

МОЖЛИВОСТІ ЗАГОТІВЛІ ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ В УКРАЇНІ. ЧАСТИНА 1

ДРАГНЄВ С.В. - к.т.н., доцент;
ЖЕЛЄЗНА Т.А. - к.т.н., с.н.с.;
ГЕЛЕТУХА Г.Г. - к.т.н., с.н.с.

Інститут технічної теплофізики НАН України, Біоенергетична асоціація України

Кукурудза – високоврожайна зернова культура різнобічного використання, ліквідна сировина не тільки для АПК, але й для інших галузей економіки, зокрема, для біоенергетики [1, 2]. Цінні властивості кукурудзи викликають стабільно високий попит на світовому ринку. За обсягом валового збору зерна кукурудза лідирує у світі, а з 1960 р. по 2014 р. спостерігається ріст на 405%, урожайності – 189% та приросту зібраної площі – 75% [3].

Основний світовий виробник кукурудзи на зерно – США, де у 2014/2015 маркетинговому році зібрали 361 млн. т (36,4% загальносвітового врожаю цієї культури) при середній врожайності 107,3 ц/га [3]. Найбільший валовий збір кукурудзи на зерно в Європі отримують в Україні. У 2014 р. за валовим збором кукурудзи на зерно лідирувала Полтавська область з 3380 тис. т, хоча це було тільки 82,8 % від врожаю 2013 р. Середня врожайність у Полтавській області у 2014 р. була на рівні 58,1 ц/га, тоді як у Вінницькій, Рівненській,

Сумській та Хмельницькій перевищувала 80 ц/га, а у Київській області – 79,2 ц/га [4].

При вирощуванні кукурудзи, крім основної продукції (зерна), утворюються значні обсяги побічної продукції – стебла, листя, обгортки та стрижні качанів, що можуть бути використані як сировина для виробництва біопалива і біогазу.

Відчуження побічної продукції рослинництва можливо лише за умови забезпечення захисту ґрунту від вітрової та водної ерозії, бездефіцитного балансу гумусу та поживних елементів [5]. У США для цього застосовується Біла книга «Вилучення рослинних решток для виробництва енергії: вплив на ґрунт та рекомендації», підготовлена Службою охорони природних ресурсів Міністерства сільського господарства, та спеціальне програмне забезпечення, що вважається найбільш практичним способом визначення кількості біомаси для безпечного відчуження [6]. Вітчизняні ж агровиробники (через брак спеціалізованих рекомендацій та

інструментів) визначають можливості використання побічної продукції рослинництва на власний розсуд, що часто не є раціональним, і навіть може завдати значної шкоди навколишньому середовищу.

У кукурудзи відношення маси побічної продукції до зерна залежить від багатьох факторів, у першу чергу, від гібриду, але у загальному випадку його можна приймати 1,3 згідно із рекомендаціями [2]. Співвідношення основних частин кукурудзи [7] відображено на рисунку 1.

Потенціал побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні у 2014 р. загалом становив 37046 тис. т, з яких найбільша частка, 4394 тис. т, припадала на Полтавську область (рисунком 2).

В Україні з побічної продукції кукурудзи на зерно переважно виробляють тверді біопалива: прямокутні й круглі тюки, гранули та брикети. Хоча були спроби застосування такої біомаси як субстрату для біогазових установок у тестовому режимі.

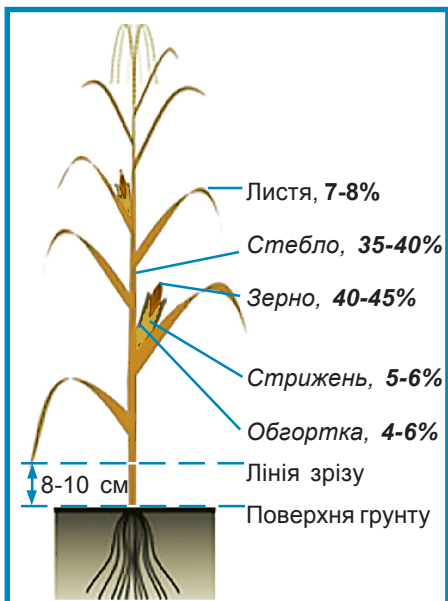


Рис. 1 Співвідношення основних частин кукурудзи.

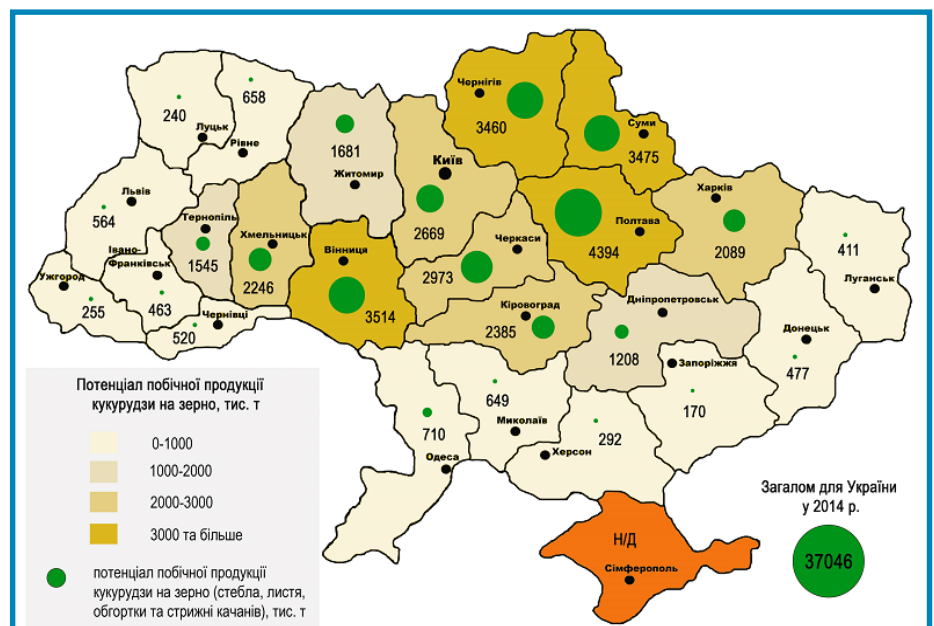


Рис. 2 Потенціал побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні (2014 р.).

При обмолоті качанів кукурудзи на стаціонарних пунктах збирають стрижні, з яких можна виробляти паливні гранули. Характеристики таких гранул, представлених на ринку України, наступні: діаметр 6-8 мм, вологість робоча 7,3%, зольність 2,6%, нижча теплота згорання 4168 ккал/кг (17,4 МДж/кг). Вартість гранул на кінець 2015 р. становила 1900 грн./т з ПДВ [8]. Також гранульоване і брикетоване біопаливо одержують з інших частин кукурудзи, які необхідно зібрати з поля і доставити на місце переробки. Деякі агровиробники вже провели модернізацію зерносушарок для використання тюкової соломи як палива, у тому числі соломи з кукурудзи. Характеристики кукурудзяної соломи, що складається зі стебел і листя, які залишаються після відокремлення качанів, наведені у таблиці 1.

Вміст золи у побічній продукції залежить від технології заготівлі, оскільки при контакті біомаси із ґрунтом її зольність збільшується. З огляду на це виділяють два типи золи: структурну та неструктурну [10]. Структурна зола складається з неорганічних речовин рослини, які залишаються після її спалювання. Звичайна зольність кукурудзяної соломи становить 3,5%. Неструктурова-

Таблиця 1.

Характеристики кукурудзяної соломи

Найменування показника	Значення для зразка		
	№704	№889	№241
Загальна волога, W _r , %	6,06	5,00	-
Зольність, A _d , %	5,06	7,35	3,7
Вихід летючих, V _{daf} , %	85,17	84,30	-
Вуглець, C _d , %	46,82	50,19	51,40
Водень, H _d , %	5,74	6,27	5,61
Азот N _d , %	0,66	0,60	0,62
Сірка S _d , %	0,11	0,12	-
Кисень O _d , %	41,36	42,82	43,41
Хлор, Cl _d , мг/кг	2661,3	0,0	-
Нижча теплота згорання, Q _r , МДж/кг	15,68	16,72	-
Вища теплота згорання, Q _{daf} , МДж/кг	19,06	20,50	18,48
Температури стадій плавкості золи, 0С:			
Деформація, IDT	-	1232	-
Півсфера, НТ	-	1500	-
Розтікання, FT	-	1500	-

Примітка: r - робочий стан палива; d - суха маса; daf - сухий беззольний залишок.

Таблиця 2.

Хімічний склад та деякі характеристики різних видів біомаси

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

Примітка: с.р. - суха речовина; W - вологість.

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

на зола – це неорганічні речовини (переважно ґрунт), що потрапляють до соломи під час збирання, зокрема, при формуванні валків та тюкуванні. Типовий повний вміст золи при багаторазовому проходженні сільськогосподарських машин при збиранні складає 8-10%.

За характеристиками плавкості золи, кукурудзяна солома наближається до деревної біомаси (для порівняння: у деревини температура плавлення золи складає близько 1200°C), що забезпечує кращі умови для спалювання порівняно із соломою зернових колосових культур.

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

За елементарним складом кукурудзяна солома майже не відрізняється від соломи зернових колосових, тому у них порівнювана теплотворна здатність. Властивості соломи сильно залежать від місця вирощування, періоду збирання та погоди, ґрунту й добрив [12]. Найбільше на теплотворну здатність біомаси кукурудзи впливає вологість (рисунок 3).

Вологість окремих частин кукурудзи неоднорідна. Стрижні качанів кукурудзи завжди вологіші (W 35-45%), ніж зерно (W 22-35%), але під час сушіння інтенсивніше випаровують вологу. Одразу після збирання вологість стебел знаходиться в межах 45-60% (теплота згорання 5-8 МДж/кг) [2]. Але належна технологія, що створює умови для продування біомаси вітром, дозволяє у полі зменшити W до 30% протягом 10 годин [7]. Також вологість побічної продукції дуже сильно залежить від часу збирання та погодних умов, а тому сильні опади у період збирання врожаю можуть призвести до недоцільності заготівлі біомаси для виробництва твердого біопалива. Таким чином, заготовляти побічну продукцію кукурудзи на зерно для енергетичного використання необхідно у період, коли вологість біомаси зменшиться до 20-30%, що приблизно настає після 150 днів від дати сівби.

Значні обсяги побічної продукції кукурудзи на зерно переробляють у США, зокрема, сучасні технології дозволяють отримувати з такої лігноцелюлозної біомаси біоетанол. Для цього сировина повинна відповідати ще більш жорстким вимогам до якості, ніж при виробництві твердого біопалива. Завод з виробництва біоетанолу з лігноцелюлоз-

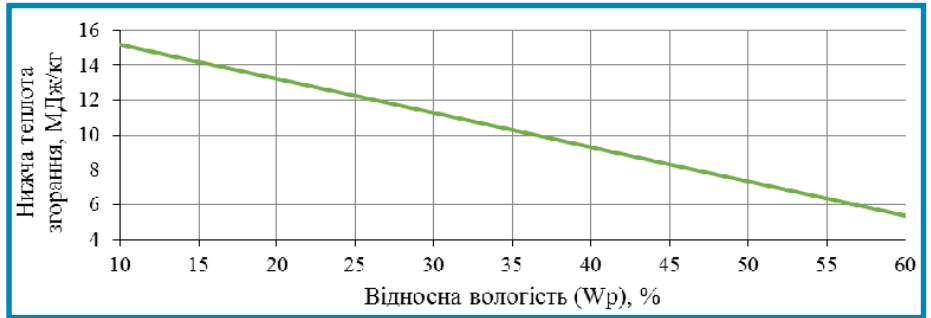


Рис. 3 Графік залежності нижчої теплоти згорання від відносної вологості кукурудзяної соломи.

ної сировини DuPont (рисунок 4) сплачує фермерам за дозвіл збирати побічну продукцію кукурудзи та управляє витратами на заготівлю, зберігання та транспортування. Фермери отримують кошти за доступ до поля та за обсяги поживних елементів, які відчужуються у біомасі. Солому кукурудзи збирають з 500 найближчих ферм. На заводі зайнято 85 постійних працівників, та 150 працівників забезпечують збирання, транспортування та зберігання сировини.

Відповідно до заготівельної програми, DuPont укладає контракти з місцевими фермерами на збір, зберігання та постачання соломи кукурудзи на завод з виробництва біоетанолу на таких умовах [8]:

- розташування у радіусі 48 км від м. Невада, штат Айова;
- кукурудза повинна вирощуватися за системою обробітку ґрунту No-till або консервуючою;
- урожайність не менше 12,2 т/га;
- нахил поверхні поля не більше 4%.

Зростання врожаїв кукурудзи призводить до більшої кількості рослин-

них решток, що створює проблеми для фермерів. Збільшення кількості рослинних решток від вирощування кукурудзи на зерно спричиняє хвороби рослин, перешкоджає сівбі і стабільному розвитку кукурудзи та сприяє поглинанию азоту. Відчуження частини побічної продукції з високопродуктивного поля перед сівбою може покращити пророщення, ріст та підвищити врожайність культури.

Дослідження, проведені у штаті Айова, показали, що врожайність на полях із частково видаленою побічною продукцією з повторним вирощуванням кукурудзи на зерно збільшилася приблизно на 0,35 т/га у порівнянні з попередніми роками [8].

Для оцінки обсягів побічної продукції кукурудзи на зерно, допустимих для відчуження в умовах України, було розраховано баланс гумусу за методичними вказівками з охорони ґрунтів [14] для сільськогосподарського підприємства Київської області у зоні Лісостепу. При використанні основного обробітку ґрунту – оранки – загальні втрати гумусу внаслідок мінералізації та ерозії становлять 1,53 т/га. Для забезпечен-



Рис. 4 Виробничу програму заводу біоетанолу DuPont (м. Невада, штат Айова)

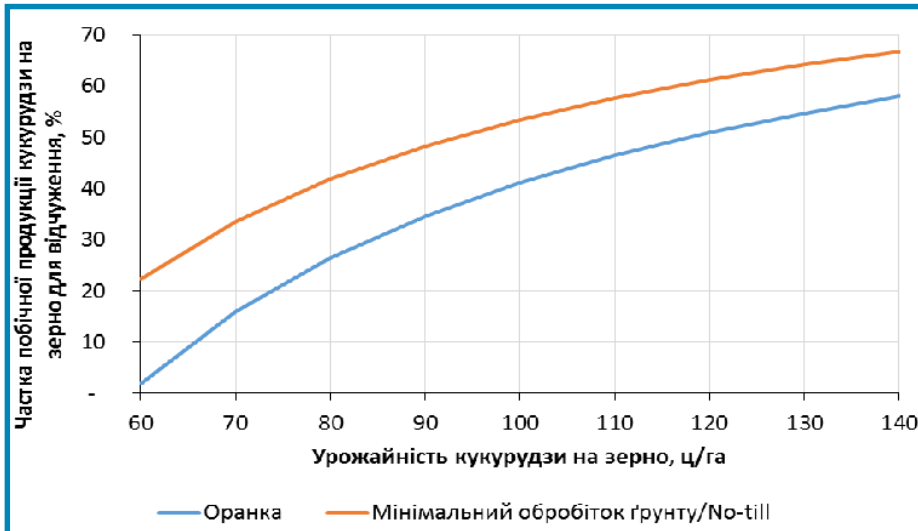


Рис. 5. Залежність частки відчуження побічної продукції від урожайності зерна кукурудзи у Київській області (при використанні як органічні добрива тільки рослинних решток).

ня балансу ці втрати можна перекрити внесенням органічних добрив, наприклад гною, і у такому випадку всю побічну продукцію можна відчужувати. Якщо ж втрати гумусу перебиваються тільки використанням рослинних решток як органічних добрив, то необхідно залишити 7,65 т/га побічної продукції. На полі при використанні системи мінімального обробітку ґрунту або No-till, а також протиерозійних заходів, втрати від ерозії суттєво зменшуються та наближуються до нуля. При відсутності втрат гумусу від ерозії необхідно залишити і використати як органічні добрива 6,05 т побічної продукції кукурудзи на зерно, що забезпечить надходження гумусу 1,21 т/га. Із збільшен-

ням врожайності кукурудзи на зерно у розглянутому сільськогосподарському підприємстві збільшуються обсяги побічної продукції для відчуження (рисунк 5). Таким чином, якщо як органічні добрива використовуються тільки рослинні рештки, 40% побічної продукції можна забирати з полів при врожайності кукурудзи на зерно від 80 ц/га для мінімальної технології і No-till та від 100 ц/га при оранці.

За даними ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» [15], фактичний баланс гумусу у випадку внесення 0,4-0,5 т/га органічних добрив на 1 га посівної площі, що спостерігається в Україні в останні роки, без внесення нетоварної

частини врожаю становить -1,22 т/га. Для того, щоб забезпечити бездефіцитний баланс гумусу, необхідно залишити і використати як органічні добрива 6,1 т/га побічної продукції кукурудзи на зерно, яка утворюється при врожайності основної продукції 47 ц/га. Отже, врожайність кукурудзи на зерно 47 ц/га є мінімальною для оцінки обсягів відчуження побічної продукції, які можна використовувати для енергетичних потреб.

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

Для визначення обсягів відчуження побічної продукції кукурудзи на зерно агропромисловість можуть використати наведений у таблиці 3 порядок. У загальному випадку побічну продукцію кукурудзи на зерно рекомендується збирати агропромисловцям, які розташовані у Лісостеповій або Поліській зоні, використовують мінімальний обробіток ґрунту або No-till без внесення органічних добрив або будь-яку технологію обробітку ґрунту при внесенні органічних добрив, застосовують повторне вирощування кукурудзи на одних полях, мають в наявності лісозахисні полоси і отримують високі врожаї кукурудзи на зерно (понад 80 ц/га). Інші агропромисловість можуть відчужувати побічну продукцію за умови забезпечення балансу гумусу і поживних елементів, а також при запобіганні ерозії та негативно-го впливу на характеристики ґрунту.

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

1) нижча врожайність кукурудзи на зерно порівняно із провідними аграрними країнами;

2) не відпрацьована методика визначення обсягів рослинних решток, які можна вивезти з полів при забезпеченні сталості сільськогосподарського виробництва;

3) широке використання традиційного обробітку ґрунту;

4) зміни клімату викликають зміни у агротехнології та необхідність застосування зрошення для забезпечення стабільно високої врожайності, що пов'язано із додатковими витратами коштів;

Таблиця 3.

Порядок визначення обсягів побічної продукції кукурудзи для відчуження

Умова	Обмеження	
	Мінімальне	Максимальне
Агрокліматична зона	Лісостеп, Полісся	Степ
Сівозміна	повторна кукурудза	після соняшника і цукрових буряків
Урожайність основної продукції	більше 80 ц/га	менше 80 ц/га
Волога	ступінь вологозабезпечення в кореневмісному шарі ґрунту більше 60%	менше 30 мм опадів у місяць
Ерозія	нахил поверхні поля до 40, наявність захисних лісосмуг	нахил поверхні поля понад 40
Технологія обробітку ґрунту	No-till, мінімальна	оранка
Добрива	органічні та мінеральні	тільки мінеральні
Баланс гумусу	позитивний	негативний
Погодні умови під час збирання кукурудзи на зерно	суха погода	сильні опади

5) дощова погода у період збирання кукурудзи перешкоджає заготівлі побічної продукції;

6) відсутній сталий ринок побічної продукції кукурудзи на зерно. Покупцям та продавцям важко домовитися про ціну;

7) не розвинута логістична інфраструктура;

Для усунення цих бар'єрів вважається за необхідне реалізація таких заходів:

1. вивчення й адаптація передового досвіду для умов України;

2. поширення інформації про сучасні технології та обладнання для заготівлі і логістики побічної продукції кукурудзи на зерно. Співпраця із заводами-виробниками сільськогосподарської техніки;

3. створення ринку біомаси як палива;

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

Також потрібно забезпечити наступні практичні підходи:

- збирання побічної продукції кукурудзи на зерно у суху погоду восени та суху і морозну погоду зимою;

- мінімізувати потрапляння землі у тую;

- вологість побічної продукції кукурудзи, яка збирається, повинна бути до 30%, а бажано – до 20%;

- при тривалому зберіганні на локальному складі на полі штабелі тюків накривають плівкою або спеціальним покривним матеріалом, а центральний склад повинен бути критим.

Важливими чинниками для забезпечення належної якості біомаси є правильно підібрані технологія та обладнання. Цим аспектам буде присвячена друга частина статті.

Висновки

У 2014 р. в Україні середня врожайність кукурудзи на зерно складала 61,6 ц/га, але вона має значний потенціал для підвищення. Хоча деякі вітчизняні господарства за рахунок використання сучасних гібридів та високої агротехнології вже отримують урожаї на рівні провідних країн. Крім основної продукції – зерна – кукурудза формує значні обсяги побічної продукції, яка є цінною сировиною для виробництва різних видів продукції, зокрема біопалива.

Важливим аспектом збільшення обсягів енергетичного використання побічної продукції кукурудзи на зерно є її кращі паливні характеристики порівняно із соломкою зернових колосових культур. Зокрема, за показниками плавкості золи, кукурудзяна солома наближається до деревної біомаси.

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

За даними 2014 р., обсяги побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні склали 37 млн. т. Враховуючи, що для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу необхідно залишити і використати як органічне добрива 6,1 т/га ПП кукурудзи на зерно, що утворюється при врожайності зерна кукурудзи 47 ц/га, 24% побічної продукції могло бути

відчужено на енергетичні потреби у 2014 р. Це складає 8,9 млн. т біомаси, що може замінити 3,45 млрд.м³ природного газу.

Врожайність кукурудзи на зерно 47 ц/га є мінімальною для оцінки обсягів відчуження біомаси. Частка побічної продукції кукурудзи на зерно для відчуження та подальшого енергетичного використання визначається, в основному, врожайністю, але її можливо збільшити шляхом внесення обґрунтованих норм мінеральних і органічних добрив та застосування відповідних агротехнологічних заходів.

Література:

1. Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування і використання / Під загальною редакцією Д. Шпаара. – К.: Альфа-стевія ЛТД – 2009. – 396 с.
2. Гелетуха Г.Г. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. Аналітична записка БАУ №7 / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Желєзна – Біоенергетична асоціація України, 2014. – 33 с.
3. United States Department of Agriculture <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/>
4. Статистичний збірник «Сільське господарство України» за 2014 р. – К.: Державна служба статистики України, 2015. – 379 с.
5. Застосування соломи і поживних решток як органічних добрив для поліпшення гумусового стану ґрунтів (рекомендації) / Демидов О.А., Рудюк А.Т., Заришняк А.С., Балюк С.А. та ін. – Харків: Миськдрук, 2012. – 47 с.
6. 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
7. L. Kocsis, Z. Hudoba and T. Vojtela Investigation of the maize stalk gathering for energetic use www.tankonyvtar.hu/.../publikacio_67.pdf
8. Сайт компанії DuPont <http://www.dupont.com/products-and-services/industrial-biotechnology/advanced-biofuels/cellulosic-ethanol.html>
9. Сайт компанії Agro Energy Group <http://energy-group.com.ua/p59420521-toplivnye-pellety-pochatkov.html>
10. Database for biomass and waste <https://www.ecn.nl/phyllis2/Browse/Standard/ECN-Phyllis>
11. Brittany Schon, Matt Darr Corn Stover Ash <https://store.extension.iastate.edu/Product/Corn-Stover-Ash>
12. Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення. Практичний посібник / Під загальною редакцією Тормосова Р.Ю. – К.: ТОВ «Поліграф плюс», 2015. – 208 с.
13. Справочник потребителя биотоплива / [под. ред. Виллу Вареса]. – Таллин: Таллинский технический университет, 2005. – 183 с.
14. Методичні вказівки з охорони ґрунтів / Греков В.О., Дацько Л.В., Жилкін В.А., Майстренко М.І. та ін. – К., 2011. – 108 с.
15. Использование дигестата после биогазовой установки <http://www.bakertilly.ua/media/pdf/Biogas%20Institute.pdf>

Анотація

Розглянуто сучасний стан виробництва кукурудзи на зерно у світі та Україні. Визначено потенціал побічної продукції кукурудзи на зерно у регіонах України, частину якого можна відчужувати для енергетичного використання. Наведено паливні характеристики такої біомаси. Описаний досвід заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання у США. Представлено порядок визначення частки відчуження побічної продукції кукурудзи на зерно в умовах України. Показано бар'єри, які перешкоджають широкому впровадженню заготівлі біомаси кукурудзи для енергетичного використання, та запропоновано заходи для їх усунення.

Анотация

Рассмотрено современное состояние производства кукурузы на зерно в мире и Украине. Определен потенциал побочной продукции кукурузы на зерно в регионах Украины, часть которого можно отчуждать для энергетического использования. Приведены топливные характеристики такой биомассы. Описан опыт заготовки побочной продукции кукурузы на зерно для энергетического использования в США. Представлен порядок определения доли отчуждения побочной продукции кукурузы на зерно в условиях Украины. Показаны барьеры, препятствующие широкому внедрению заготовки биомассы кукурузы для энергетического использования, и предложены меры по их устранению.

Abstract

The current state of corn production in the world and Ukraine is presented. The Ukrainian regional potential of corn residues, the share of which can be alienated for energy is determined. Fuel characteristics of the biomass are given. The US experience of corn residues harvesting for energy is described. The procedure for determining the share of corn residues alienation in the conditions of Ukraine is presented. Barriers to broader implementation of harvesting corn biomass for energy are shown, and actions for their overcoming are suggested.