

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ СТЕБЕЛ КУКУРУДЗИ ІНТЕГРОВАНИМ РІЗАЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ

Zaviryuha N.V.

Mykolayiv State Agrarian University, Ukraine
Krylova Street 17, Mykolayiv 54040, Ukraine

Анотація. В роботі проведено аналіз процесу різання і факторів, які впливають на нього. Проведено апроксимацію даних дослідження зусилля різання стебел кукурудзи на маятниковому копрі в динамічних умовах. Визначено спосіб перерізання стебел, який забезпечує найменше зусилля різання інтегрованим різальним пристроєм

Ключові слова: енергоємність, стебло кукурудзи, різальний елемент, протирізальна пластина, апроксимація.

ВСТУП

Аналізуючи енергоємність основних робочих органів кукурудзозбиральних машин було визначено, що зрізання та подрібнення становить в окремих випадках від 25 до 75 % загальної енергоємності, тому саме в цьому напрямку є резерви для економії енергоресурсів, які можливо використати для підвищення продуктивності кукурудзозбиральної техніки.

В зв'язку з великою енергоємністю подрібнення стебел та їх малою поживною цінністю в період збирання кукурудзи на зерно в сучасних кукурудзозбиральних машинах в більшості країн кукурудзяного поясу відмовились від подрібнювальних апаратів. Практика експлуатації пристроїв до зернозбиральних комбайнів показала, що технологія збирання кукурудзи всього біологічного врожаю за один прохід агрегату використовується у господарствах степової зони України. Однак через високу вартість енергетичних матеріалів частина господарств вимушена збирати лише зернову частину врожаю. До того ж, останніми роками різко зменшилось поголів'я ВРХ у господарствах України, що спричинило зменшення виходу органічного добрива, і як наслідок — зменшення на 10—15% вмісту гумусу в ґрунті, а отже, і врожайності сільськогосподарських культур. Зважаючи на ці чинники значна кількість господарств, які добре забезпечені грубими кормами, практикують останніми роками розкидання подрібнених стебел по полю одночасно із збиранням зернової частини врожаю кукурудзи, тобто використання мультучої технології обробітку ґрунту [1].

Вивчення механічних властивостей стебла кукурудзи при різанні є необхідним елементом при проектуванні кукурудзозбиральних машин. Визначити такі важливі характеристики, як зусилля і робота різання неможливо без знання фізики явищ, що виникають під час перерізування стебла, чіткої картини деформації та руйнування стебла лезом.

В даний час, вивченим залишається достатньо мале коло питань, які пов'язані з процесом різання і майже всі математичні моделі, що використовуються є недостатньо точними, в зв'язку із великим числом змінних величин.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вивченню цього процесу в різальних апаратах сільськогосподарських машин присвячено багато праць. Першими з них, що започаткували теорію різання лезом ножа і заклали основи теоретичного розрахунку різальних апаратів більшості типів

сільськогосподарських машин є дослідження російського академіка В.П. Горячікіна. Йому належить і пріоритет в аналітичному дослідженні питань про різання з ковзанням. Він встановив, що процес різання ножем полягає в проникненні леза всередину тіла з витісненням своїми гранями часточок матеріалу. При цьому долаються сили нормального тиску і тертя. Ковзаючий рух ножа полегшує проникнення його в матеріал, а дрібна насічка перепилувальною дією порушує зв'язок між часточками [2].

Дослідженнями, проведеними Ю. Ф. Новиковим на твердостебельних культурах, встановлено, що в процесі деформування волокон стебла лезом вони сприймають різні види деформацій: стискання — в поперечному напрямку, розтягу — в поздовжньому, а також згинання і зсуву. Руйнуються волокна здебільшого від поздовжнього розтягу [3].

Загалом процес різання можна розділити на дві фази: відхилення стебла ножем та його зрізання. У другій фазі, на думку академіка В.А. Желіговського, потрібно розрізняти процес власне різання, який відтворюється лінією перетину граней леза, і процес входження леза в матеріал.

Дослідженнями Є.Г. Івановського встановлено, що при різанні механічна енергія витрачається на утворення нових поверхонь у матеріалі, на деформацію матеріалу і різального інструменту, на подолання сил тертя при ковзанні матеріалу, що розрізується по поверхні різального інструменту. З фізичної точки зору різання є сукупністю процесів перетворення механічної енергії в інші її види - теплову, електричну, хімічну.

Досвід засвідчує, що процес різання стебел є складним періодичним процесом, що відбувається з визначеною частотою зміни фаз стискання-розтягу. Ця частота залежить від геометрії різального інструмента: чим гостріше лезо, менший кут загострення і більший кут нахилу леза (або коефіцієнт ковзання), тим вища частота коливань. Збільшення останньої відповідає локалізації руйнування біля леза, що зумовлює зменшення зусилля різання.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У відомих конструкціях вітчизняних і зарубіжних кукурудозбиральних машин широко застосовують апарати зі зворотно-поступальним, обертальним і, рідше, з коливальним рухом ріжучих елементів, але всі їх можна поділити на апарати з механічним (б) і інерційним (а) підпором стебел в момент їх різання (рис. 1).

Апарати з інерційним підпором стебел механічних протиризальних (підпірних) елементів не мають, тому швидкість руху ріжучих елементів у цих апаратах значно перевищує швидкість ріжучих елементів з механічним підпором. Підвищення швидкостей різання дозволяє ефективно використовувати інерційний опір стебел, що закріплені на корені, удару ріжучих елементів у момент різання, що замінюють у цих апаратах механічний підпір стебел.

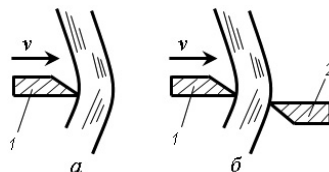


Рис. 1. Апарати з інерційним (а) та механічним (б) підпором стебел

Fig. 1. Apparatus of inertia (a) and mechanical (b) stems backwater

1- рухомий різальний елемент; 2 – нерухома протиризальна пластина

До недоліків апаратів з інерційним підпором відноситься те, що ріжучі апарати даного виду здатністю самоочищення не володіють, тому при підвищених швидкостях руху досить часто забиваються. В конструкціях широкозахватних жнивварок вимагають складних механізмів приводу ріжучих елементів і мають підвищену енергоємність. Ріжучі апарати

цього типу використовуються лише в потокових кукурудозбиральних машинах і тут важливе місце відіграє ціленаправленість руху стебла.

Апарати з механічним підпором стебел мають ріжучі і механічні протирізальні (підпірні) елементи. Ріжучі елементи виконують рухливими, а протирізальні - переважно нерухомими. Зрізання стебел у цих апаратів відбувається при порівняно невеликих швидкостях ріжучих елементів.

До недоліків слід віднести кількість подвійних зрізів на пожнивних залишках. Подвійний зріз відбувається в тому випадку, коли стебло не перерізається повністю при одному ході ножа і дорізається зворотнім рухом ножа, що збільшує висоту зрізання і втрати стебел на ґрунті, які складають 9,5%. Середнє значення висоти зрізу при збільшенні швидкості руху збирального агрегату від 3,8 до 10,8 км/год збільшується до 14 см, що визвано згинанням стебел після прокатування вальцями до моменту зрізання і частковим напрямленням їх в зону повз протирізальних пластин.

Для усунення вищевказаних недоліків, на базі проблемної лабораторії Миколаївського ДАУ, по вдосконаленню основних робочих органів збиральних машин, проводились дослідження процесу різання стебел кукурудзи в динамічних умовах на маятниковому копрі, а також оптимізація геометричних параметрів копра для встановлення необхідної швидкості різання.

Досліджувалось різання стебел кукурудзи з одно- та двостороннім протирізальним елементом (рис. 2). Гострота леза (товщина різальної кромки) при випробуваннях знаходилась в межах 50-100 мкм. Зазор між різальною і протирізальною частинами пристрою не повинен перевищувати 1-2 мм. Довжину різання витримують у межах 50 - 100 мм. Напрямок зрізу - упоперек стебла (перпендикулярно волокнам).

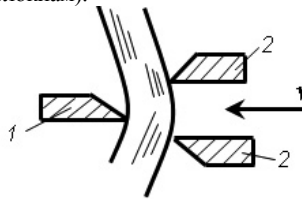


Рис. 2. Схема різання з подвійним підпором
Fig. 2. Scheme of cutting double-backwater
1- нерухомий ніж; 2 – рухомі протирізальні елементи

Експеримент проводився відповідно методиці, яка детально описана у відповідних джерелах [4]. Для встановлення відповідності отриманої моделі експериментальним результатам проводилась перевірка її адекватності за допомогою критерію Фішера та перевірка її відтворюваності за критерієм Кохрена.

Була проведена апроксимація експериментальних даних зусилля різання від діаметру стебла кукурудзи, який зменшується від кореня до суцвіття [5]. Результати цього аналізу представлені у вигляді залежностей при різній вологості стебел для процесу різання з одиничним та подвійним підпором стебел кукурудзи (рис. 3).

У результаті проведених дослідів встановлено, що при швидкості ножа 2—10 м/с і гострому лезі, вертикально стояче одиночне стебло не перерізається в суворо вертикальному положенні. При зустрічі ножа зі стеблом в момент удару відбувається одночасне зростання зусиль в ножі і розтягування стебла. У момент різання ніж багаторазово вдарає стебло зі зменшенням амплітуди і частоти удару. При достатньому вигині стебла, коли сила інерції надасть необхідний опір подальшому відхиленню стебла, останній починає зрізатися ножем.

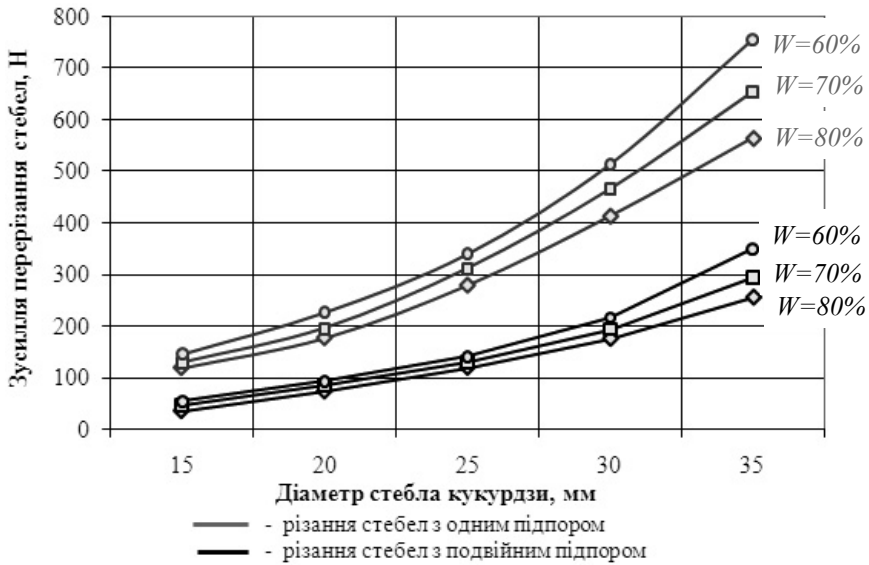


Рис. 3. Апроксимація експериментальних даних для гібриду «Арабіка»
Fig. 3. Approximation of experimental data for hybrids "Arabica"

Дані отримані в результаті апроксимації занесені до табл. 1.

Аналізуючи дані апроксимації можна зробити висновок про відтворюваність та адекватність даних експериментів. Математичні моделі описують закони зміни зусилля різання (y) від діаметру стебел кукурудзи (x) в залежності від вологості стебел.

Таблиця 1. Аналіз апроксимації експериментальних даних
Table 1. Analysis of approximation of experimental data

Вологість стебел кукурудзи, %	Вид різання	Рівняння математичної моделі полінома 2-го ступеня	Перевірка адекватності		Перевірка відтворюваності	
			$F_{\text{розрах}}$	$F_{\text{табл}}$	$G_{\text{розрах}}$	$G_{\text{табл}}$
W=30	одно-підпорне	$y=0,6229 \cdot x^2 - 8,623 \cdot x + 105,543$	0,003	2,8	0,0122	0,1259
	двох-підпорне	$y=0,2686 \cdot x^2 - 2,589 \cdot x + 14,824$	0,0019		0,0204	
W=50	одно-підпорне	$y=0,8057 \cdot x^2 - 13,846 \cdot x + 153,886$	0,009		0,0187	
	двох-підпорне	$y=0,84171 \cdot x^2 - 8,657 \cdot x + 84,057$	0,0065		0,0945	
W=70	одно-підпорне	$y=1,094 \cdot x^2 - 24,574 \cdot x + 271,314$	0,0036		0,0532	
	двох-підпорне	$y=0,6229 \cdot x^2 - 16,784 \cdot x + 170,343$	0,0117		0,1044	

Зріз групи стебел, які не мають опори, невпорядкований щодо вигину і зусилля різання, а зріз стебла, що має дві опори, відбувається стабільно, швидко якісно і при менших зусиллях.

За даними різних джерел, коефіцієнт пружності при зрізі стебла, що має дві опори, в сотні разів більше коефіцієнта пружності стебла при його консольному закріпленні. Отже, стебла, яке спирається на дві опори, досить прогнутися на досить незначне значення, щоб реакція пружних сил була достатньою для його зрізу при дуже малій швидкості ножи.

В результаті проведених досліджень була розроблена принципово нова схема адаптованого одновальцевого качановідокремлювального апарату з інтегрованим різальним пристроєм (рис. 4).

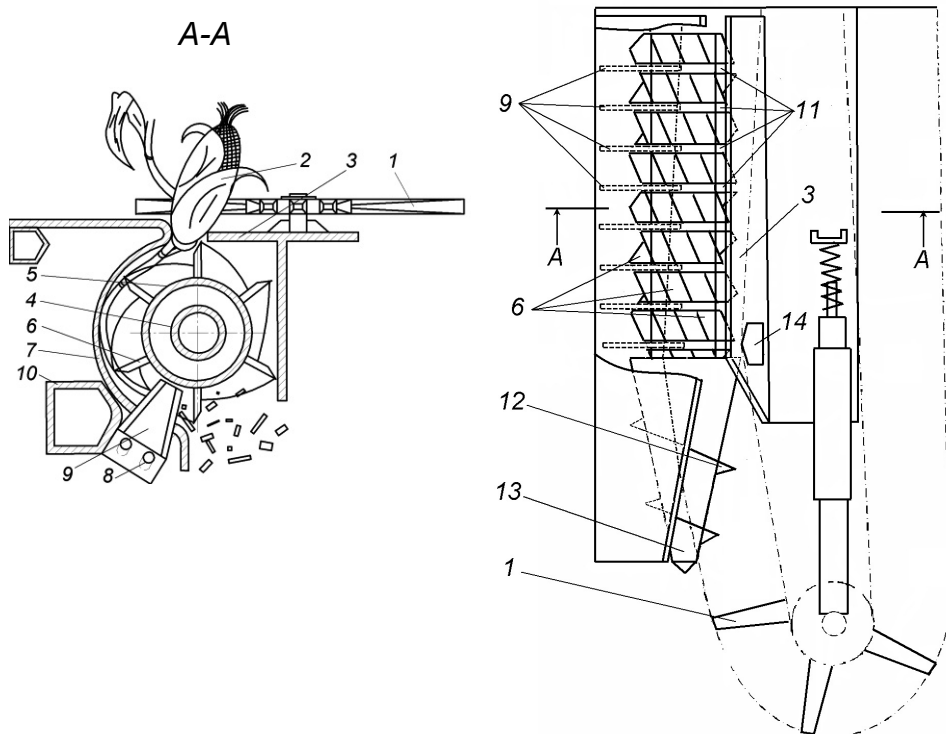


Рис. 4. Схема адаптованого качановідокремлювального апарату

Fig. 4. Figure adapted apparatus for detachment of the stem

- 1 - подавальний ланцюг з лапками; 2 – качан кукурудзи; 3 - стріперна пластина;
 4 - протягувальний валець, 5 - насадка; 6 - загострені протягувальні ребра;
 7 – кожух; 8 - регулювальні пази; 9 – система ножів; 10 – рама; 11 – пази в протягувальному вальці, для заходу ножів; 12 – шнекові рифи; 13 – заводний конус; 14 – натяжний пристрій

Апарат працює наступним чином. Стебла кукурудзи подавальним ланцюгом з лапками 1 та шнековими рифами 12 заводного конуса 13 заводяться в простір 2 стріперної пластини 3, відстань якої менша середнього діаметру качана. Протягувальний валець 4, обертаючись в кожусі 7, протягує стебла та заводить їх в простір між основою кожуха та стріперною пластинною 3. При протягуванні стебло щільно затиснене між рифами 6 протягувального вальця 4 та кожухом 7. Рифи виконані у вигляді одновиткової спіралі. Це дозволяє розподілити зусилля взаємодії рифа з ножом в часі, що зменшує енергоємність операцій різання та подрібнення. Далі стебло за допомогою інтегрованого різально-подрібнювального апарату одночасно підрізається, протягується та подрібнюється. Привід різально-

подрібнювального апарату дозволяє регулювати висоту зрізання стебел кукурудзи, а в залежності від кількості ножів та швидкості обертання – довжину різки.

Дане виконання інтегрованого різального апарату з системою сегментних ножів дозволяє використовувати для подрібнення спосіб різання листостеблової маси з подвійним механічним підпором (рис. 2), що принципово відрізняється від способів різання листостеблової маси, які використовуються в даний час (рис. 1).

Графічні залежності свідчать про ефективність використання різання з подвійним протирізальним елементом перед одиничним. Зусилля різання зменшується в межах 2,1-2,6 разів в порівнянні зі звичайним одно підпорним різанням. Ефективність використання даного методу полягає також у великій інерційній силі рухомого протирізального елемента (протягувального вальця з пазами для заходу ножів), що забезпечить ще більше зменшення зального зусилля різання, в порівнянні з однопідпорним.

ВИСНОВКИ

Розроблена експериментальна модель адаптованого оновальцевого качановідкремлювального апарату з інтегрованим різальним пристроєм потребує подальших досліджень з визначення енергетичних та якісних показників виконання технологічних операцій. Актуальними залишаються питання поєднання технологічних операцій, тобто розширення функціональних можливостей робочих органів. Ці питання потребують створення принципово нових видів робочих органів, теоретичного та практичного обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів їх роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Адаптированный початкоотделяющий аппарат : Материалы Международной научно-практической конференции (Минск 19-20 октября 2010 г) Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. — Минск : НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2010. — №5. — с. 32-37.
2. Шатилов К.В. Кукурузоуборочные машины / К.В. Шатилов, Б.Д. Козачок, А.П. Орехов и др. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1981. — 224 с.
3. Красниченко А.В. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / А.В. Красниченко. — М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1961. — 860 с.
4. Ярцева М.Б. Методика математического планирования эксперимента / М.Б. Ярцева. — М. : Наука, 1973. — 140 с.
5. Третьяк Л.Н. Обработка результатов наблюдений: учебное пособие / Л.Н. Третьяк. — Оренбург: ГОУ УГО, 2004. — 171 с.
6. Гребенюк Г.І. Енергетична оцінка та шляхи зниження енергомосткості робочих органів кукурудзозбиральних машин // Вісник аграрної науки Причорномор'я. — Вип. 3. — 1998. — с. 126—130.
7. Кондауров Д. И. Прицепной кукурузоуборочный комбайн ККП-3 / Д.И. Кондауров, П.П. Барановский // Тракторы и сельхозмашины. — 1985. — №5. — с. 43.
8. Огляд жаток для збирання кукурудзи [Електронний ресурс] / журн. «Агросектор», 2005. — №1(4). — с. 32—34. Режим доступу до журн. : <http://journal.agrosector.com.ua/archive/4>.
9. Макаров С. Українські пристрої для збирання кукурудзи / С. Макаров, Г. Архипов, Є. Бондарев // наук.-техн. журн. «Техніка АПК». — 2004. — №5. — с.10.
10. Погорілий Л.В. Зернозбиральна техніка: проблеми, альтернативи, прогноз / Л.В. Погорілий, С.М. Коваль // наук.-техн. журн. «Техніка АПК». — 2003. — №7. — с.4—7.
11. Анішин Л.П. Особливості кукурудзи /Л.П. Анішин// Агроперспектива. — 2007. — №5. — С. 16—18

12. Benson E.R. Machine vision-based guidance system for an agricultural small-grain harvester /E.R. Benson, J.F. Reid, O. Zhang// Transactions of the ASAE. — 2007. — №46(4). — P. 1255–1264.
13. Касьяненко В.Д. Нові можливості та способи механізації збирання кукурудзи // Касьяненко В.Д. Касьяненко В.В. / – К.: Урожай, – 1990. – 124 с.
14. Описание и характеристика кукурузоуборочной техники // Служба новостей Agrogu.com. / – 2010. – Режим доступа: <http://www.agrogu.com/news/648023.htm>
15. Босой Е.С. Режущие аппараты уборочных машин / Е.С. Босой — М. : Машиностроение, 1967.
16. Трубилин Е.И. Машины для уборки сельскохозяйственных культур / Е.И. Трубилин, В.А. Абликов — Краснодар : КГАУ, 2010.
17. Долгов И.А. Уборочные сельскохозяйственные машины (конструкция, теория, расчет) / И.А. Долгов — Ростов-н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2003.
18. Кузьмин В.В. Фундаментальные особенности процесса резания пищевых продуктов лезвийным инструментом / В.В. Кузьмин, В.В. Пеленко // Межвузовский сборник научных трудов «Теория и практика разработки и эксплуатации пищевого оборудования». — СПбГУНиПТ 2007 — С. 56.
19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985.
20. Бутенин, Н.В. Курс теоретической механики / Н.В. Бутенин, Я.Л. Луц, Д.Р. Меркин. Т. 2. – М.: Наука, 1985.

THE MATHEMATICAL MODEL OF CUTTING CORN STALKS INTEGRATED CUTTING DEVICE

Summary. We analyzed the cutting process and factors affecting it. Made approximation of data research efforts on cutting corn stalks pendulum copra in dynamic conditions. A procedure of cutting the stems, which provides the least cutting force integrated cutting device.

Key words: energy, corn stalk, cutting element, uncutting plate, approximation.