

ВІСНИК

*Житомирського національного
агроекологічного університету*



№ 2 (45), т. 4, ч. I
2014

Науково-теоретичний збірник

УДК 631.355.075

В. А. Грубань

Миколаївський національний аграрний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИСТКИ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ

У даній роботі представлено теоретичні дослідження, які змістовно описують поведінку качанів під час їх контакту з притискними пристроями та надають можливість більш ретельніше вивчити таку складну технологічну операцію, як очищення качанів кукурудзи від обгортки. Отримано математичні залежності, що дозволяють визначити найбільш оптимальні режими роботи качаноочисного пристрою та основні кінематичні параметри притискних робочих органів, а саме гумових лопатей. Завдяки цьому можна спрогнозувати надійну та безвідмовну роботу качаноочисного апарата ще під час проектування, а найголовніше – виключити існуючі недоліки сучасних очисних пристроїв, до яких відноситься травмування зернової частини врожаю.

Ключові слова: кукурудза, качаноочисний пристрій, очисні вальці, притискний пристрій, обгортка качанів.

Постановка проблеми

Проектування машин для аграрного виробництва вимагає на сучасному етапі моделювання процесів з подальшою розробкою необхідної теорії, яка нерозривно пов'язує процеси проектування з реальними умовами експлуатації. Існуючі нині елементи теорії методологічно спираються на теорію продуктивності робочих машин, розроблену для інших галузей машинобудування [4, 5], теорію експлуатації машино-тракторного парку та вивчення роботи кукурудзозбиральних машин в віртуальних умовах експлуатації. Останні дозволяють тільки виявити непродуктивні витрати робочого часу, намітити шляхи його скорочення і отримати необхідні дані для прогнозування напрямів подальшого вдосконалення машин при проектуванні.

Аналіз останніх досліджень

Наразі окрім появи нових сортів кукурудзи, застосовуються нові конструкційні матеріали основних робочих органів кукурудзозбиральних машин, та і самі робочі органи постійно удосконалюються. Для вивчення придатності нових сортів кукурудзи до механізованого збирання необхідно враховувати фізико-механічні властивості рослини. Певні об'єми досліджень з експериментального та теоретичного вивчення в цьому напрямку проведені різними науково-дослідними інститутами колишнього СРСР та конструкторським бюро Херсонського комбайнового заводу. Дослідженням фізико-механічних характеристик рослин кукурудзи присвячений ряд робіт Буянова О. І., Бурмістрова М. Ф., Бондарьов В. Г., Резніка М. Е. та інших [1, 3]. Але в літературних джерелах зовсім немає відображення вивчення основних характеристик та розмірно-масових параметрів нових сортів і гібридів кукурудзи.

© В. А. Грубань

Методик теоретичного розрахунку очисних пристроїв кукурудзо збиральних машин, а саме визначення розмірів, форми основних робочих елементів і режимів роботи залежно від заданої продуктивності та якості очищення качанів до теперішнього часу обмаль. Теоретичні та експериментальні дослідження, проведені у цій галузі різними авторами, нерідко дають дуже суперечливі рекомендації. Це пояснюється великою відмінністю фізико-механічних властивостей качанів і обгортки залежно від сорту кукурудзи, метеорологічних умов у період вегетації та збирання. Різноманіття специфічних умов технологічного процесу очищення залежно від властивостей продукту та різних конструкцій качаноочисних пристроїв експериментально також недостатньо вивчено. Через відсутність теорії розрахунку качаноочисних пристроїв у кожному окремому випадку їх розрахунок ведеться на підставі експериментальних досліджень прийнятого прототипу або макетного зразка нового типу.

Метою даної статті є моделювання процесу очистки качанів та визначення перспективних напрямків розвитку очисних апаратів, адаптованих до сучасного стану механізованих робіт.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є технологічний процес очистки качанів від обгортки при механізованому збиранні кукурудзи.

Предмет досліджень

Закономірності, що встановлюють вплив параметрів і режимів роботи качаноочисного апарату на показники якості виконання технологічного процесу очистки качанів від обгортки.

Методика досліджень

При вирішенні поставлених завдань досліджень використовувалися методи системного аналізу для аналізу структури системи, класичні методи теоретичної механіки, опору матеріалів, математичного аналізу та моделювання.

Викладення основного матеріалу

Ступінь очищення качанів від обгортки качаноочисними пристроями залежить від багатьох чинників, зокрема, від довжини та кількості пар очисних вальців, кута нахилу їх до горизонту та частоти обертання, активності робочих поверхонь вальців і їх діаметру, взаємного розташування вальців в апараті, рівномірності завантаження очисних вальців ворохом качанів, а також загального стану самого вороху. Великий вплив на якість технологічного процесу очистки робить вологість качанів і обгортки, засміченість листостебловими домішками, наявність в воросі вже очищених (у процесі відокремлення качанів) і, головним чином, розпушувальність обгортки на качанах. Сучасні качаноочисні пристрої за певних умов здатні забезпечувати ступінь очищення від обгортки на рівні 80–82%. Проте, при цьому подача на кожну пару очисних вальців не повинна перевищувати певних значень.

Для отримання високого ступеню очищення качанів кукурудзи та забезпечення високої продуктивності під час проектування необхідно обрати найбільш довершену конструкцію очисного апарату, а також притискного пристрою, яка буде найефективніше використовуватись.

Профіль і матеріал робочої поверхні вальців визначають їх активність, тобто здатність розпушувати, захоплювати та відокремлювати обгортки з качанів. З збільшенням активності вальців ступінь очищення качанів зростає, проте зростає і ступінь травмування качанів. Очисні вальці, які виготовлені з матеріалів з вищим коефіцієнтом тертя між качанами та вальцями, забезпечують вищий ступінь очищення, але сприяють травмуванню та вишелушуванню зерна.

В сучасних очисних пристроях, в основному, застосовується поєднання чавунного та гумового вальців. При такому поєднанні, внаслідок виникнення різних коефіцієнтів тертя качана по різних поверхням вальців, качан під час руху вздовж каналу набуває обертального руху навколо своєї вісі, що, в свою чергу, покращує умови захоплення обгортки з усіх боків качана. Для підвищення ступеню очищення качанів, особливо з щільно-прилеглою обгорткою, на очисних вальцях встановлюються спеціальні активізуючі зуби, які виступають над зовнішньою поверхнею вальця приблизно на 1–2 мм. При перевищенні цієї межі збільшується пошкодження качанів, а при зменшенні – навпаки знижується ступінь очищення. Для того, щоб процес очищення качанів був рівномірним та давав найкращу якість, необхідною і достатньою умовою буде те, щоб качани кукурудзи подавались рівномірним шаром.

Залежності для уточнення умов захвату обгортки вальцями та визначення необхідного діаметра вальців наведені далі. Схема очисного пристрою кукурудзозбиральних машин із захопленням обгортки наведена на рис. 1.

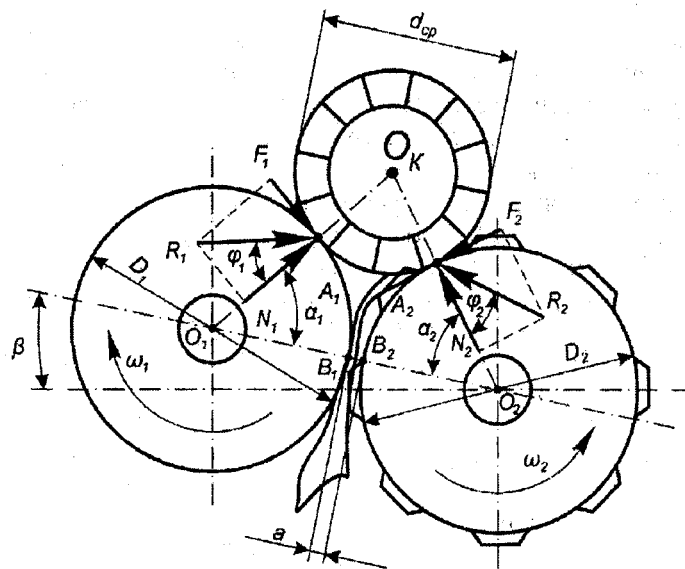


Рис. 1. Схема очисного пристрою

З боку вальців на качан діють нормальні сили реакції N_1 , і N_1' і сили тертя F_1 і F_1' , які дорівнюють: $F_1 = fN_1 = N_1 \operatorname{tg} \varphi$, де f – коефіцієнт тертя качана по вальцям, φ – кут тертя качана по вальцю. Вагу качана не враховуємо, тоді $N_1 = N_2$, а коефіцієнт тертя буде свій для кожного вальця. Рівнодійна сил N_1 , і F_1 буде R_1 , а рівнодійна сил N_1' і F_1' буде R_1' . Ці сили відхилені від радіусів O_1A_1 і $O_1'A_1'$ на кут φ (де A_1 і A_1' – точки стикання вальців з обгорткою). Виходячи з результатів раніше виконаних досліджень, надійний захват обгортки вальцями матиме місце з наступної умови:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &< \varphi \\ \alpha_1' &< \varphi' \end{aligned} \quad (1)$$

де

α_1 і α_1' – кути $A_1O_1B_1$ і $A_1'O_1'B_1'$ (де B_1 і B_1' – точки вальців, між якими утворюється щілина для проходження обгортки та дрібних решток рослинної маси).

Позначивши точку, яка розташована посередині відстані B_1B_1' , літерою E , ми розглянули трикутники O_1O_cE і $O_1'O_cE$ і встановили, що

$$\cos \alpha_1 = \cos \alpha_1' = \frac{0,5(D_B + a)}{0,5(D_B + d_c)}, \quad (2)$$

де

D_B – діаметр вальця, a – ширина щілини B_1B_1' , d_c – середній діаметр качана.

Оскільки $\cos \alpha_1 > \cos \varphi$ і $\cos \alpha_1' > \cos \varphi$, враховуючи наведену вище рівність, вважаємо, що при захваті обгортки очисним пристроєм повинна враховуватися нерівність:

$$\frac{D_B + a}{D_B + d_c} > \cos \varphi \quad (3)$$

Звідси:

$$D_B > \frac{d_c \cos \varphi - a}{1 - \cos \varphi} \quad (4)$$

Таким повинен бути діаметр кожного вальця для надійного захвату стебла. Як бачимо, діаметр вальців повинен бути тим більший, чим більший діаметр качана і менший кут тертя та розмір щілини для проходження обгортки та рослинних решток.

менший кут тертя та розмір щілини для проходження обгортки та рослинних решток.

$$a = \zeta d_c, \quad (5)$$

де

ζ – коефіцієнт, рівний 0,3 - 0,4.

З урахуванням (4) нерівність (5) можна представити у вигляді:

$$D_B > d_c \frac{\cos \varphi - \xi}{1 - \cos \varphi}. \quad (6)$$

Зробивши розрахунки, визначимо, що діаметр вальця повинен бути не менше 60 мм. Але при проектуванні нових качаноочисних пристроїв необхідно враховувати розмірно-масові характеристики основних складових рослини кукурудзи, особливо середній діаметр качанів.

Розрахунок нових качаноочисних апаратів зводиться до визначення кількості пар очисних вальців для здійснення заданої продуктивності та заданої якості виконання процесу очищення. Продуктивність очисного апарату визначається з урахуванням пропускної спроможності пари очисних вальців прийнятої конструкції у поєднанні з прийнятою конструкцією притискного пристрою. З урахуванням того, що качани в каналі очисного апарату повинні рухатися в один шар своїми подовжніми вісями вздовж каналу, пропускна спроможність однієї пари очисних вальців q_{nco} визначиться залежністю:

$$q_{nco} = g_n v_n / (l_n + \Delta l_n) \quad (7)$$

де

g_n – середня маса очищеного качана, кг;

l_n – середня довжина качана, м;

Δl_n – практично немінучий середній інтервал між качанами в каналі очисного апарату;

v_n – швидкість переміщення качанів по каналах, м/с.

Згідно з рис. 1 качан кукурудзи притискається до очисних вальців своєю вагою та силою від притискної лопати. В результаті дії цих сил між качаном та вальцями з'являються сили контакту N_1 , N_2 , на рисунку показані лінії дії цих сил. Для їх визначення вводимо систему координат xu , в якій ось ou напрямлена назустріч силі $p = p_0 + p_1$, де $p_0 = mg$, p_1 – визначена силами раніше. Для визначення сил контакту N_1 , N_2 запишемо рівняння суми проекцій всіх сил осі ox та ou . Отримаємо:

$$N_1 \cdot \cos \alpha_{22} - N_2 \cdot \cos \alpha_{22} = 0, \quad \Sigma x_i = 0; \quad (8)$$

$$N_1 \cdot \sin \alpha_{11} + N_2 \cdot \sin \alpha_{22} = p, \quad \Sigma y_i = 0, \quad (9)$$

де

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{11} &= \alpha_1 - \beta \\ \alpha_{22} &= \alpha_2 + \beta \end{aligned} \right\} \dots (10)$$

З (10) випливає, що

$$\alpha_{22} + \alpha_{22} = \alpha_1 + \alpha_2, \quad (11)$$

з $\Delta O O_1 O_2$ маємо

$$\cos \alpha_1 = \frac{R_1}{R_0 + R_1}; \quad \cos \alpha_2 = \frac{R_2}{R_0 + R_1}, \quad (12)$$

де

 R_0 – радіус качана; R_1 – радіус гумового вальця; R_2 – радіус чавунного вальця.

З (12) маємо:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{R_1}{R_0 + R_1}; \quad \dots (13)$$

$$\alpha_2 = \arccos \frac{R_2}{R_0 + R_2}; \quad (14)$$

З рішення системи рівнянь (8), (9) знайдемо значення сил N_1 , N_2 :

$$N_1 = p \frac{\cos \alpha_{22}}{\sin(\alpha_{21} + \alpha_{22})}; \quad \dots (15)$$

$$N_2 = p \frac{\cos \alpha_{11}}{\sin(\alpha_{11} \alpha_{22})}. \quad (16)$$

Вирази (15), (16) з урахуванням (10), (11):

$$N_1 = p \frac{\cos(\alpha_2 + \beta)}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}; \quad (17)$$

$$N_2 = p \frac{\cos(\alpha_1 - \beta)}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (18)$$

Вирази (17), (18) разом з (2.6), (2.7) дозволяють знайти сили контакту N_1 , N_2 . Визначаємо сили тертя між валиками и качаном:

$$F_1 = N_1 \cdot \mu_1, \quad (19)$$

$$F_2 = N_2 \cdot \mu_2, \quad \dots (20)$$

де

μ_1, μ_2 – коефіцієнти тертя ковзання вальців по обгортці качана.

В свою чергу, сили F_1, F_2 будуть прагнути розірвати обгортку качана. Крім того, так як $N_1 \neq N_2, \mu_1 \neq \mu_2$, то в силу нерівності $F_1 \neq F_2$ відбудеться обертання качана на вальцях. Якщо $F_1 > F_2$, то обертання буде відбуватися за годинниковою стрілкою, у випадку $F_2 \leq F_1$, обертання буде проти годинникової стрілки.

На рис. 2 а), б), в) наведена кінематика взаємодії притискного пристрою з гумовими лопатями 2 і качана 1. Розглянемо три найбільш характерних взаємних положення одиначної лопаті та качана: рис. 1а відповідає початковому моменту контакту, рис. 1б відображає момент вигину лопаті до положення *max* вигину та рис. 1в відображає момент вигину лопаті після проходження положення *max* вигину. Розглянемо математичну модель взаємодії лопаті в момент *max* деформації. Гумову лопать будемо вважати плоским пружним стрижнем с консольним закріпленням в т. А (рис. 3) Аналіз роботи лопаті як пружної балки – консолі показує, що вона піддається великій деформації прогину.

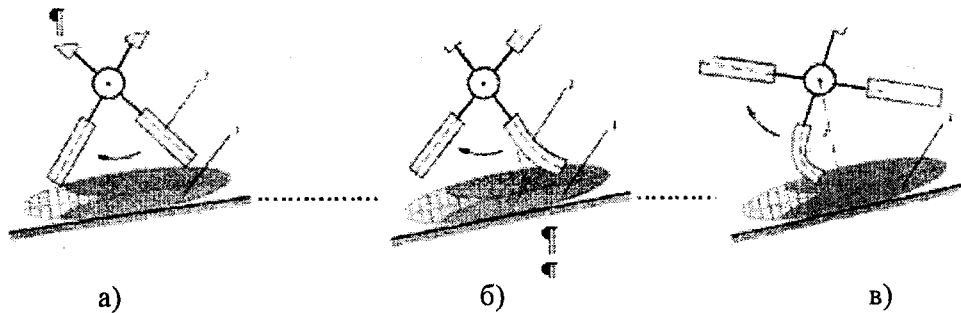


Рис. 2. Кінематика взаємодії притискного пристрою

Для математичного опису слід скористатися теорією вигину балки з великим прогином [1]. Вважаємо, що на консоль діє сила P_1 , яка прикладена до вільного кінця консолі. Згідно з [1] рівнянням деформація балки має вигляд:

$$EI \frac{d\theta}{dl} = -M, \quad (21)$$

де

E – модуль пружності матеріалу;

I – момент інерції площі перерізу;

θ – кут вигину (кут повороту лінії прогинів);

dl – елемент кривої вигину балки;
 M – вигинаючий момент.

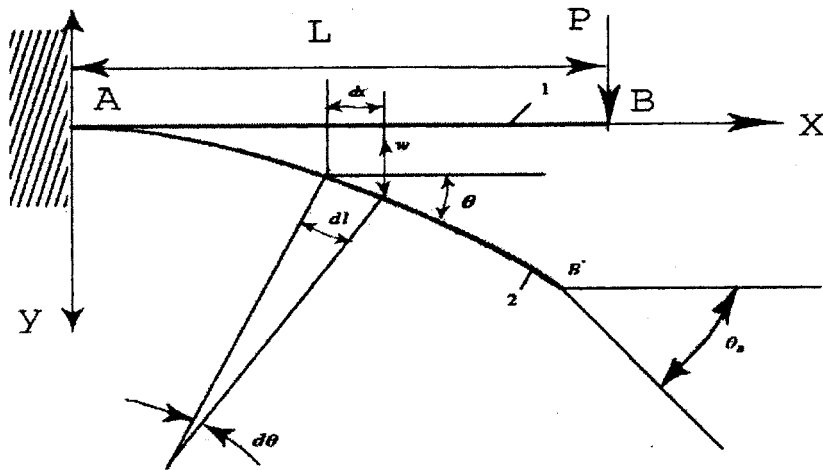


Рис. 3. Схема великого прогину консолі:
1 – вихідне положення; 2 – положення прогину

Момент інерції балки:

$$I = \frac{bh^3}{12}, \quad (22)$$

де
 b – ширина лопаті;
 h – товщина лопаті.

Діюча довжина балки l лежить в межах $0 \leq l \leq L$, де L – довжина лопаті. Величина кривизни балки $\frac{d\theta}{dl}$ пов'язана з вигином $w(x)$ відомою формулою:

$$\frac{d\theta}{dl} = \frac{\frac{d^2w}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dw}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}, \quad (23)$$

Таким чином, для визначення параметрів вигину балки має краєву задачу (21), (23). Інтегруючи рівняння з урахуванням граничних умов, отримаємо:

$$l = \sqrt{\frac{EI}{2p}} \int_0^{\pi/2} \frac{d\theta}{\sqrt{\cos \theta_B - \cos \theta}}, \quad (24)$$

де

θ_B – кут вигину на вільному кінці балки при $l = L$.

Виконаємо деякі чисельні дослідження. На рис. 4 наведені результати розрахунку, а на рис. 5 – кожен вплив \max вигину θ_B на параметри вигину балки.

Задаючись відношенням H/L по кривій $H/L(\theta_B)$, визначаючи величину кута θ_B , знайдемо силу контакту p_1 :

$$p_1 = \left(\frac{IE}{2L^2} \right) \left(\int_0^{\theta_B} \frac{d\theta}{\sqrt{\cos \theta - \cos \theta_B}} \right)^2; \quad (25)$$

чи

$$p_1 = \left(\frac{IE}{2H^2} \right) \left(\int_0^{\theta_B} \frac{\cos \theta d\theta}{\sqrt{\cos \theta - \cos \theta_B}} \right). \quad (26)$$

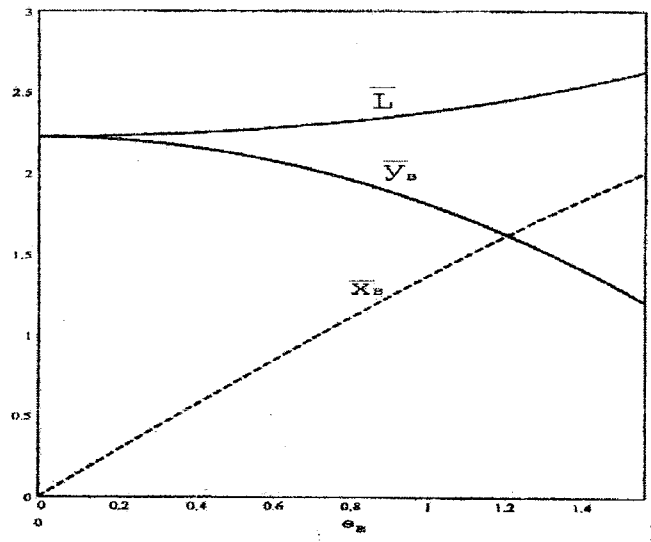


Рис. 4. Залежності величин \bar{L} , \bar{y}_B , \bar{x}_B , від вигину в т. В

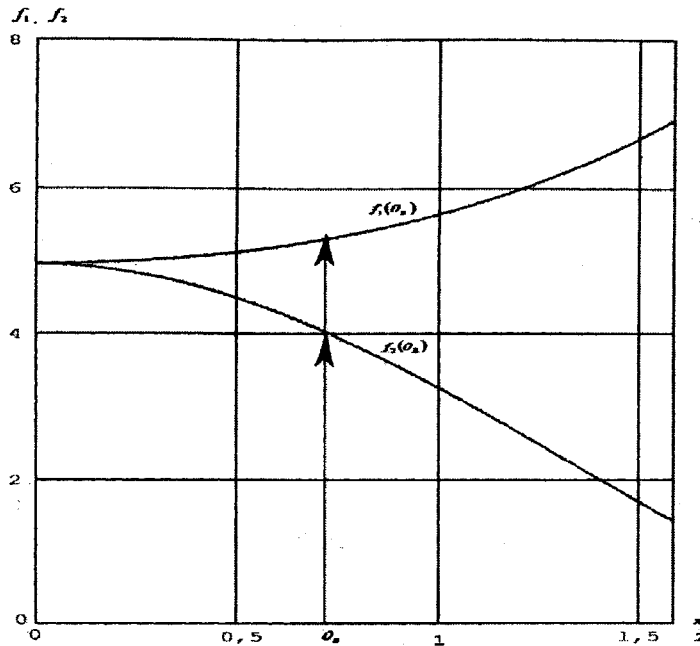


Рис. 5. Вплив \max вигину θ_B на параметри вигину балки

Для зручності розрахунку на рис. 5 наведені графіки функцій:

$$f_1(\theta_B) = \left(\int_0^{\theta_B} \frac{d\theta}{\sqrt{\cos \theta - \cos \theta_B}} \right)^2; \quad (27)$$

$$f_2(\theta_B) = \left(\int_0^{\theta_B} \frac{d\theta}{\sqrt{\cos \theta - \cos \theta_B}} \right)^2. \quad (28)$$

Висновки

Проведені теоретичні дослідження змістовно описують поведінку качанів під час їх контакту з притискними пристроями та надають можливість більш ретельніше вивчити таку складну технологічну операцію, як очищення качанів кукурудзи від обгортки. Отримані залежності дозволяють визначити найбільш оптимальні режими роботи качаноочисного пристрою та основні кінематичні параметри притискних робочих органів, а саме гумових лопатей. Завдяки цьому можна спрогнозувати надійну та безвідмовну роботу качаноочисного апарата ще під час проектування, а найголовніше – виключити існуючі недоліки сучасних очисних пристроїв, до яких відноситься травмування зернової частини врожаю.

Література

1. Тимошенко С. П. Механика материалов. / С. П. Тимошенко., Дж. Герге. – М.: Мир. – 1976. – 656 с.
2. Ландау Л. Д., Теоретическая физика.: в 10-ти т./ Л. Д. Ландау., Е. М. Лифшиц. – Т. VII. Теория упругости: учеб. пособие. – 4-е изд., исп. и доп. – М.: Наука, 1987. – 248 с.
3. Буянов А. И. Метод определения оптимальных кинематических режимов работы прижимных устройств. / А. И. Буянов // Тракторы и сельхозмашины – 1965. – № 2. – С.19–21.
4. Бондаренко О. В. Деякі аспекти оцінки технологій на перспективність / О. В. Бондаренко// Пр. Таврійського держ. ун-ту. – Мелітополь, 2008. – С. 91–102.
5. Заика П. М. Избранные задачи земледельческой механики / П. М. Заика. – К. : УСХА, 1992. – 507 с.
6. Карпуша П. П. Обоснование параметров и режимов работы початкоотделяющего аппарата очесывающего типа / П. П. Карпуша, Н. И. Конопельцев // Вопросы механизации сельского хозяйства. – Мелітополь, 1972. – С. 42–55.
7. Фізико-механічні властивості рослин, ґрунтів і добрив / під ред. А. І. Буянова. – М.: Колос, 1972. – 366 с.

УДК 631.355.06

М. В. Завірюха

аспірант

Миколаївський національний аграрний університет

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДОКРЕМЛЕННЯ КАЧАНІВ
КУКУРУДЗИ НА КАЧАНОВІДОКРЕМЛЮВАЛЬНОМУ АПАРАТІ
З ІНТЕГРОВАНИМ ПОДРІБНЮВАЧЕМ**

Визначено основні фактори, що найбільш суттєво впливають на якість технологічного процесу збирання стиглої кукурудзи з одночасним подрібненням листостеблової маси. Наведено основні результати експериментальних досліджень адаптованого одновальцевого качановідокремлювального апарата з інтегрованим подрібнювачем. Отримані математичні моделі та побудовано поверхні відгуків, за допомогою яких визначено оптимальне поєднання конструктивно-технологічних параметрів, що найбільш суттєво впливають на якість процесу збирання стиглої кукурудзи.

Ключові слова: збирання кукурудзи, інтегрований подрібнювач, експеримент, математична модель, поверхні відгуку.

© М. В. Завірюха

С. Б. Чичилюк, Н. В. Чичилюк Проектування розвитку технічних та технологічних параметрів машин круп'яної промисловості.....	192
Д. А. Дерев'яно Обґрунтування ефективності схеми зерноочисних машин для оброблення зернового вороху після обмолочування.....	199
В. М. Поліщук, М. М. Лободко, Н. І. Козак Вплив шламу біогазових виробництв на урожайність та екологічність продукції овочівництва.....	207
І. Г. Грабар, Д. А. Дерев'яно, О. Ю. Романишин Травмування насіння при використанні дообмолочувальних пристроїв.....	212
М. М. Борис, Т. Д. Гуцол, А. М. Борис, І. В. Головач Обґрунтування параметрів ріжучого елемента гичкозбирального апарата.....	219
М. А. Скориков, В. Т. Надикто Подрібнювач обрізків виноградної лози та результати його господарчих випробувань.....	223
М. М. Борис, І. В. Головач, В. С. Лукач, В. І. Василюк Аналітичне дослідження втрат гички при безкопірному зрізі.....	228
В. А. Грубань Моделювання процесу очистки качанів кукурудзи.....	238
М. В. Завірюха Експериментальні дослідження процесу відокремлення качанів кукурудзи на качановідокремлювальному апараті з інтегрованим подрібнювачем.....	248
А. І. Бойко, О. О. Банний, П. С. Попик Аналіз зусиль, що діють на зернини при переміщенні їх дозуючим елементом пневмомеханічного апарату торцевої дії.....	258
О. І. Ракул, В. Є. Пилип Математичне обґрунтування технологічного процесу роботи качановідокремлювального апарату багатофакторної дії.....	263
В. В. Лиходід, С. І. Павленко, В. В. Івлєв Огляд конструкцій та аналіз особливостей роботи наявних валяльних машин та агрегатів для виробництва повсті.....	273
В. А. Бурлака, Г. П. Водяницький, Ю. В. Соколовський Оптимізація використання білковмісних культур у корм методом енергетичного аналізу.....	283