

УДК 631.355.072/1

К.М. Думенко, д-р техн. наук, О.В. Бондаренко, канд. техн. наук, Г.Б. Філімоніхін, проф., д-р техн. наук, Ю.В. Кулешков, проф., д-р техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна, dumenkokn@mail.ru

Математичне обґрунтування технологічного процесу роботи качановідокремлювального апарату багатofакторної дії

У роботі проведені дослідження основних способів відокремлення качанів від стебел. Розроблена математична модель процесу відокремлення качанів при поєднанні багатьох сил, яка дає можливість встановити закономірності зміни основних кінематичних параметрів качановідокремлювального апарату багатofакторної дії. На підставі отриманих рівнянь визначені шляхи подальшого розвитку кукурудозбиральної техніки нового покоління.

протягувальні вальці, стриперні пластини, качановідокремлювальний апарат

К.М. Думенко, д-р техн. наук, О.В. Бондаренко, канд. техн. наук, Г.Б. Филимоныхин, проф., д-р техн. наук, Ю.В. Кулешков, проф., д-р техн. наук

Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина

Математическое обоснование технологического процесса работы качаноотделяющего аппарата многофакторного действия

В работе проведены исследования основных способов отделения кочанов от стеблей. Разработана математическая модель процесса отделения кочанов при объединении многих сил, которая дает возможность установить закономерности изменения основных кинематических параметров качаноотделяющего аппарата многофакторного действия. На основании полученных уравнений определены пути дальнейшего развития кукурузоуборочной техники нового поколения.

протяжные вальцы, стрипперные пластины, качаноотделяющий аппарат

Постановка проблеми. Відокремлення качанів кукурудзи від стебел є важливим технологічним процесом при збиранні кукурудзи на зерно, що в значній мірі регламентує якісні та кількісні показники зібраного врожаю. На жаль, поставлені на виробництво ще в середині минулого сторіччя пікерно-стриперні качановідокремлювальні апарати, які встановлені на більшості кукурудозбиральних машин світу, за якісними показниками роботи знаходяться на неналежному рівні. В значній мірі незадовільна якість виконання заданого технологічного процесу пояснюється тим, що в основу їх роботи покладений принцип відокремлення за рахунок повздовжнього розтягування плодоніжки, що призводить до її розриву. Однак у деяких випадках опір розриву стебла може бути меншим ніж у плодоніжки, що призведе до втрати врожаю вільними качанами [2, 3]. До того ж, за рахунок значного натягу плодоніжки та різкому її руйнуванню не виключена можливість вильоту качана після відокремлення за межі жатки.

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

© К.М. Думенко, О.В. Бондаренко, Г.Б. Філімоніхін, Ю.В. Кулешков, 2015

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний об'єм робіт по вдосконаленню качановідокремлювального апарату проведений ученими різних науково-дослідних установ колишнього СРСР. 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.

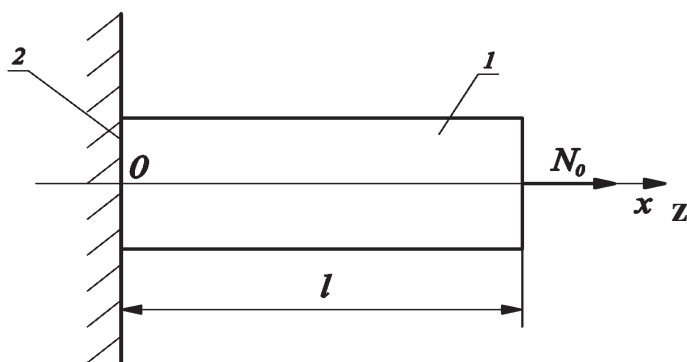
Величезний внесок у розвиток цієї галузі зробили ряд учених. Передусім слід згадати роботи П.П. Карпуши, Н.Ф. Туделя, Л.І. Анісімової, К.В. Шатілова, М.І. Конопельцева, К.І. Шмата [1, 5, 6, 7, 12, 14] в яких висвітлені питання протікання технологічних процесів, а також кінематичних залежностей в розробляємих конструкціях. На підставі цих досліджень з'явилась загальна думка, що найбільш перспективним шляхом вдосконалення качановідокремлювальних апаратів є стабілізація параметрів процесу відокремлення качанів. Тобто перехід від конструкцій, в яких відокремлення качанів носить випадковий, хаотичний характер, до конструкцій, в яких ці процеси прогнозовані на основі певних закономірностей [2].

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 при складній деформації плодоніжки, що дозволить знизити необхідне зусилля для відокремлення качана, а отже і загальні втрати врожаю.

Постановка завдання. Метою роботи є обґрунтування роботи пікерно-стриперного качановідокремлювального апарату шляхом розробки математичної моделі процесу відокремлення качанів при комплексному поєднанні декількох сил.

Виклад основного матеріалу. По-перше, розглянемо роботу серійного качановідокремлювального апарату в якому відокремлення качанів відбувається за рахунок розтягування плодоніжки.

Для цього, як модель руйнування плодоніжки, вибираємо розтягну пружну нитку постійного перетину S_0 . Нитка тягнеться протягувальними вальцями до моменту зіткнення (удару) основою 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 нитки ($z = l$). Лівий кінець нитки вважаємо закріпленим між стріперними пластинами.



1 – нитка; 2 – основа

Рисунок 1 – Розрахункова схема (модель)

У разі статичного навантаження плодоніжки в модельній нитці виникає напруга, однакова по її довжині [10]:

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

де S_0 – площа перетину нитки.

Початкові умови вважаємо нульовими, тобто вважаємо, що до моменту $t = 0$ нитка знаходиться 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 нитки ($z = 0$) запишемо як $z = 0, u = (0, t)$.

Максимальне значення деформації нитки $u(t, z)$ 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 нитки;

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

При динамічному навантаженні:

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

У разі статичного навантаження:

$$u_{\max} = \frac{N_0l}{ES_0}. \quad (5)$$

Тепер знайдемо максимальне зусилля в нитці:

$$T_{\max} = \frac{8N_0ES_0}{\pi q_0 a_0^2} \sum_n \frac{(-1)^{\frac{n-1}{2}}}{n}, \quad (6)$$

де q_0 – маса нитки (плодоніжки) одиничної довжини;

a_0 – швидкість хвиль в плодоніжці.

Таким чином, динамічне руйнування нитки силою N_0 дасть зусилля в точці закріплення плодоніжки та качана [10]:

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

що у 2 рази більше зусилля при статичному навантаженні силою N_0 .

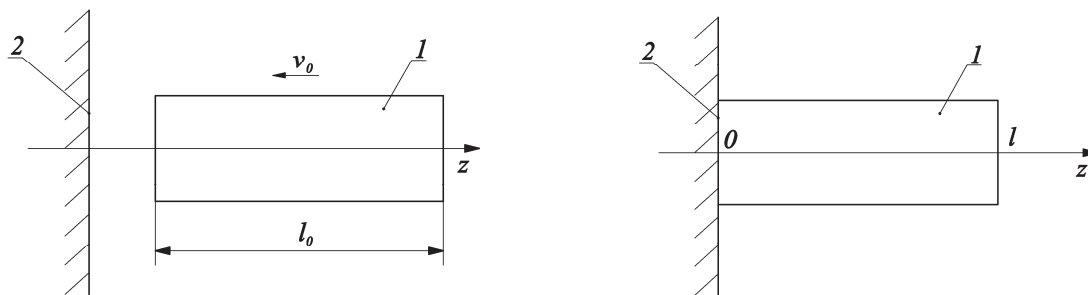
Знайдемо напругу в нитці при руйнуванні:

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

Виходячи з (7) видно, що для більш ефективного виконання технологічного процесу роботи 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 в пікерно-стриперних апаратах невід'ємно супроводжується ударом останніх об стріперні пластини, тому наступним кроком в вивченні роботи качановілокремлювальних апаратів буде дослідження даного 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 – стрижень (качан); 2 – плита (стриперні пластини)

Рисунок 2 – Схема взаємодії (удару) стрижня об стриперні пластини

Розглянемо дві моделі удару. У першому випадку хвильовими процесами в качані нехтуватимемо. Вважаємо, що качан деформується повністю одночасно по всій довжині [9]. Розподіл напруження в качані апроксимуємо лінійною залежністю виду:

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

де z – координата, величина якої відрізняється від вільного кінця качана;
 σ_0 – напруження у взаємодіючій зі стриперними пластинами 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 [11]:

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

де a_0 – швидкість поздовжніх хвиль в качані, $a_0 = \sqrt{E/\rho}$.

Тоді, підставляючи (12) в (10), отримаємо вираз для визначення зусилля в качані при ударі:

$$T = \sqrt{3} \frac{v_0}{a_0} E S_0. \quad (13)$$

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

Максимального значення переміщення правого торця качана ($z = l$) досягає при $t = l/a_0$ [4]:

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

Максимальне значення зусилля в точці $z = 0$ досягається у момент часу $t_1 = l/a_0$ [13]:

$$T_{\max} = -\frac{4v_0 ES_0}{\pi a_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} = -\frac{v_0}{a_0} ES_0 = -v_0 S_0 \sqrt{\rho E}, \quad (n = 1, 3, 5, \dots). \quad (15)$$

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

Виходячи з вищесказаного можна зробити висновок, що використання хвильової теорії дасть більш точніше уявлення про процеси, які проходять в качані при його відокремленні за рахунок удару об стріперні пластини. Однак удар, в процесі качановідокремлення, залишається небажаним явищем, оскільки в результаті такої взаємодії качана зі стріперними пластинами виникає велика вірогідність руйнування основи качана, що в подальшому при його транспортуванні робочими органами кукурудзозбиральних машин і очищені від обгортки призведе до часткового, а в гіршому випадку і до повного вилущення зерна, тим самим підвищуючи загальні втрати врожаю.

Якщо розглядати поєднання декількох сил у процесі качановідокремлення, то одним з перспективних шляхів інтенсифікації даного процесу є комплексне використання розтягування плодоніжки разом з її закручуванням. При цьому кручення буде виступати в ролі додаткового руйнуючого зусилля.

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 можливо два варіанти моделювання процесу закручування.

Перший варіант закручування качана без прослизання. Тоді кут закручування визначиться як [10]:

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

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):

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

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

I_o – момент інерції качана щодо вісі симетрії;

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

l – довжина валу (плодоніжки);

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

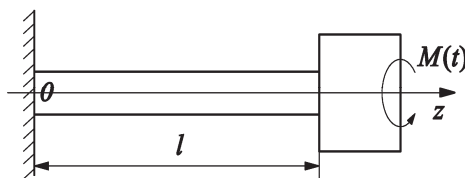


Рисунок 3 – Розрахункова схема крутильних деформацій

При цьому максимальний кут закручування дорівнює

$$\varphi_{\max} = \varphi(t_1) \approx \frac{M_0}{I_0} \cdot \frac{1 - \cos \omega t_1}{\omega^2}, \quad (18)$$

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 в перетині кріплення качана до плодоніжки:

$$M_{кр \max} = \frac{M_0}{I_0} \frac{GI_p}{l} \frac{1 - \cos \omega t_1}{\omega^2} = M_0 (1 - \cos \omega t_1). \quad (19)$$

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

Найбільшу дотичну напругу кручення визначимо як [10]

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

де W_p – момент опору валу при крученні.

Для круглого перетину валу:

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

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 конструктивних змін качановідокремлювального апарату, качани займають положення, відмінне від вертикальності, що і забезпечує злам плодоніжки.

Напруження в плодоніжці при дії відомого вигинаючого моменту M визначиться як:

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

де W – момент опору перетину.

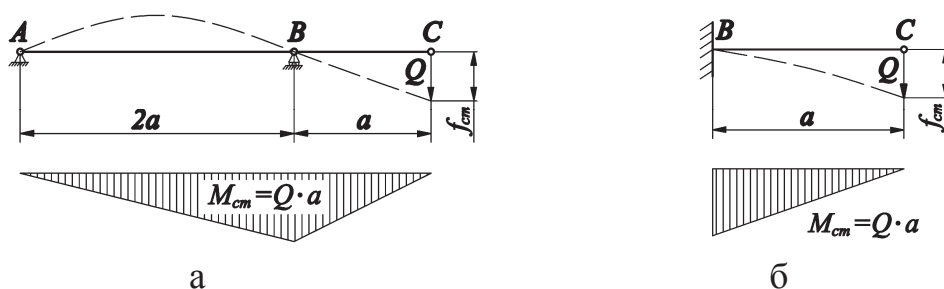
Розглянемо дві схеми статичного навантаження (рис. 4). Вважаємо, що довжина качана $l = 2a$, довжина плодоніжки теж рівна $2a$.

У обох випадках напруження вигину однакові, а коефіцієнти динамічності в другому випадку більше в $\sqrt{3}$, ніж в першому.

Визначимо динамічне напруження вигину [11, 13]

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

де σ_{cm} – напруження при статичному навантаженні;
 k_{δ} – коефіцієнт динамічності.



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

Рисунок 4 – Схеми статичного навантаження

Тоді по першій схемі отримуємо:

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

По другій схемі

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

Розглянуті способи відокремлення качанів по одинці 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 результуючої напруги скористаємося відомими теоріями міцності [9, 10, 13], в 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 $\sigma_{p.v.} = \sigma_p + \sigma_e$ – сума нормального напруження;

σ_e – динамічне напруження вигину;

σ_p – *тах* напруження розтягування;

τ_k – *тах* дотичне напруження кручення.

Висновки. В результаті проведених досліджень основних способів відокремлення качанів розроблена математична модель качановідокремлення при поєднанні багатьох сил, яка дає можливість встановити закономірності зміни основних кінематичних параметрів качановідокремлювального апарату багатофакторної дії.

Подальші дослідження, після перевірки отриманих результатів на лабораторних приладах, будуть зосереджені на практичному втіленні даних розробок при проектуванні та виготовленні кукурудзозбиральної техніки.

Список літератури

1. Анисимова Л.И. Теоретические и экспериментальные исследования закономерностей движения стеблей в початкоотделяющих аппаратах ручьевого типа [Текст] / Л.И. Анисимова // ВИСХОМ. – Москва, 1966. – Вып. 47. – С. 259–280.
2. Гребенюк Г.І. Конструктивно-технологічні передумови вдосконалення качановідокремлювальних пристроїв кукурудзозбиральних машин [Текст] / Г.І. Гребенюк, Д.В. Кузенко, О.В. Бондаренко // Вісник аграрної науки Причорномор'я, 1999. – Вип. 7. – С. 32-36.
3. Демко А. Чому втрати урожаю – не збитки, а статистика? [Текст] / А. Демко, О. Демко // Пропозиція, 2009. – № 9. – С. 100-104.
4. Ерофеев В.И. Волны в стержнях. Дисперсия. Диссипация. Нелинейность [Текст] / В.И. Ерофеев, В.В. Кажаяев, Н.П. Семерикові. – 2002. М.: Физматлит. – 208 с.
5. Карпуша П.П. Оптимальні параметри качановідокремлювачів очісувального типу [Текст] / П.П. Карпуша, М.І. Конопельцев // Вісник сільськогосподарської науки. – К., 1970. – № 6. – С. 40-43.
6. Конопельцев М.И. Обоснование параметров протягивающих вальцов початкоотделяющего аппарата очесывающего типа // Сб. науч. тр. УСХА, Киев, – 1973. – Вып. 100. – С. 15-19.
7. Кукурудзозбиральні комбайни: теоретичні основи, конструкція, проектування. Навчальний посібник [Текст] / К.І. Шмат, О.Е. Самарін, Є.І. Бондарев, О.В. Мигальов. – Херсон: ОЛДІ-плюс, 2009. – 140 с.

8. Манжосов В.К. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах [Текст] / В.К. Манжосов, В.Э. Еремьянц. – М.: Наука, 1985. – 358 с.
9. Николас Т. Поведение материалов при высоких скоростях деформации [Текст] / Т. Николас // Динамика удара. М.: Мир. – 1985. – 257 с.
10. Писаренко Г.С. Опір матеріалів [Текст] / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський. – К.: Вища школа, 1993. – 655 с.
11. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара [Текст] / Я.Г. Пановко. – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
12. Тюдель Н.В. Исследование процесса питания початкоотделяющих аппаратов. Земледельческая механика [Текст] / Н.В. Тюдель // Сборник трудов под редакцией академика ВАСХНИЛ В.А. Желиговского. – Том 7. – М., Машиностроение, 1967. – С. 300-305.
13. Сагомоян А.Я. Волны напряжения в силовых средах. Учебное пособие [Текст] / А.Я. Сагомоян. – М.: Изд.-во Моск. ун-та, 1985. – 416 с.
14. Шатилов К.В. Кукурузоуборочные машины [Текст] / К.В. Шатилов, Б.Д. Козачок, А.П. Орехов и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.

Konstantin Dumenko, DSc., assistant professor, Alexander Bondarenko, PhD tech. sci., assistant professor, Genadiy Filimonihin, prof., DSc., Yuriy Kuleshkov, prof., DSc.

Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad, Ukraine

Mathematical justification of technological process work of corn picker multifactor action

The aim is to study work pick plate separation machine heads by developing a mathematical model of the process separation heads at complex combination of several forces

In the work study the basic methods of separating the cobs from the stalks. Developed a mathematical model the process of separating the cobs with a combination of many forces, which gives you the opportunity to establish patterns of changes in the basic kinematic parameters of the picking machine multifactorial action. Based on these equations are defined ways further development of corn-harvesting technical new generation.

As a result of the research means separation of ears basic mathematical model separation machine heads the combination of many forces, which makes it possible to change the basic patterns of kinematic parameters separation machine heads multi-unit action.

stretch rollers, pick plate, separation machine heads

Одержано 08.11.15

УДК 631.331.533.6

Е.В. Золотовская, доц., канд. техн. наук, А.С. Миронов, доц., канд. техн. наук

Днепропетровский аграрно-экономический университет, г. Днепропетровск, Украина, alona197@mail.ru

Моделирование параметров высевающего аппарата овощной сеялки

В статье представлены исследования на экспериментальном стенде определения параметров высевающего аппарата. Определены пределы параметров и оптимальные их значения. Для стационарной области изменения параметров высевающего аппарата построена математическая модель процесса высева семян и определен оптимальный параметр присасывающего отверстия. Построенные математические модели процесса семян овощных культур позволяют в зависимости от поставленных задач определить оптимальную частоту оборотов ротора высевающего аппарата при заданной норме высева, культуре семян, диаметре присасывающего отверстия и величине давления

точный высев овощных семян, высевающий аппарат, диаметр присасывающего отверстия, давление, математическая модель

© Е.В. Золотовская, А.С. Миронов, 2015