
УДК 631.355.072/1

Грубань В., асистент (Миколаївський національний аграрний університет)

Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів апарата багатофакторної дії для збирання кукурудзи

Наведено результати теоретичних досліджень основних способів відокремлення качанів кукурудзи від стебел і розроблені відповідні математичні моделі. Розглянуто технологічний процес відокремлення качанів за поєднання багатьох сил, а також проведено оцінювання результативної напруги. На підставі отриманих рівнянь визначені шляхи подальшого розвитку кукурудзозбиральної техніки нового покоління.

Ключові слова: кукурудза, відокремлення качанів, качановідокремлювальний апарат, багатофакторна дія, математична модель.

Постановка проблеми. Важливим технологічним процесом під час збирання кукурудзи на зерно, який значною мірою регламентує якісні та кількісні показники зібраного врожаю, є відокремлення качанів куку-

© Грубань В. 2017

рудзи від стебел. Однак, поставлені на виробництво ще в середині минулого сторіччя пікерно-стриперні качановідокремлювальні апарати, які встановлені на більшості кукурудозбиральних машин світу, за якісними показниками роботи відстають від належного рівня. Незадовільна якість виконання заданого технологічного процесу пояснюється тим, що в основу їхньої роботи покладено принцип відокремлення за рахунок поздовжнього розтягування плодоніжки, що призводить до її розриву. Але у деяких випадках опір розриву стебла може бути меншим, ніж у плодоніжки, що призведе до втрати врожаю вільними качанами [1]. До того ж, за рахунок значного натягу плодоніжки та її різкого руйнування не виключена можливість вильоту качана після відокремлення за межі жатки.

Тому розробка нової конструкції качановідокремлювального апарата, який відповідає міжнародним вимогам якості, стандартизації та сертифікації, а також його теоретичне обґрунтування є важливою науковою задачею.

Аналіз останніх досліджень. Значний обсяг робіт з удосконалення качановідокремлювального апарата проведений ученими різних науково-дослідних установ. Окремі елементи цього питання вирішувалися в КБ Херсонського комбайнового заводу, але, на жаль, основна частина досліджень була призупинена на початку 90-х років минулого сторіччя.

Величезний внесок у розвиток цієї галузі зробили багато вчених, таких як Л.І. Анісімов, В.П. Горьчкін, П.П. Карпуша, Н.В. Тудель, Н.Є. Резник, К.В. Шатилов, Б.Д. Козачок, К.І. Шмат, М.І. Конопельцев, Н.І. Ніколаєв, Є.І. Бондарєв, Г.І. Гребенюк, Д.В. Кузенко, О.В. Бондаренко, І.І. Резніченко, О.Е. Самарін, О.В. Мигальов, Є.В. Труфляк [3, 4, 5, 8]. У їхніх роботах висвітлені питання протікання технологічних процесів, а також кінематичних залежностей від розроблюваних конструкцій. На підставі цих досліджень з'явилась загальна думка, що найбільш перспективним шляхом удосконалення качановідокремлювальних апаратів є стабілізація параметрів процесу відокремлення качанів, тобто перехід від конструкцій, у яких відокремлення качанів носить випадковий, хаотичний характер, до конструкцій, у яких ці процеси прогнозовані на основі певних закономірностей [8].

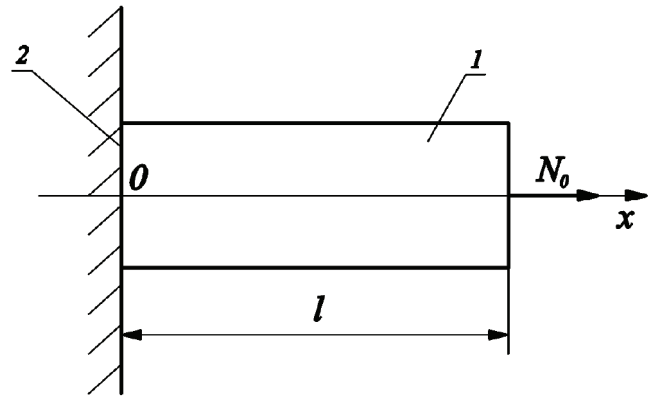
Найбільш простим способом вирішення поставленої задачі є введення в зону відокремлення качанів додаткових сил, а саме: різання, кручення, згинання та інших або їх комбінацію. При цьому процес відокремлення буде відбуватися за складної деформації плодоніжки, що дозволить знизити необхідне зусилля для відокремлення качана, а отже, і загальні втрати врожаю.

Метою роботи є обґрунтування роботи пікерно-стриперного качановідокремлювального апарата шляхом розроблення математичної моделі процесу відокремлення качанів за комплексного поєднання декількох сил.

Результати дослідження. По-перше, розглянемо роботу серійного качановідокремлювального апарата, в якому відокремлення качанів відбувається за рахунок розтягування плодоніжки.

Для цього, як модель руйнування плодоніжки, вибираємо розтягну пружну нитку постійного перети-

ну S_0 . Нитка тягнеться протягувальними вальцями до моменту зіткнення (удару) основи качана об перешкоду (стриперні пластини). Розгляд процесу розпочинаємо з моменту контакту основи качана (рис. 1) зі стріперними пластинами, який приймаємо за нульовий момент часу ($t = 0$). Дію протягувальних вальців замінимо раптово прикладеною силою N_0 до вільного кінця плодоніжки ($z = l$). Лівий кінець плодоніжки вважаємо закріпленим між стріперними пластинами.



1 – плодоніжка; 2 – основа
Рис. 1 – Розрахункова схема (модель)

Статичного навантаження на плодоніжку викликає напруження в модельній нитці, однакове по її довжині [7]:

$$\sigma = \frac{N_0}{S_0}, \quad (1)$$

де S_0 – площа перетину плодоніжки.

Початкові умови вважаємо нульовими, тобто вважаємо, що до моменту $t = 0$ плодоніжка перебуває у спокої:

$$t = 0; \quad u(0, z) = 0; \quad \frac{\partial u(0, z)}{\partial t} = 0, \quad (2)$$

де t – час;

u – функція поздовжніх деформацій.

Граничні умови в точці закріплення плодоніжки ($z = 0$) запишемо як $z = 0, u = (0, t)$.

Максимальне значення деформації плодоніжки $u(t, z)$ досягається у момент часу $t_1 = 2l/a_0$ в точці прикладання сили $N_0 (z = l)$:

$$u_{\max} = \frac{16N_0l}{ES\pi^2} \sum_n \frac{1}{n^2}, \quad (n = 1, 3, 5, \dots), \quad (3)$$

де l – довжина качана;

E – модуль пружності 1-го роду (модуль Юнга) матеріалу хвилеводу.

За динамічного навантаження:

$$u_{\max} = \frac{2N_0l}{ES_0}. \quad (4)$$

У разі статичного навантаження:

$$u_{\max} = \frac{N_0 l}{ES_0} \quad (5)$$

Тепер знайдемо максимальне зусилля в нитці:

$$T_{\max} = \frac{8N_0 ES_0}{\pi q_0 a_0^2} \sum_n \frac{(-1)^{n-1}}{n} \quad (6)$$

де q_0 – маса нитки (плодоніжки) одиничної довжини;

a_0 – швидкість поздовжніх хвиль в качані.

Таким чином, динамічне руйнування нитки силою N_0 дасть зусилля в точці закріплення плодоніжки та качана [7]:

$$T_{\max} = 2N_0 \quad (7)$$

що у 2 рази більше від зусилля за статичного навантаження силою N_0 .

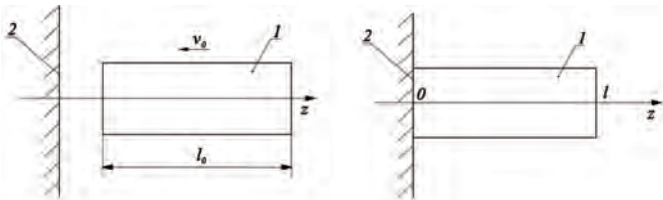
Знайдемо напругу в нитці під час руйнування:

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S} = \frac{2N_0}{S} \quad (8)$$

Виходячи з (7) видно, що для більш ефективного виконання технологічного процесу відокремлення качанів необхідно прагнути до збільшення швидкості обертання протягувальних вальців. Однак, досить високі швидкості протягування та значні зусилля відокремлення призводять до вильоту качанів за межі жатки, тим самим зменшуючи повноту збирання врожаю.

Відокремлення качанів у пікерно-стриперних апаратах невід'ємно супроводжується ударом останніх об стріперні пластини, тому наступним кроком у вивченні роботи качановідокремлювальних апаратів буде дослідження цього явища.

Взаємодію качана зі стріперними пластинами можна розглянути як удар пружного стрижня, що рухається зі швидкістю v_0 , по нерухомій плиті (рис. 2), маса якої значно перевищує масу стрижня. Вважаємо, що стріперні пластини не деформуються і залишаються нерухомими.



1 – качан; 2 – стріперні пластини

Рис. 2 – Схема взаємодії (удару) качана зі стріперними пластинами

Розглянемо дві моделі удару. У першому випадку хвильовими процесами в качані нехтуватимемо. Вважаємо, що качан деформується повністю одночасно по всій довжині. Розподіл напруження в качані апроксимуємо лінійно такою залежністю:

$$\sigma(z) = \sigma_0 \frac{z}{l} \quad (9)$$

де z – координата, величина якої відрізняється від вільного кінця плодоніжки;

σ_0 – напруження в основі качана;

l – довжина качана;

$\sigma(z)$ – напруження в точці з координатою z .

Зусилля в качані визначається як:

$$T(z) = S_0 \sigma(z) \quad (10)$$

де S_0 – площа поперечного перетину качана.

На нескінченно малій ділянці качана dz отримаємо повну роботу деформації всього качана:

$$A = \frac{\sigma_0^2 S_0 l}{6 E} \quad (11)$$

де E – модуль пружності.

Прирівняємо роботу деформації (11) до кінетичної енергії, знайдемо [6]:

$$\sigma_0 = \sqrt{3} \frac{v_0}{a_0} E \quad (12)$$

де a_0 – швидкість поздовжніх хвиль у качані.

Тоді, підставляючи (12) в (10), отримаємо вираз для визначення зусилля в качані під час удару:

$$T = \sqrt{3} \frac{v_0}{a_0} ES_0 \quad (13)$$

У другому випадку вирішимо це ж завдання, використовуючи хвильову модель стрижня.

Максимального значення переміщення правого торця качан ($z = l$) досягає за $t = l/a_0$ [2]:

$$u_{\max} = -\frac{8v_0 l}{\pi^2 a_0} \left(1 + \frac{1}{9} + \frac{1}{25} + \dots \right) = -\frac{v_0 l}{a_0} \quad (14)$$

Максимальне значення зусилля в точці $z = 0$ досягається у момент часу $t_1 = l/a_0$:

$$T_{\max} = -\frac{4v_0 ES_0}{\pi a_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} = -\frac{v_0}{a_0} ES_0 = -v_0 S_0 \sqrt{\rho E} \quad (15)$$

($n = 1, 3, 5, \dots$).

Таким чином, правильне рішення задачі (15) відрізняється від наближеного (13) множником $\sqrt{3}$. Наближене рішення дасть завищене значення.

Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок, що використання хвильової теорії дасть точніше уявлення про процеси, які проходять у качані під час його відокремлення за рахунок удару об стріперні пластини. Однак, удар у процесі качановідокремлення залишається небажаним явищем, оскільки в результаті такої взаємодії качана зі стріперними пластинами виникає велика вірогідність руйнування основи качана, що під час його транспортування робочими орга-

нами кукурудзозбиральних машин і очищення від обгортки призведе до часткового, а в гіршому випадку, і до повного вилучення зерна, тим самим підвищуючи загальні втрати врожаю.

Якщо розглядати поєднання декількох сил у процесі качановідокремлення, то одним з перспективних шляхів інтенсифікації цього процесу є комплексне використання розтягування плодоніжки разом з її закручуванням. При цьому кручення буде виступати додатковим руйнівним зусиллям.

Розглянемо технологічну схему, в якій кручення тіла плодоніжки здійснюється закручуванням качана прогумованою стрічкою зі швидкістю v_1 . Одночасно обертанням протягувальних вальців здійснюється переміщення качана в бік стріперних пластин зі швидкістю v_0 , після досягнення яких відбувається його відокремлення.

Що стосується взаємодії качана з рухомою стрічкою, то можливі два варіанти моделювання процесу закручування.

Перший варіант – закручування качана без прослизання. Тоді кут закручування визначиться як [7]:

$$\varphi_{\max} = \frac{v_1 h}{v_0 R}, \quad (16)$$

де R – середній радіус качана;

h – шлях, пройдений качаном за час контакту зі стрічкою.

Другий варіант – визначення кута закручування з рівняння крутильного маятника (рис. 3):



Рис. 3 – Розрахункова схема крутильних деформацій

$$I_o \ddot{\varphi} + \frac{I_p G}{l} \varphi = M(t), \quad (17)$$

де I_p – полярний момент інерції для круглого вала (як моделі плодоніжки);

I_o – момент інерції качана щодо осі симетрії;

G – модуль зрушення (модуль пружності II роду) для матеріалу вала (плодоніжки);

l – довжина вала (плодоніжки);

$M(t)$ – крутний момент від дії сили тертя між качаном і прогумованою стрічкою.

При цьому максимальний кут закручування дорівнює:

$$\varphi_{\max} = \varphi(t_1) \approx \frac{M_0}{I_o} \cdot \frac{1 - \cos \omega t_1}{\omega^2}, \quad (18)$$

де t_1 – час дії закручування, рівний проміжку між

моментом входу качана в контакт зі стрічкою та моментом удару качана об стріперні пластини.

Тепер знайдемо крутний момент у перетині кріплення качана до плодоніжки:

$$M_{кр \max} = \frac{M_0}{I_o} \frac{GI_p}{l} \frac{1 - \cos \omega t_1}{\omega^2} = M_0 (1 - \cos \omega t_1). \quad (19)$$

Максимального значення момент (19) досягає за $\cos \omega t_1 = -1$ або за $\omega t_1 = \pi$. Тоді $M_{кр \max} = 2M_0$.

Найбільшу дотичну напругу кручення визначимо як [6]:

$$\tau_{\max} = \frac{M_{кр \max}}{W_p}, \quad (20)$$

де W_p – момент опору вала під час кручення.

Для круглого перетину вала:

$$W_p = \frac{I_p}{R} = \frac{\pi R^3}{2}. \quad (21)$$

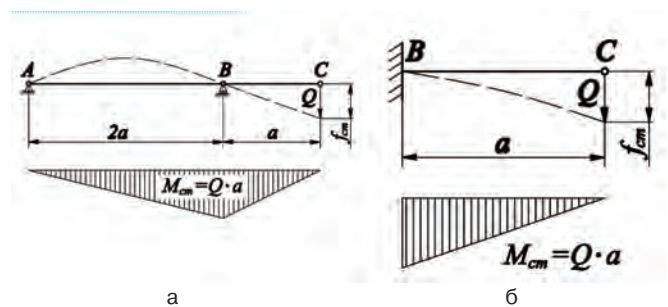
Іншим перспективним шляхом усунення недоліків роботи серійних качановідокремлювальних апаратів вважається введення в зону качановідокремлення додаткового зусилля зламу плодоніжки. Тому розглянемо технологічну схему, в якій обертанням протягувальних вальців здійснюється переміщення качанів до стріперних пластин. При цьому, за рахунок конструкційних змін качановідокремлювального апарата, качани займають положення, відмінне від вертикальності, що і забезпечує злам плодоніжки.

Напруження в плодоніжці від дії вигинального моменту M визначиться як:

$$\sigma_{cm} = \frac{M_{cm}}{W}, \quad (22)$$

де W – момент опору перетину.

Розглянемо дві схеми статичного навантаження (рис. 4). Вважаємо, що довжина качана $l = 2a$, довжина плодоніжки теж рівна $2a$.



а – з шарнірним затисканням у точці В; б – з жорстким затисканням у точці В

Рис. 4 – Схеми статичного навантаження

В обох випадках напруження вигину однакові, а коефіцієнти динамічності в другому випадку більші на $\sqrt{3}$, ніж у першому.

Визначимо динамічне напруження вигину [7]:

$$\sigma_{\delta} = \sigma_{cm} \cdot k_{\delta}. \quad (23)$$

де $\sigma_{ст}$ – напруження за статичного навантаження;
 k_d – коефіцієнт динамічності.

Тоді за першою схемою отримуємо:

$$\sigma_{\partial} = 32 \frac{Q_0 a}{\pi d^3} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{v_0^2 EI}{g Q_0 a^3}} \right], \quad (24)$$

за другою схемою:

$$\sigma_{\partial} = 32 \frac{Q_0 a}{\pi d^3} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{3v_0^2 EI}{g Q_0 a^3}} \right]. \quad (25)$$

Розглянуті способи відокремлення качанів поодиноці не в змозі забезпечити необхідний якісний рівень процесу качановідокремлення, їх необхідно використовувати комплексно. Лише в такому разі можливо досягти істотного поліпшення роботи качановідокремлювальних апаратів.

Для оцінки результатної напруги скористаємося відомими теоріями міцності [7], у результаті чого отримуємо:

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{1}{2} \left[\sigma_{p.v.} + \sqrt{\sigma_{p.v.}^2 + 4\tau_k^2} \right]; \quad (26)$$

$$\sigma_{\Sigma} = \left[0,35\sigma_{p.v.} + 0,65\sqrt{\sigma_{p.v.}^2 + 4\tau_k^2} \right]; \quad (27)$$

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{p.v.}^2 + 4\tau_k^2}; \quad (28)$$

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{p.v.}^2 + 3\tau_k^2}; \quad (29)$$

де $\sigma_{p.v.} = \sigma_p + \sigma_b$ – сума нормального напруження;
 σ_b – динамічне напруження вигину;
 σ_p – максимальне напруження розтягування;
 τ_k – максимальне дотичне напруження кручення.

Висновки. У результаті проведених досліджень основних способів відокремлення качанів розроблена математична модель качановідокремлення за поєднання багатьох сил, яка дає можливість встановити закономірності зміни основних кінематичних параметрів качановідокремлювального апарата багатofакторної дії.

Подальші дослідження, після перевірки отриманих результатів на лабораторних приладах, будуть зосереджені на практичному втіленні цих розробок під час проектування та виготовлення кукурудзозбиральної техніки.

Список літератури

1. Демко А. Чому втрати урожаю – не збитки, а статистика? / А. Демко, О. Демко // Пропозиція, 2009. – № 9. – С. 100-104.
2. Ерофеев В.И. Волны в стержнях. Дисперсия. Диссипация. Нелинейность. / В.И. Ерофеев, В.В. Кажав, Н.П. Семерикові. – 2002. М.: Физматлит. –

208 с.

3. Карпуша П.П. Оптимальні параметри качановідокремлювачів очісувального типу / П.П. Карпуша, М.І. Конопельцев // Вісник сільськогосподарської науки. – К., 1970. – № 6. – С. 40-43.

4. Конопельцев М.И. Обоснование параметров протягивающих вальцов початкоотделяющего аппарата очесывающего типа // Сб. науч. тр. УСХА, Киев, – 1973. – Вып. 100. – С. 15-19.

5. Кукурудзозбиральні комбайни: теоретичні основи, конструкція, проектування. Навчальний посібник / К.І. Шмат, О.Е. Самарін, Є.І. Бондарев, О.В. Мигальов. – Херсон: ОЛДІ-плюс, 2009. – 140 с.

6. Манжосов В.К. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах / В.К. Манжосов, В.Э. Еремьянц. – М.: Наука, 1985. – 358 с.

7. Сагомоян А.Я. Волны напряжения в силовых средах. Учебное пособие / А.Я. Сагомоян. – М.: Изд.-во Моск. ун-та, 1985. – 416 с.

8. Шатилов К.В. Кукурузоуборочные машины / К.В. Шатилов, Б.Д. Козачок, А.П. Орехов и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.

Аннотация. Приведены результаты теоретических исследований основных способов отделения початков кукурузы от стеблей и разработаны соответствующие математические модели. Рассмотрены технологический процесс отделения початков при сочетании многих сил, а также проведена оценка результирующего напряжения. На основании полученных уравнений определены пути дальнейшего развития кукурузоуборочной техники нового поколения.

Summary. The results of theoretical research the main methods of separating corn cobs and stalks are cited appropriate mathematical models are developed. The technological process of separation heads in combination of many forces are discovered and effective voltage is evaluated. The ways of further development of maize machinery of new generation based on the obtained equations are defined.

Стаття надійшла до редакції 2 березня 2017 р.