

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ СТЕБЕЛ КУКУРУДЗИ

М.В. Завірюха, асистент кафедри тракторів та с/г машин

Миколаївський державний аграрний університет

Україна, м. Миколаїв, вул. Крилова 17а, 54040

В статті розроблено математичну модель процесу різання, яка відображає три характерні режими різання (квазістатичний, ударний та хвильовий) та побудова фізичної моделі процесу силової взаємодії леза з матеріалом при квазістатичному режимі різання

Постановка проблеми. Для сучасних кукурудзозбиральних комбайнів, як і раніше, актуальним залишається завдання подальшого вдосконалення технологічних процесів та відповідного обладнання з метою зниження його енергоємності, втрат сировини, підвищення продуктивності, поліпшення якості продукції, що переробляється. На механізми підрізання та подрібнення стебел кукурудзи витрачається більше 45% енергоємності жатної частини кукурудзозбиральних агрегатів [1]. Різання стебел — процес досить енергоємний, тому в більшості країн кукурудзяного поясу відмовилися від збирання цієї сировини, хоча вона володіє високою харчовою, біологічною та енергетичною цінністю [2]. Тому будь-які можливості скорочення енерговитрат при подрібненні листостеблової сировини повинні бути вивчені і реалізовані. Від обґрунтованості виконання цієї операції залежать енерговитрати і якість кінцевої продукції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Обґрунтуванню критичної швидкості, яка забезпечує безпідпорне різання вільно стоячого стебла, присвячені дослідження В.П. Горячкина, Є.М. Гутьяра, А. Ю. Босого тощо [3].

Питання безпідпорного різання вільно стоячих стебел вперше було розглянуто акад. В.П. Горячкиним. На його думку, в момент удару в стеблі збуджується хвиля деформацій, яка поширюється по всьому перерізу стебла і надає йому особливої жорсткості. В результаті проведених досліджень акад.

В.П. Горячкін встановив, що критична швидкість різання залежить від мас ножа і стебел — зокрема вона буде збільшуватись при зменшенні маси ножа.

Метою роботи є розробка математичної моделі процесу різання, яка відображає три характерні режими різання (квазістатичний, ударний та хвильовий) та побудова фізичної моделі процесу силової взаємодії леза з матеріалом при квазістатичному режимі різання.

Результати досліджень. Різні автори дають різні пояснення фізичного змісту процесу різання. Однак в основу всіх аналітичних досліджень покладена схема процесу зі значним спрощенням реальних умов через складність обліку всіх факторів, які впливають на процес різання. При цьому прийняті авторами припущення не завжди достатньо обґрунтовані. Не випадково у різних авторів спостерігаються помітні розходження в значеннях рекомендованої критичної швидкості різання. За експериментальними даними, для різних типів тонко- та товстостебельних культур критична швидкість різання для апаратів з інерційним підпором стебел коливається в межах 8—30 м/с, а для апаратів з механічним підпором — 1—3 м/с [4].

Зусилля різання залежить від швидкості різання, тому необхідно експериментально визначити залежність зусилля різання від швидкості різання. Для знаходження практичного значення критичної швидкості різання стебел кукурудзи необхідно провести експериментальні дослідження по статичному та динамічному перерізанню стебла, впливу зазорів між ножом та протирізальною пластиною на зусилля різання, а також обґрунтувати кути різання та форму різальної кромки.

Для обґрунтування критичних швидкостей та мінімального зусилля різання необхідно визначити основні режими на які можна розділити процес різання. Якщо припустити, що фаза різання розвивається в деформованій зоні і спричиняє напружений стан волокон стебла і подальше їх руйнування, то під час аналізу цього процесу доцільно виділити три послідовні режими, при яких визначають критичні швидкості різання [5]:

1. Квazистатичний — режим, при якому швидкість різання менше першої критичної, має місце процес квazистатичної деформації подрібнювального матеріалу. Відбувається перехід від руйнування матеріалу по слабких перетинах шару, що не збігається з площиною розрізу, до руйнування матеріалу в площині розрізу. За рахунок цього зусилля різання зростають. Час впливу кромки леза на сировину обернено пропорційний швидкості. Звідси випливає висновок, що з віддаленням від центру обертання леза, для одного і того ж значення величини лінійної деформації, час впливу на сировину зменшується, так само зменшується і обсяг деформації сировини дійсно обернено пропорційний лінійній швидкості або радіус-вектору r точки ріжучої кромки в разі обертального руху робочих органів.

2. Ударний — режим, при якому відбувається ударна дія леза на продукт. Опис процесу різання в цьому випадку пов'язаний з використанням теорії удару. Величина прискорень шарів матеріалу досягає значних величин.

3. Хвильовий — режим, при якому швидкість різання перевищує швидкість розповсюдження звуку в даному матеріалі, в подрібненій масі відбувається виникнення ударних хвиль. Напруження передаються в матеріал зі швидкістю звуку. При перевищенні швидкістю різання швидкості розповсюдження напружень, напруги виявляються сконцентрованими — локалізованими у леза.

Процес різання стебел кукурудзи відбувається при швидкостях менших першої критичної. Питома потужність A_{num} , що виділяється в одиниці деформованого об'єму, повинна бути постійною (рис.1). Це положення є умовою, що визначає форму ріжучої кромки:

$$A_{num} = \frac{P \cdot \cos \beta \cdot r \cdot d\zeta \cdot d\delta}{M \cdot V \cdot d\tau},$$

де P — питома зусилля різання на ріжучій кромці;

r — радіус-вектор точок ріжучої кромки;

β — кут ковзання леза;

M — маса деформованого матеріалу;

V – швидкість точки різальної кромки;

Розглядаючи силову взаємодію леза з листостебловою сировиною в початковий момент різання при квазістатичній деформації, визначимо оптимальний кут ковзання ріжучої кромки.

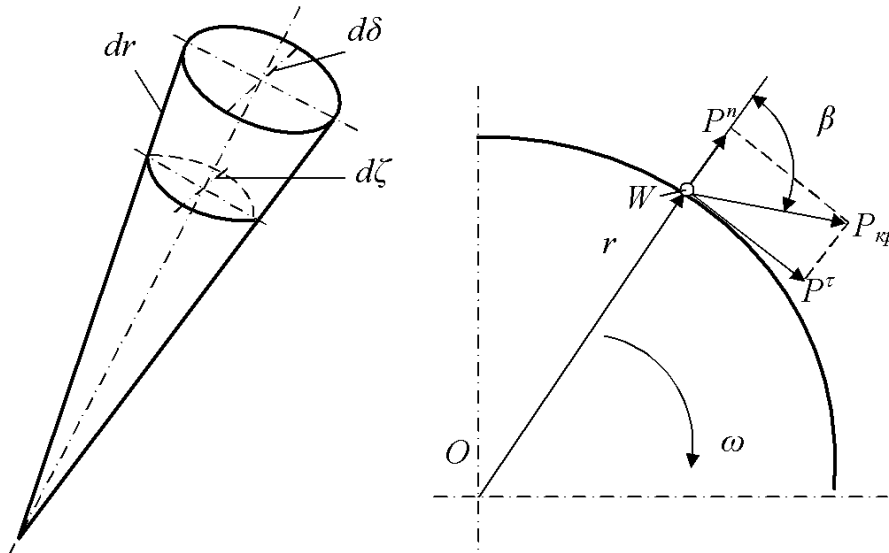


Рис. 1. Схема для визначення питомої потужності різання

У момент початку різання критична сила $P_{кр}$, прикладена до ножа, повинна подолати суму всіх сил, що діють у її напрямку:

$$\vec{P}_{кр} \geq \vec{P}_{риз} + \vec{P}_{ст} + \sum \vec{T}_i,$$

де $\vec{P}_{риз}$ — питомий тиск руйнування матеріалу під кромкою леза;

$\vec{P}_{ст}$ — питомий тиск шару стискання фаскою леза;

$\sum \vec{T}_i$ — сума питомих сил тертя на межі ножа та фасці леза.

При різанні стебел кукурудзи 80—85% від загальної витрати енергії використовується на пластичні деформації і 15—20% — на подолання молекулярних сил або поверхневої енергії. Напруження різання зменшуються пропорційно зменшенню попередньої деформації. Попередня деформація буде залежати від питомої площі контакту леза і матеріалу, що перерізається, а також від кута ковзання леза по наступних співвідношеннях:

$$0 < \beta < 45^\circ \quad k_f = 1 - \frac{\text{tg}\beta}{2},$$

$$45 < \beta < 90^\circ \quad k_f = \frac{1}{2\text{tg}\beta},$$

де k_f — коефіцієнт питомої площі контакту леза і матеріалу, що розрізається.

Питомий тиск руйнування матеріалу під кромкою леза визначається за формулою:

$$\vec{P}_{\text{риз}} = \delta \cdot \sigma_{\text{нр}},$$

де δ — гострота леза;

$\sigma_{\text{нр}}$ — міцність стебел кукурудзи на розрив.

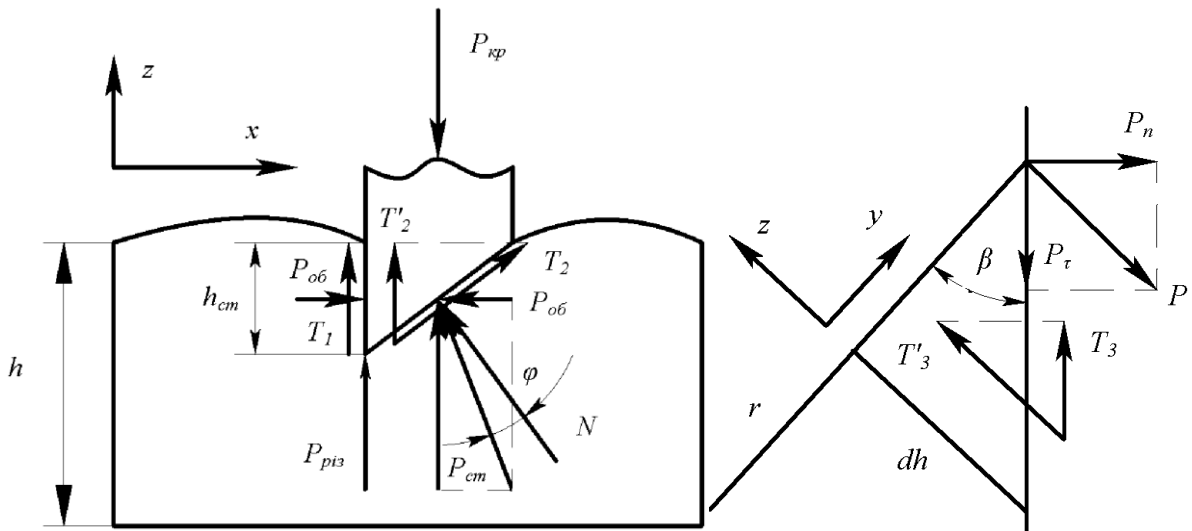


Рис. 2. Опір, що виникає при проникненні леза в стебло

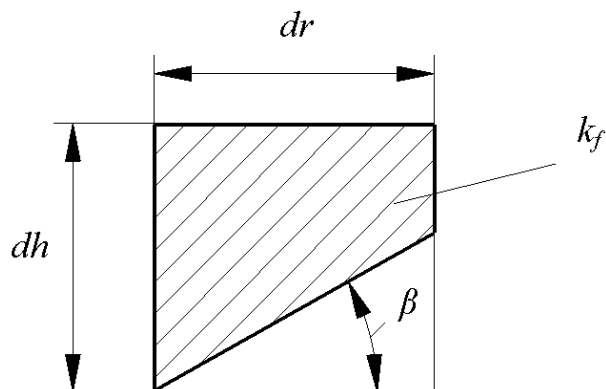


Рис.3. Схема для визначення коефіцієнта питомої площі контакту леза і стебел кукурудзи

Питомий опір шару матеріалу стисканню фаскою леза визначається за формулою:

$$\vec{P}_{cm} = \frac{E \cdot k_f \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{h_{cm}^2}{h}}{1 - \frac{1}{e^\tau}},$$

де E — модуль пружності для стебел кукурудзи;

τ — коефіцієнт, що враховує час деформації;

α — кут заточки леза;

h_{cm} — попередня деформація стебла;

h — товщина стебла, що перерізається.

Питома сила тертя на межі ножа визначається за формулою:

$$\vec{T}_1 = f \left(P_{об} + p_0 \frac{h_{cm}}{\cos \beta} \right),$$

де f — коефіцієнт тертя між подрібненою масою і матеріалом леза;

p_0 — адгезія стебел, що подрібнюється до матеріалу ножа.

Питома сила тертя на фасці леза визначається за формулою:

$$\vec{T}_2 = f \left(N + p_0 \frac{b}{\sin \alpha \cdot \cos \beta} \right) \cdot \cos \alpha,$$

де b — ширина пера ножа;

N — питома сила, яка діє на фаску ножа;

$$\vec{N} = \vec{P}_{cm} \cdot \sin \alpha + \vec{P}_{об} \cdot \cos \alpha,$$

$$\vec{P}_{об} = \frac{E \cdot k_f \cdot \mu \cdot d \cdot h_{cm}^3}{2 \cdot h \cdot \left(1 - \frac{1}{e^\tau} \right)},$$

де μ — коефіцієнт Пуассона;

d — зовнішній діаметр ножа.

Розглядаючи сили, що входять в рівняння критичної сили з урахуванням питомої площі контакту леза і матеріалу, що розрізається отримуємо:

$$\vec{P}_{кр} = \delta \cdot \sigma_{np} + \frac{E \cdot k_f \cdot \mu \cdot d \cdot h_{cm}^3}{2 \cdot h \cdot \left(1 - \frac{1}{e^\tau}\right)} \cdot (\operatorname{tg} \beta + f(\mu + \sin^2 \alpha + \mu \cos^2 \alpha)) + \frac{f \cdot p_0(x+b)}{\cos \beta},$$

де x — ширина контакту наклонної фаски матеріалу, що подрібнюється.

Висновок. Отримана математична модель для визначення критичної сили різання стебел кукурудзи дозволяє, порівняно, з високою точністю встановити, значення критичних швидкостей на межі трьох режимів різання. Відкритими залишаються питання визначення оптимальних умов різання, при яких зусилля різання буде мінімальним, а також визначення оптимальних конструктивних та технологічних параметрів різальних пристроїв.

Список використаних джерел

1. Красниченко А.В. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин (Том 2) [Под ред. А.В. Красниченко] — М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1961.
2. Босой Е.С. Режущие аппараты уборочных машин / Е.С. Босой — М.: Машиностроение, 1967.
3. Трубилин Е.И. Машины для уборки сельскохозяйственных культур / Е.И. Трубилин, В.А. Абликов — Краснодар: КГАУ, 2010.
4. Долгов И.А. Уборочные сельскохозяйственные машины (конструкция, теория, расчет) / И.А. Долгов — Ростов-н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003.
5. 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 —58.