

МОЖЛИВОСТІ ЗАГОТІВЛІ ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ В УКРАЇНІ. ЧАСТИНА 2

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

У першій частині статті (див. «Біоенергетика» №1 (7), 2016) було зазначено, що в Україні є значний енергетичний потенціал побічної продукції кукурудзи на зерно. У 2014 р. обсяги такої біомаси склали 37 млн. т, з яких 24% могли бути відчужені для енергетичного використання. Нині в Україні й світі найбільше розповсюдження отримала технологія збирання кукурудзи на зерно з використанням зернозбиральних комбайнів із кукурудзяними жатками, які забезпечують зрізання рослин, обмолот качанів і відділення зерна, а побічну продукцію подрібнюють та розкидають по полю. Такий спосіб збирання кукурудзи є найбільш економічно доцільним. Він, порівняно із збиранням кукурудзи в качанах, забезпечує у 1,8-2 рази зменшення затрат праці та на 20-25% – витрати палива [1]. Лише деякі господарства і, переважно, у насінницьких посівах збирають кукурудзозбиральними комбайнами необмолочені початки, які потім для одержання зерна обмо-

лочують на стаціонарних механізованих пунктах, що дає можливість збору стрижнів, зокрема, для подальшого їх енергетичного використання [2]. Тому, побічна продукція кукурудзи на зерно здебільшого залишається у полі й застосовується як органічні добрива. Деякі агровиробники для скорочення витрат на технологічні операції, пов'язані із заробкою рослинних решток у ґрунт, та з метою знищення шкідників і збудників хвороб сільськогосподарських культур, незважаючи на заборони, спалюють побічну продукцію разом із стернею, що негативно впливає на екологію [3]. Побічну продукцію кукурудзи на зерно можна ефективно використовувати на енергетичні цілі, але для цього необхідно відпрацювати технологію заготівлі такої біомаси для умов України [4].

При збиранні врожаю зернозбиральним комбайном із кукурудзяною жаткою рослинні рештки перерозподіляються наступними потоками (рис. 1): у стерні, за жаткою та за комбай-

ном. Відношення маси надземної частини кукурудзи (стебло, листя, стрижень та обгортка качана) до зерна прийнято 1,3 [4]. Найбільший обсяг біомаси із стебел і листя утворюється за жаткою, що у вологому стані дорівнює 0,96 маси зерна.

Технологічні операції заготівлі в загальному випадку передбачають подрібнення, розподілення та ущільнення біомаси. При цьому для енергетичного використання важливо заготовляти сировину з вологістю до 20% та мінімальним вмістом золи. Відповідно до способів заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно, можна виділити п'ять базових технологій (таблиця 1).

Крім цього, можна тюкувати розподілену після зернозбирального комбайна побічну продукцію кукурудзи, але низька ефективність підбирання залишків (25-30% [5]) за великих витрат палива внаслідок необхідності проходження тракторами із преспідбирачами всієї площі поля робить

Таблиця 1.

Класифікація технологій заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно після зернозбирального комбайна

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

* В дужках зазначено можливі варіанти.



Рис. 1. Потіки та кількість утворення побічної продукції кукурудзи на зерно при використанні зернозбирального комбайна із кукурудзяною жаткою, де: СТ – стебла, ЛС – листя, ОК – обгортка качана, СН – стрижень, $M_{\text{зерна}}$ – маса зерна.

даний спосіб економічно непривабливим. За рахунок використання комбінації базових технологій можна забезпечити збирання певної кількості біомаси, чого важко досягнути при заготівлі соломи зернових колосових, сої та ріпаку з огляду на те, що вся побічна продукція концентрується за комбайном. Перші чотири технології ущільнюють побічну продукцію у прямокутні тюки або круглі рулони, а п'ята – заготовляє її у подрібненому вигляді. Технологічні операції збирання, завантаження/розвантаження і перевезення розрізняються залежно від кінцевої товарної форми біомаси та, відповідно до цього, використовуються різні технічні засоби.

Для заготівлі максимальної кількості побічної продукції кукурудзи на зерно треба застосовувати мульчувачі, які дозволяють подрібнити рослинні рештки до 40–70 мм, та граблі для формування валків. Слід відзначити, що із збільшенням контакту з ґрунтом підвищується зольність біомаси: для однопрохідної системи типова зольність складає 3,5%; для жатки з валкоутворювачем – 7%; для мульчувача з валкоутворювачем – 11%; для граблів – 14% [6]. Для визначення необхідного переліку технологічних операцій та обладнання важливо також враховувати втрати та залишки рослинних решток у полі.

На основі орієнтовної ефективності збирання сухої речовини (с.р.) у побічній продукції кукурудзи на зерно [5, 7, 8, 9] визначено втрати рослинних решток за технологічними операціями при заготівлі біомаси (таблиця 2).

Для розрахунку маси с.р. у рослинних рештках використаємо значення типової вологості висушеної у полі побічної продукції кукурудзи на зерно (таблиця 3).

Отже, виходячи з припущень щодо обсягів ПП кукурудзи на зерно (рису-

нок 1, таблиця 2), вологості (таблиця 3) та можливих втрат (таблиця 2), можна визначити орієнтовні обсяги біомаси для кожної з п'яти базових технологій заготівлі, що зображено на рисунку 2. Так, при врожайності кукурудзи на зерно 80 ц/га і вологості 15%, технічно можливо заготовити від 13 до 43 ц/га с.р. у побічній продукції, тоді як інша частина рослин залишається у полі й використовується як органічні добрива. Разом із тим слід відзначити, що вказані співвідношення орієнтовні та залежать від багатьох факторів, у першу чергу, від співвідношення частин рослини конкретного гібриду, періоду збирання, вологості біомаси, погодних умов, характеристик конкретних моделей технічних засобів, кваліфікації механізаторів, тощо.

Нині для промислової заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно використовуються спеціальні технічні засоби, багато з яких не представлені на ринку сільськогосподарської техніки України. Так, на заводі з виробництва біотанолу з лігноцелюлозної сировини DuPont (м. Невада штату Айова) з проектною потужністю переробки до 375 тис. т. у рік кукурудзяної соломи, збирання зерна кукурудзи здійснюється силами фермерів, тоді як операції збирання та логістики її побічної продукції – спеціалізованими заготівельними ланками підприємства. Заготівельно-логістична система включає сім базових технологічних операцій [10]:

- 1) збирання кукурудзи зернозбиральним комбайном з кукурудзяною жаткою;
- 2) утворення валків;
- 3) тюкування;
- 4) збирання й укладання тюків для зберігання на краю поля;
- 5) навантаження;
- 6) транспортування;
- 7) тривале зберігання.

Для подрібнення та формування валків із побічної продукції кукурудзи після комбайна застосовуються причіпні мульчувачі. Американська компанія Hiniker випускає мульчувачі з валкоутворювачами серії 5600 шириною 15, 20 та 30 футів. Для забезпечення високої лінійної маси валка і зменшення кількості проходів техніки, Hiniker 5610 та 5620 з'єднують два проходи у один валок. Для агрегаткування мульчувача шириною 30 футів потрібен трактор з потужністю двигуна 200 к.с.

Таблиця 2.

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

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

Для тюкування побічної продукції кукурудзи на зерно у промислових масштабах використовуються прес-підбирачі великогабаритних прямокутних тюків (рисунок 3 а). За рахунок тюкування біомаса ущільнюється з 51 кг/м³ до 272 кг/м³ [7], що суттєво покращує ефективність логістики та скорочує витрати на неї.

Для менших обсягів заготовки широко застосовуються рулонні прес-підбирачі (рисунок 3 б). Вони дешевші й для них потрібний трактор меншої потужності, але при цьому характеризуються нижчою пропускну здатністю порівняно із прес-підбирачами великогабаритних прямокутних тюків. Крім того, рулонні прес-підбирачі забезпечують меншу щільність пресування та потребують застосування сітки, що дещо дорожче, ніж шпагат. Тому важливо ретельно проаналізувати витрати при виборі варіанта тюкування біомаси. Слід також зазначити, що прес-підбирачі повинні бути пристосовані для тюкування стебел кукурудзи з огляду на більші розміри фракції та міцність речовини порівняно із сіном, соломою зернових колосових, ріпаку й сої. Необхідно враховувати й можливість роботи обладнання у несприятливих погодних умовах.

Для попередження втрат сухої речовини та погіршення якості біомаси тюки та рулони необхідно швидко забрати з поля та укласти в штабелі для зберігання. На заводі з виробництва біоетанолу DuPont для цього використовують спеціальні машини та причепи, які можуть самостійно завантажуватися та розвантажуватися. Машина Stinger Stacker 6500 має двигун потужністю 305 к.с., 6-швидкісну автоматичну коробку передач та може за 1 годину зібрати, вивезти й укласти в штабель 80-120 великогабаритних прямокутних тюків. Самозавантажувальний причеп 16K Plus Bale Runner збирає за одну

ходку 12 великих тюків шириною 1,2 м та висотою 0,9 м і агрегується з трактором потужністю від 180 к.с.

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

Таблиця 3.

Вологість побічної продукції кукурудзи на зерно [5]

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

рожчі.

Розглянуте вище обладнання дозволяє заготовляти побічну продукцію кукурудзи на зерно для заводу з виробництва біоетанолу з лігноцелюлозної сировини DuPont, але реалізує тільки технологію №3 комбайн + трактор з мульчувачем з валкоутворювачем + трактор з прес-підбирачем (таблиця 1). Для інших технологій додатково використовують наступне обладнання.

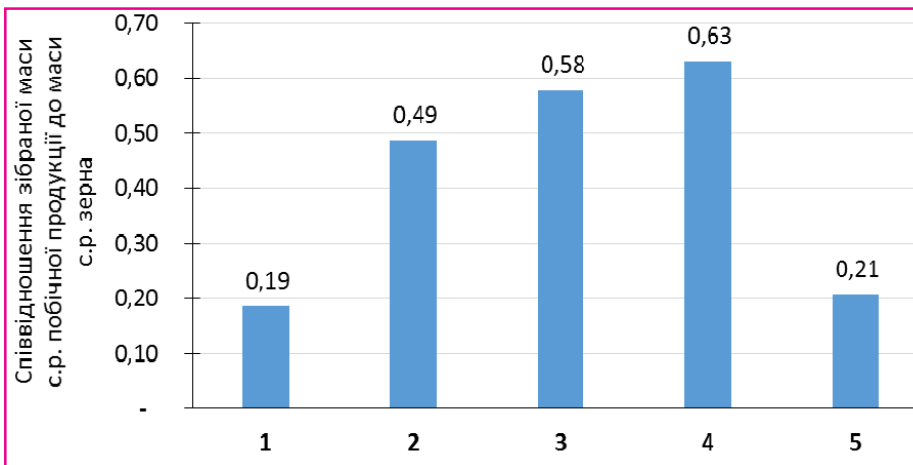


Рисунок 2. Орієнтовне співвідношення зібраної маси с.р. побічної продукції до маси с.р. зерна кукурудзи залежно від технології заготівлі, де: 1 – однопрохідна система: комбайн з прес-підбирачем; 2 – комбайн з жаткою, що формує валок + трактор з прес-підбирачем; 3 – комбайн + трактор з мульчувачем з валкоутворювачем + трактор з прес-підбирачем; 4 – комбайн + трактор з мульчувачем + трактор з граблями + трактор з прес-підбирачем; 5 – комбайн з підбирачем обгортки та стрижнів качанів.



Рисунок 3. Обладнання для тюкування побічної продукції кукурудзи на зерно, де: а – прес-підбирач великогабаритних прямокутних тюків Massey Ferguson 2270XD; б – рулонний прес-підбирач 605 Super M Cornstalk Special Baler.



Рисунок 4. Однопрохідні система, де: а – Hillco для тюкування у рулони; б – AGCO Challenger для формування прямокутних тюків.

Для формування валків з кукурудзяної соломи застосовуються спеціальні жатки з валкоутворювачем у технології №2 (таблиця 1). У валках за сприятливої погоди побічна продукція кукурудзи на зерно може підсушитися, і таким чином покращаться паливні характеристики біомаси. Жатка Geringhoff Mais Star Collect може подрібнювати та розкидати стебла і листя кукурудзи або укласти їх у валок. Зверху на цей валок також можуть поступати подрібнені стрижні та обгортки качанів після молотарки комбайна. Компанія New Holland випускає пристосування для формування валків Cropower, що може бути приєднане до жаток для збирання кукурудзи. Це технічне рішення отримало срібну медаль на виставці Agritechnica 2013. Для збирання валків побічної продукції кукурудзи на зерно крім прес-підбирачів іноді застосовують кормозбиральні комбайни, і біомасу у подрібненому вигляді насипом транспортують до тваринницьких ферм або біогазових установок.

Сучасні зернозбиральні комбайни подрібнюють і розподіляють побічну продукцію по поверхні поля. Але іноді при застосуванні зернозбиральних комбайнів із звичайними жатками для збирання кукурудзи може виникнути необхідність додаткового подрібнення побічної продукції. Тоді застосовують стандартні мульчувачі, агреговані із трактором, які також подрібнюють і стерню та розкидають біомасу по полю, що передбачено у технології заготівлі №4 (таблиця 1). Для формування валків використовуються граблі, агреговані з трактором. З їх допомогою також можна здвоювати валки. Для роботи із стеблами кукурудзи граблі повинні бути обладнані більш міцними пальцями, ніж для сіна.

Розглянуті вище технології заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно виконуються послідовно і тому вимагають декілька додаткових про-

ходів техніки по полю, що ущільнює ґрунт. Тому в останні роки впроваджується нова система збирання біомаси – однопрохідна (технологія №1, таблиця 1). У ній комбайн агрегується із прес-підбирачем (рисунок 4). Тюки або рулони формуються із рослинної маси, яка пройшла молотильно-сепараційну систему комбайна, переважно це стрижні та обгортки качанів. Незважаючи на чисельні переваги, однопрохідна система має суттєве обмеження – вологість біомаси, при якій прес-підбирач може виконувати операцію тюкування. Зважаючи на меншу вологість зерна кукурудзи, порівняно із іншими частинами рослини, побічна продукція може бути непридатною для тюкування, тоді як біомаса у валках за сприятливої погоди може підсушитися.

Технологія заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно №5 (таблиця 1) передбачає застосування зернозбирального комбайна з кукурудзяною жаткою та підбирачем стрижнів і обгортки качанів (рисунок 5). Далі біо-

маса перевантажується у автомобільний або тракторний причеп і насипом перевозиться на місце зберігання, що, враховуючи малу щільність побічної продукції, суттєво обмежує можливості ефективної логістики.

На сьогоднішній день в умовах України можна реалізувати всі п'ять технологій заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно, але поки що однопрохідні системи – комбайн з прес-підбирачем – на вітчизняному ринку сільськогосподарської техніки не представлені, а підбирачі стрижнів і обгортки качанів для зернозбиральних комбайнів, мульчувачі та жатки з валкоутворювачами зустрічаються рідко. Разом із цим, у багатьох вітчизняних господарствах вже наявна сільськогосподарська техніка, яка дозволяє заготовити побічну продукцію кукурудзи на зерно за технологією №4 комбайн + трактор з мульчувачем + трактор з граблями + трактор з прес-підбирачем (таблиця 1). Визначимо витрати на заготівлю побічної продукції кукурудзи на зерно для цієї тех-



Рисунок 5. Зернозбиральний комбайн з підбирачем качанів COBS HARVESTER Lafargue Bio Energy.

нології, виходячи із практичного досвіду Угорщини, описаного у роботі [7].

У 1 варіанті мульчування здійснювалося МТЗ-83 з РЗ-1,5, згрібання – МТЗ-83 з ПЗК-5, тюкування – МТЗ-82 з Claas Rollant 66 (рулони).

У 2 варіанті мульчування – Krone BIG M з Perfect, згрібання – McCormick CX 90 XL з ПЗК-5, тюкування – Atlas 936 RZ з Claas Quadrant 2200 RC (прямокутні тюки).

За обома варіантами готові тюки/рулони збираються телескопічним навантажувачем і завантажуються у вантажні автомобілі, які транспортують біопаливо до складу на відстань 30 км. Розвантаження транспортних засобів і складування тюків/рулонів здійснюється також телескопічним навантажувачем.

Розрахована структура витрат на заготовлю та транспортування побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання зображена на рисунку 6.

Таким чином, найбільше коштів витрачається на тюкування – 152 грн./т для рулонів масою 400 кг (32% загальних витрат, варіант 1) та 186 грн./т для тюків масою 500 кг (42%, варіант 2). Загальні витрати на ущільнення, заготовлю та перевезення біомаси у варіанті 1 склали 472 грн./т, у варіанті 2 – 445 грн./т.

Висновки

При використанні найбільш розповсюдженого способу збирання кукурудзи на зерно зернозбиральними комбайнами формуються три потоки побічної продукції: 0,96 маси зерна за жаткою, 0,24 – за комбайном та 0,1 – у стерні.

Можна виділити п'ять базових технологій заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання, які дозволяють збирати від 0,19 до 0,63 маси сухої речовини біомаси до маси сухої речовини зерна кукурудзи. Ці технології впливають на зольність побічної продукції кукурудзи на зерно та базуються на використанні різних видів машин. Таким чином, у залежності від очікуваних обсягів відчуження сільськогосподарської біомаси і необхідних енергетичних характеристик біопалива можна обрати технологію та обладнання заготівлі побічної продукції кукурудзи.

При застосуванні розповсюдженої в Україні техніки: мульчувач, граблі, прес-підбирач, витрати на заготовлю та перевезення побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання на відстань 30 км складають 472 грн./т для рулонів масою 400 кг та 445 грн./т для прямокутних тюків – 500 кг.

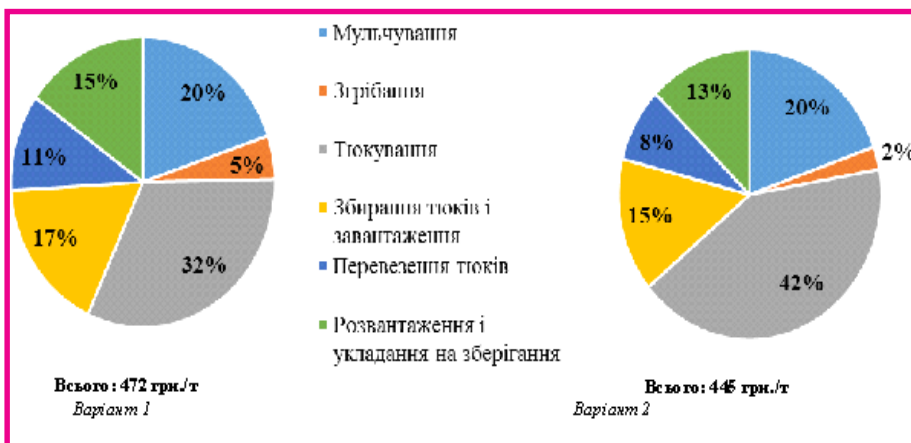


Рисунок 6. Структура витрат на заготовлю побічної продукції кукурудзи на зерно та транспортування на склад за технологічними операціями.

Використана література:

1. 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.
2. Циков В.С. Кукуруза: технологія, гібриди, семена / Циков В.С. // Дніпропетровськ: Издательство Зоря, 2003. – 296 с.
3. Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення. Практичний посібник / Під загальною редакцією Тормосова Р.Ю. – К.: ТОВ «Поліграф плюс», 2015. – 208 с.
4. Гелетуша Г.Г. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. Аналітична записка БАУ №7 / Г.Г. Гелетуша, Т.А. Желєзна – Біоенергетична асоціація України, 2014. – 33 с.
<http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-7-ukr-draft.pdf>
5. Feasibility of Corn Stover in Missouri / Ryan Milhollin, John Hoehne, Joe Horner and other
<http://crops.missouri.edu/corn/CornStoverReport.pdf>
6. 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)
7. L. Kocsis, Z. Hudoba and T. Vojtela Investigation of the maize stalk gathering for energetic use www.tankonyvtar.hu/.../publikacio_67.pdf
8. 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.
9. 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>
10. 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

АНОТАЦІЯ

Розглянуто формування потоків побічної продукції при збиранні кукурудзи на зерно зернозбиральними комбайнами із кукурудзяними жатками. Представлено класифікацію технологій заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання. Проаналізовано втрати та обсяги зібраної біомаси по відношенню до маси сухої речовини зерна, що, в залежності від запланованих обсягів відчуження побічної продукції кукурудзи на зерно, дозволяє вибрати технологію заготівлі та обладнання. Оцінено витрати на заготовлю побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання за технологією, яку можливо реалізувати розповсюдженими в Україні сільськогосподарськими машинами.

АНОТАЦИЯ

Рассмотрено формирование потоков побочной продукции при уборке кукурузы на зерно зерноуборочными комбайнами с кукурузными жатками. Представлена классификация технологий заготовки побочной продукции кукурузы на зерно для энергетического использования. Проанализированы потери и объемы собранной биомассы по отношению к массе сухого вещества зерна, что, в зависимости от запланированных объемов отчуждения побочной продукции кукурузы на зерно, позволяет выбрать технологию заготовки и оборудование. Оценены затраты на заготовку побочной продукции кукурузы на зерно для энергетического использования по технологии, которую можно реализовать распространенными в Украине сельскохозяйственными машинами.

Annotation

The formation of corn residues flows during combine harvesters with corn headers operation are considered. The classification of corn residues harvesting technologies for energy production are presented. There are analyzed losses and volumes of harvested biomass in relation to the dry mass of grain, which depending on the planned corn residues removal share will select the technology and equipment. Costs of corn residues harvesting for energy production are estimated for the technology, which can be realized by common in Ukraine agricultural machinery.