации остатков кукурузы на зерно в Лесостепи.

- гумификация органических удобрений (Q_2):

Учитывая, что коэффициент гумификации подстилочного навоза в Лесостепи составляет 0,054, при норме внесения навоза 30 т/га, количество гумуса, который образовался из навоза:

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

Общее поступление гумуса составляет:

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

Расчет потерь гумуса

- минерализация гумуса (V_1):

Величину минерализации гумуса (в т/га) определяют через общее количество гумуса в пахотном слое, степень его устойчивости при различных системах обработки и климатических условиях. Рассчитывается по формуле:

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

где $G = 3,2 \%$ – содержание гумуса в почве;

$h = 30 \text{ см}$ – глубина пахотного слоя;

$d_v = 1,1 \text{ г/см}^3$ – плотность почвы;

$k_m = 0,0108$ – коэффициент минерализации гумуса;

$k_k = 1,065$ – относительный индекс биологической продуктивности.

- потери гумуса от эрозии (V_2):

Потери гумуса в результате эрозии (в т/га) определим по уравнению:

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

где $B_e = 10$ т/га – потери гумуса под влиянием эрозии в Лесостепи при крутизне склона до 2^0 .

Общие потери гумуса составляют:

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

Итак, баланс гумуса составляет:

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

Баланс гумуса положительный, и учитывая, что потери гумуса меньше, чем его поступления с гумификации навоза, можно отчуждать *всю* ПП при плановой урожайности зерна кукурузы 70 ц/га. Если же *навоз не вносится*, то потери гумуса 1,53 т/га необходимо *перекрыть* за счет использования части ПП в качестве органических удобрений. В таком случае необходимо оставить **7,65 т/га** ПП кукурузы на зерно, что составляет **83%** всего объема ПП. А забрать с поля можно, соответственно, только **17%**. Для получения более точного результата необходимо рассчитывать баланс питательных веществ и гумуса для всего севооборота.

Надо отметить, что в Украине в с/х преобладает растениеводство, и объемы внесения органических удобрений, в частности, навоза, в последние годы существенно *уменьшились*. Так, по данным Государственной службы статистики Украины, в 2014 г. в Киевской области на гектар посевной площади внесли 1,7 т/га²³ органических удобрений, тогда как в 1985 г. – 12 т/га [10]. А рекомендованные для бездефицитного баланса гумуса нормы внесения навоза составляют **6-8** т/га [30]. Многие агропроизводителей не вносят навоза вообще, а запасы гумуса пополняют только за счет пожнивных остатков. Как было показано выше, в таком случае при использовании компенсирующих доз минеральных удобрений на относительно ровных полях с крутизной склона до 2^0 , которые являются слабоэродированными, необходимо для поддержания баланса гумуса оставлять 7,65 т/га ПП кукурузы на зерно, а остальную биомассу можно отчуждать.

При использовании системы минимальной обработки почвы или No-till, а также противоэрозионных мероприятий, потери от эрозии существенно уменьшаются и приближаются к нулю. При отсутствии потерь гумуса от эрозии необходимо оставить и использовать как органические удобрения **6,05** т ПП кукурузы на зерно, что обеспечит поступление гумуса 1,21 т/га, а провести отчуждение можно **3,05** т ПП (**33,5%**).

С увеличением урожайности кукурузы на зерно увеличиваются объемы ПП для отчуждения в рассматриваемом с/х предприятии (**Рис. 31**). Таким образом, если в качестве органических удобрений используются только растительные остатки, 40% ПП можно забирать из полей при урожайности кукурузы на зерно от **80 ц/га** для минимальной технологии и No-till и от **100 ц/га** при вспашке.

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

По данным ННЦ «ИГ имени А.Н. Соколовского»²⁴, фактический баланс гумуса в случае внесения 0,4-0,5 т/га органических удобрений на 1 га посевной площади, которая наблюдается в Украине в последние годы, без внесения нетоварной части урожая составляет – **1,22 т/га**. Для того, чтобы обеспечить бездефицитный баланс гумуса необходимо оставить и использовать как органические удобрения **6,1 т/га** ПП кукурузы на зерно, которая образуется при урожайности основной продукции **47 ц/га**. Итак, урожайность кукурузы на зерно 47 ц/га является минимальной для оценки объемов отчуждения ПП. С ростом урожайности кукурузы увеличиваются и объемы побочной продукции, которые можно отчуждать для энергетических нужд.

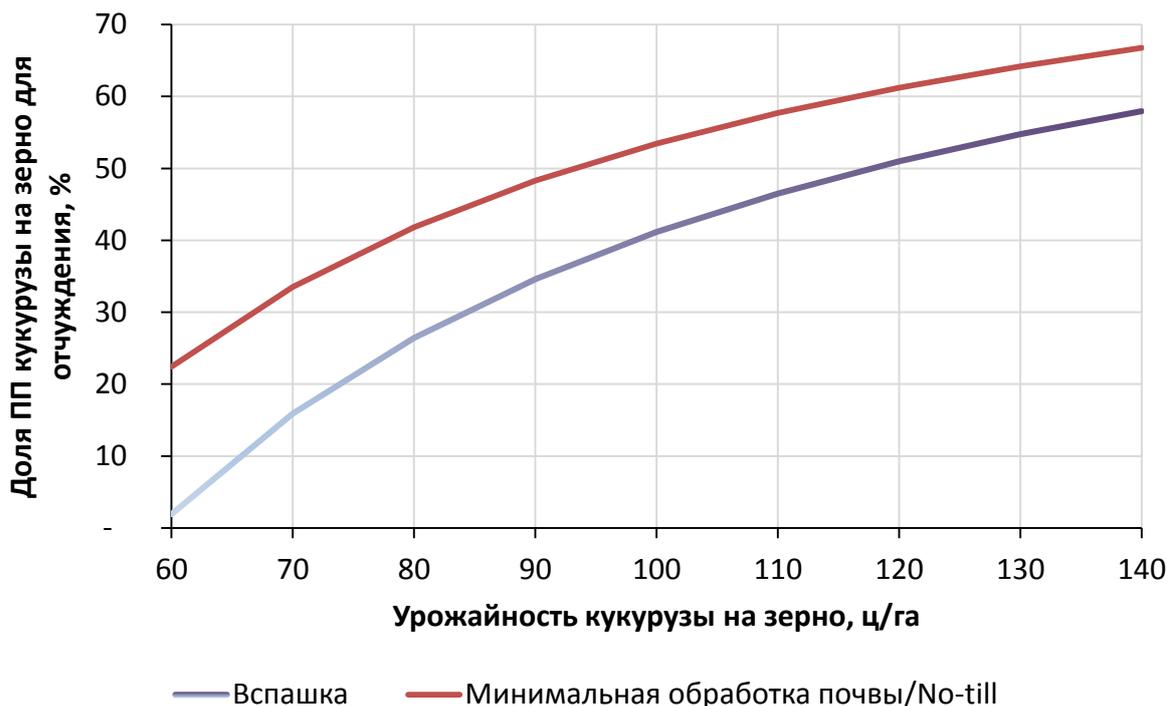


Рис. 31. Зависимость доли отчуждения ПП кукурузы от урожайности зерна на с/х предприятиях Киевской области (при использовании в качестве органических удобрений только растительных остатков)

Таким образом, при фактической средней урожайности кукурузы на зерно в Украине в 2014 г. 61,6 ц/га, образуется 8,0 т/га ПП. Из этого объема **можно отчуждать на энергетические нужды не более 24%**, что в целом по стране составляет 8891 тыс. т биомассы (около 4 млн. т у.т.). Такая оценка является достаточно приближенной, учитывая значительные отклонения в урожайности, различные нормы внесения удобрений, агротехнологические приемы, экономически обоснованные объемы заготовки ПП и другие особенности растениеводства.

Следовательно, доля ПП кукурузы на зерно для отчуждения и дальнейшего энергетического использования определяется, в основном, *урожайностью*, но ее можно *регулировать* путем внесения обоснованных норм минеральных и органических удобрений и применения соответствующих агротехнологических мероприятий.

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

Оценка затрат на заготовку побочной продукции кукурузы на зерно в условиях Украины

Расходы на заготовку ПП кукурузы на зерно определены для технологии **№4 комбайн + трактор с мульчирователем + трактор с граблями + трактор пресс-подборщиком** (см. Табл. 10), которую можно внедрить, используя имеющуюся в хозяйствах Украины технику. В расчетах использованы результаты исследования сбора соломы кукурузы из работы [12]. Перечень и технико-экономические характеристики технических средств приведены в Табл. 15.

В варианте 1 урожайность зерна кукурузы была 9,0 т/га при влажности 24,2-27,6%, а в варианте 2 – 8,5 т/га при влажности 22-23%. Была достигнута плотность прессования рулонов 163,13 кг/м³ при влажности биомассы 25,8% (вариант 1) и для тюков – 266,42 кг/м³ при влажности 28,4% (вариант 2). Средняя линейная масса валка в варианте 1 наблюдалась от 1,18 до 2,84 кг/м и в варианте 2 – от 3,56 до 4,62 кг/м [12]. В 1-м варианте отчуждалось 3,3 т/га ПП кукурузы на зерно влажностью 26,7%, во 2-м варианте – 7,1 т/га при влажности 28,7%.

Таблица 15. Техничко-экономические характеристики машин для уборки ПП кукурузы [12]

Наименование	Показатель	Ед. измер.	Машинно-тракторные агрегаты		
			Мульчирование	Сгребание	Тюкование
Вариант 1			MT3-82 + RZ 1,5	MT3-82 + ПЗК 5	MT3-82 + Claas Rollant 66
	Площадь	га/час	1,3	3,59	–
	Продуктивность	т/час	–	–	10,0
		шт./час	–	–	21
Затраты топлива	л/час	13,6	10,09	16,09	
Вариант 2			Krone BIG M + Perfect	McCormick CX 90 XL + ПЗК 5	Atles 936 RZ + Claas Quadrant 2200 RC
	Площадь	га/час	4,09	3,59	–
	Продуктивность	т/час	–	–	37
		шт./час	–	–	74
Затраты топлива	л/час	36,0	10,09	61,28	

Учтем, что готовые тюки/рулоны по двум вариантам собираются телескопическим погрузчиком и загружаются в грузовые автомобили [31], которые транспортируют биотопливо на склад (на расстояние до 30 км). Разгрузка транспортных средств и складирования тюков/рулонов осуществляется также телескопическим погрузчиком.

Рассчитанная структура затрат на заготовку и транспортировку ПП кукурузы изображена на Рис. 31. Наибольшие средства тратятся на тюкование – 152 грн./т для рулонов (32% общих расходов, вариант 1) и 186 грн./т для тюков (42%, вариант 2). Общие расходы на

уплотнение, заготовку и перевозку биомассы в варианте 1 составили *472 грн./т*, в варианте 2 – *445 грн./т*.



Рис. 31. Структура затрат на заготовку ПП кукурузы на зерно и транспортировку на склад по технологическим операциям

Цена питательных элементов в биомассе при использовании простых минеральных удобрений при условии возврата золы в поле по вариантам 1 и 2 составляет, соответственно, *132 грн./т* и *128 грн./т*. Таким образом, при добавлении затрат на заготовку и транспортировку ПП, **себестоимость биотоплива** на складе составляет *604 грн./т* при теплотворной способности 12 МДж/кг (вариант 1) и *573 грн./т* при 11,7 МДж/кг (вариант 2). В 1-м варианте удельная стоимость энергии в биотопливе составляет *50,3 грн./ГДж*, а во 2-м – *49,0 грн./ГДж*.

Рекомендации для заготовки побочной продукции кукурузы на зерно в Украине

Можно определить следующие **барьеры**, которые препятствуют широкому внедрению практики заготовки ПП кукурузы в условиях Украины:

1. более низкая урожайность кукурузы на зерно по сравнению с ведущими аграрными странами;
2. не отработана методика определения количества растительных остатков, которые можно вывезти из полей при соблюдении устойчивости сельскохозяйственного производства;
3. широкое использование традиционной технологии обработки почвы;
4. изменения климата вызывают изменения в агротехнологии и необходимость применения орошения для обеспечения стабильно высокой урожайности, что связано с дополнительными затратами средств;
5. дождливая погода в период уборки кукурузы препятствует заготовке ПП;
6. отсутствует устойчивый рынок ПП кукурузы на зерно. Покупателям и продавцам трудно договориться о цене;
7. не развита логистическая инфраструктура;

8. недостаточный выбор специализированных машин для заготовки ПП кукурузы на зерно на рынке Украины. Единичные машины импортного производства очень дорогие и не имеют надлежащего сервисного обслуживания и запасных частей;

9. обычная ширина междурядий в Украине составляет 70 см, тогда как в США – 76 см (30 дюймов), что требует адаптации американской агротехнологии и сельскохозяйственной техники.

Для *устранения* этих барьеров необходима реализация следующих мероприятий:

1. изучение и адаптация опыта США для условий Украины;
2. распространение информации о современных технологиях и оборудовании для заготовки и логистики ПП кукурузы на зерно. Сотрудничество с заводами-производителями сельскохозяйственной техники;
3. создание рынка биомассы как топлива;
4. создание специализированных заготовительно-логистических предприятий с мобильными заготовительными звеньями.

Также нужно обеспечить следующие *практические* подходы:

- проводить сбор ПП кукурузы на зерно в сухую погоду осенью и сухо-морозную погоду зимой;
- минимизировать попадание земли в тюки;
- технические средства для последовательного технологического процесса подбирают по соответствующей производительности техники;
- усиленные рабочие органы машин, которые взаимодействуют со стеблем кукурузы;
- влажность ПП кукурузы, которую собирают, должна быть до 30%, а желательно – до 20%;
- при длительном хранении на локальном складе на поле штабеля тюков накрывают пленкой или специальным укрывным материалом;
- наличие подъездных путей к локальному складу для движения автотранспорта;
- крытый центральный склад.

Наладить заготовку ПП кукурузы после зерноуборочного комбайна можно на базе *имеющейся* сельскохозяйственной техники: мульчирователь, грабли и пресс-подборщик. В случае приобретения *специализированной* техники, такой как жатка с валкообразователем, мульчирователь с валкообразователем, уменьшится необходимость дополнительных проходов техники по полю и улучшится качество биомассы за счет меньшей зольности.

Для определения объемов отчуждения ПП кукурузы на зерно агропроизводители могут использовать приведенный в **Табл. 16 алгоритм**. В общем случае ПП кукурузы на зерно *рекомендуется* собирать агропроизводителям, расположенным в Лесостепной или Полесской зоне, которые используют минимальную обработку почвы или No-till без внесения органических удобрений или любую технологию обработки почвы при внесении органических удобрений, применяют повторное выращивание кукурузы на одних полях, имеют в наличии лесозащитные полосы и получают высокие урожаи кукурузы на зерно: более 80 ц/га. Другие агропроизводители могут отчуждать ПП при условии обеспечения

баланса гумуса и питательных элементов, а также при предотвращении эрозии и негативного влияния на характеристики почвы.

Таблица 16. Порядок определения объемов ПП кукурузы на зерно для отчуждения

Условия	Ограничения	
	Минимальное	Максимальное
Агроклиматическая зона	Лесостепь, Полесье	Степь
Севооборот	повторная кукуруза	после подсолнечника и сахарной свеклы
Урожайность основной продукции	больше 80 ц/га	меньше 80 ц/га
Влага	степень влагообеспечения в корнесодержащем слое почвы более 60%	меньше 30 мм осадков в месяц
Эрозия	наклон поверхности поля до 4 ⁰ , наличие защитных лесополос	наклон поверхности поля более 4 ⁰
Технология обработки почвы	No-till, минимальная	вспашка
Удобрения	органические и минеральные	только минеральные
Баланс гумуса	позитивный	негативный
Погодные условия во время уборки кукурузы на зерно	сухая погода	сильные осадки

Выводы

Производство кукурузы на зерно в мире по валовому сбору (*1008,8 млн. т в 2014/2015 МГ*) занимает лидирующую позицию среди других сельскохозяйственных культур. Урожайность кукурузы постоянно растет за счет использования новейших достижений аграрной науки (например, в США с 2000 г. – *на 2% ежегодно*) и составила 107,3 ц/га в 2014 г. В Украине средняя урожайность составила 61,6 ц/га в 2014 г., и она имеет значительный потенциал для повышения. При этом надо отметить, что некоторые отечественные хозяйства за счет использования современных гибридов и высокой агротехнологии уже получают урожаи на уровне ведущих стран.

Кроме основной продукции – зерна, кукуруза формирует значительные объемы побочной продукции, которая является ценным сырьем для производства различных видов продукции, в частности биотоплива. *Отношение массы ПП к зерну составляет 1,3.* По данным 2014 г., масса побочной продукции кукурузы на зерно в Украине составляла *37 млн. т.* Учитывая, что для обеспечения бездефицитного баланса гумуса необходимо оставить и использовать как органические удобрения *6,1 т/га* ПП кукурузы на зерно, образующиеся при урожайности зерна кукурузы *47 ц/га*, *24%* побочной продукции могло быть отчуждено на энергетические потребности в 2014 г. Это составляет *8,9 млн. т биомассы*, что может заместить *3,45 млрд.м³* природного газа. Итак, урожайность кукурузы на зерно *47 ц/га является минимальной* для оценки объемов отчуждения ПП. С ростом урожайности

кукурузы увеличиваются и объемы побочной продукции, которые можно отчуждать для энергетических нужд.

В мире есть опыт промышленной заготовки побочной продукции кукурузы на зерно. Так, в США один только завод по производству биоэтанола из лигноцеллюлозного сырья компании DuPont (г. Невада штата Айова) способен переработать **375 тыс. т кукурузной соломы** ежегодно. При этом отчуждение биомассы осуществляется на принципах устойчивого развития при выполнении условий и рекомендаций Службы охраны природных ресурсов Министерства сельского хозяйства США.

При определении объемов заготовки ПП кукурузы на зерно в условиях Украины необходимо учитывать баланс гумуса и питательных элементов, избегать таких последствий, как эрозия и ухудшение характеристик почвы.

В последние годы, в результате повышения цен на энергоресурсы, аграрии начали отрабатывать технологии заготовки ПП кукурузы на зерно, основанные на применении современного оборудования, в частности высокопроизводительных пресс-подборщиков. Можно ожидать, что объемы использования ПП кукурузы на зерно в секторе энергетики будут расширяться, учитывая, что она имеет лучшие топливные характеристики, чем солома зерновых колосовых культур. В частности, по **показателям плавкости золы, кукурузная солома приближается к древесной биомассе.**

Заготавливать ПП кукурузы на зерно для энергетического использования необходимо в период, когда влажность биомассы уменьшается до 20%. Необходимо координировать планы выполнения работ уборочной кампании с прогнозом погоды. Важными факторами для обеспечения надлежащего качества биомассы является правильно подобранные технология и оборудование.

Согласно приведенным в данной аналитической записке рекомендациям можно определить объемы отчуждения побочной продукции кукурузы на зерно, выбрать технологию и оборудование.

ЛИТЕРАТУРА

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
12. L. Kocsis, Z. Hudoba and T. Vojtela Investigation of the maize stalk gathering for energetic use 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 in Standing Corn Stalks / С. 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
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
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
26. David Ertl Sustainable corn stover harvester 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.Гелетука. – К.: «Поліграф плюс», 2015. – 72 с.

Условные обозначения

АПК – агропромышленный комплекс;

БМ – биомасса;

д.в. – действующее вещество;

З – зерно;

ЗСС – зерно-стержневая смесь;

КРС – крупный рогатый скот;

л.с. – лошадиная сила;

ЛС – листья;

МГ – маркетинговый год;

н/д – нет данных;

ОК – обертка початка;

ОУ – органический углерод;

ПП – побочная продукция;

ПЧ – початки;

с.в. – сухое вещество;

СМ – сухая масса;

СН – стержни;

СТ – стебли;

с/х – сельское хозяйство;

ТО – техническое обслуживание;

ФАР – фотосинтетически активная радиация.

Предыдущие публикации БАУ

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

1. Аналитическая записка БАУ №1 (2012) «Место биоэнергетики в проекте обновленной Энергетической стратегии Украины до 2030 года».
2. Аналитическая записка БАУ № 2 (2013) «Анализ Закона Украины «О внесении изменений в Закон Украины «Об электроэнергетике» №5485-VI от 20.11.2012».
3. Аналитическая записка БАУ № 3 (2013) «Барьеры для развития биоэнергетики в Украине».
4. Аналитическая записка БАУ № 4 (2013) «Перспективы развития производства и использования биогаза в Украине».
5. Аналитическая записка БАУ № 5 (2013) «Перспективы производства электрической энергии из биомассы в Украине».
- 6 Аналитическая записка БАУ № 6 (2013) «Перспективы производства тепловой энергии из биомассы в Украине».
7. Аналитическая записка БАУ № 7 (2014). «Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине».
8. Аналитическая записка БАУ № 8 (2014). «Энергетический и экологический анализ технологий производства энергии из биомассы».
9. Аналитическая записка БАУ № 9 (2014). «Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине».
10. Аналитическая записка БАУ № 10 (2014). «Перспективы выращивания и использования энергетических культур в Украине».
11. Аналитическая записка БАУ № 11 (2014). «Перспективы производства и использования биометана в Украине»
12. Аналитическая записка БАУ № 12 (2015) «Перспективы развития биоэнергетики как инструмента замещения природного газа в Украине».
13. Аналитическая записка БАУ № 13 (2015) «Анализ энергетических стратегий стран ЕС и мира и роли в них возобновляемых источников энергии».
14. Аналитическая записка БАУ № 14 (2016) «Анализ тарифообразования в секторе централизованного теплоснабжения стран Европейского Союза».
15. Аналитическая записка БАУ № 15 (2016) «Анализ дополнительных источников древесного топлива в Украине».

Общественный союз «Биоэнергетическая ассоциация Украины» (БАУ) был основан с целью создания общей платформы для сотрудничества на рынке биоэнергетики Украины, обеспечения наиболее благоприятных условий ведения бизнеса, ускоренного и устойчивого развития биоэнергетики. Общее учредительное собрание БАУ было проведено 25 сентября 2012 года в г. Киев. Ассоциация официально зарегистрирована 8 апреля 2013 года. Членами БАУ стали более 10 ведущих компаний и более 20 признанных экспертов, работающих в области биоэнергетики.

www.uabio.org

