

## Дослідження за актуальними проблемами АПК

УДК 631.355.072/1

Грубань В., асистент (Миколаївський національний аграрний університет)

### Експериментальні дослідження відокремлення качанів кукурудзи на качановідокремлювальному апараті багатофакторної дії

У статті наведено основні результати експериментальних досліджень запропонованого качановідокремлювального апарата багатофакторної дії. Визначено оптимальне поєднання факторів, які найбільш суттєво впливають на якість процесу відокремлення качанів кукурудзи від стебел. Експериментальними дослідженнями встановлено, що мінімальні втрати качанів у межах 1,1-1,2 % та мінімальна травмованість качанів у межах 3-3,8% забезпечуються за кута нахилу стріперної пластини 65-70° і частоті обертання протягувальних вальців у межах 683-690 об/хв. Це досягається шляхом поєднання в качановідокремлювальному апараті руйнівних зусиль розтягування, зламу та кручення, які діють на плодоніжку під час відокремлення качанів.

**Ключові слова:** травмованість качанів, втрати качанів, качановідокремлювальний апарат, фактори, поверхні відгуку.

© Грубань В. 2017

НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ЖУРНАЛ

№ 4 (91) квітень 2017 р.

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ АПК

**Постановка проблеми.** Відокремлення качанів кукурудзи від стебел є важливим технологічним процесом під час збирання кукурудзи на зерно, який значно регламентує якісні та кількісні показники зібраного врожаю. Тому з упевненістю можна стверджувати, що запропонований качановідокремлювальний апарат являє собою один із головних робочих органів будь-якої кукурудзозбиральної машини.

Сьогодні як вітчизняні, так і закордонні технології механізованого збирання кукурудзи на зерно базуються на використанні пікерно-стриперних качановідокремлювальних апаратів, принцип дії яких заснований на активному протягуванні стебел пікерними вальцями, які обертаються назустріч один одному між двома пасивними стріперними пластинами, відстань між якими менша за діаметр качана. Відокремлення качана відбувається через розтягування плодоніжки, що призводить до її руйнування. Але досить високі швидкості протягування та значні зусилля відокремлення призводять до вильоту качанів за межі жатки, тим самим зменшуючи повноту збирання врожаю [1].

Виходячи з цього, розроблення нових технічних засобів для відокремлення качанів кукурудзи є актуальною науковою проблемою, рішення якої неможливе без повноцінних лабораторних і польових випробувань, лише після проведення яких можна робити остаточні висновки про роботоздатність та ефективність роботи нових робочих органів машин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно з експериментальними дослідженнями [1, 4] середнє розривне статичне навантаження для плодоніжки кукурудзи складає 0,3...1,1 кН, при цьому стебло має не менше дворазового “запасу міцності”. Однак таке співвідношення зберігається у здорових рослин. Опір розриву стебла ураженого личинками метелика може бути меншим, ніж у плодоніжки, що призведе до забруднення вороху качанів або до втрати врожаю вільними качанами. Місце розриву плодоніжки такими апаратами носить випадковий характер, а сам процес відокремлення качана потребує значних зусиль та сильної деформації стебла під час протягування.

Використання в технологічному процесі відокремлення качанів сили згинання, яка буде діяти на плодоніжку в поздовжньому напрямку, приведе до зламу останньої. Такий ефект, окрім прогнозованого місця руйнування плодоніжки, дасть можливість значно зменшити зусилля відокремлення качана порівняно з серійними апаратами. Згідно з експериментальними даними [1, 4], зусилля зламу плодоніжки (біля основи качана) в середньому складає 32 Н, що в декілька разів менше міцності плодоніжки на розрив.

Перспективним шляхом інтенсифікації процесу качановідокремлення є введення в зону відокремлення качанів пари сил, які діють паралельно і на деякій відстані одна від одної, але направлені в протилежні боки. При цьому крутний момент через закручування качана буде діяти на плодоніжку, тим самим послаблюючи її зв'язок з качаном. Така інтенсифікація процесу качановідокремлення дає прогнозоване місце руйнування плодоніжки, а також значно зменшує необхідне зусилля на відокремлення качана порівняно з вищевказаними способами [5].

Виходячи з огляду існуючих шляхів інтенсифікації

процесу відокремлення качанів, а також проведених досліджень з визначення фізико-механічних властивостей кукурудзи, було розроблено качановідокремлювальний апарат [2], який поєднує в собі всі вище перераховані способи дії на плодоніжку.

**Метою роботи** є оцінка впливу основних параметрів качановідокремлювального апарата багатофакторної дії на якісні показники процесу відокремлення качанів у лабораторних умовах.

**Виклад основного матеріалу.** Для дослідження основних факторів, які найбільше впливають на якість виконання технологічного процесу відокремлення качанів на качановідокремлювальному апараті багатофакторної дії, в проблемній лабораторії моделювання технологічних процесів кукурудзозбиральних машин Миколаївського НАУ розроблена та виготовлена лабораторна установка, загальний вигляд якої наведено на рис. 1. Дослідження проводилися на рослинах кукурудзи сорту “Дніпровський 196 СВ”.

Щоб скоротити обсяг експериментальних досліджень, зменшити кількість переналаджень лабораторної установки, а також отримати об'єктивно необхідну інформацію про залежності величин травмованості та втрат качанів кукурудзи від одnorазової зміни декількох кінематичних режимів, було використано трирівневе Д-оптимальне планування другого порядку Бокса для чотирьох незалежних факторів. При цьому фактори отримали таку градацію: кут нахилу стріперної пластини ( $X_1$ ), частота обертання протягувальних вальців ( $X_2$ ), швидкість руху прогумованої стрічки ( $X_3$ ), зусилля притискання прогумованої стрічки притискними барабанами ( $X_4$ ).

Після статистичної обробки експериментальних даних процесу качановідокремлення, на ПЕОМ отримані математичні моделі для травмованості (ТК) та втрат (ВК) качанів, які описують технологічний процес відокремлення качанів на запропонованому качановідокремлювальному апараті багатофакторної дії та мають вигляд [3]:

$$TK = 5,386 - 0,936 \cdot X_1 + 1,831 \cdot X_2 - 0,006 \cdot X_3 - 0,081 \cdot X_4 - 0,907 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,591 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,292 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,230 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,386 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,015 \cdot X_3 \cdot X_4 + 1,391 \cdot X_1^2 - 2,775 \cdot X_2^2 - 0,793 \cdot X_3^2 + 1,068 \cdot X_4^2; \quad (1)$$

$$BK = 1,278 + 0,234 \cdot X_1 - 0,120 \cdot X_2 + 0,007 \cdot X_3 + 0,193 \cdot X_4 - 0,113 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,131 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,239 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,036 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,193 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,196 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,256 \cdot X_1^2 - 0,283 \cdot X_2^2 + 0,281 \cdot X_3^2 + 0,226 \cdot X_4^2. \quad (2)$$

Аналіз отриманих рівнянь регресії проводився із



Рис. 1 – Загальний вигляд лабораторної установки

закодованими величинами факторів. Дослідження критеріїв оптимізації, залежно від зміни незалежних факторів, було проведено методом двомірних перетинів.

Почергово прирівнюючи до нуля два фактори, лишаючи нерівними нульовому значенню інші два, отримані рівняння регресії для травмованості та втрат качанів із можливими комбінаціями факторів.

Поєднання таких факторів роботи качановідокремлювального апарата, як швидкості руху прогумованої стрічки ( $X_3$ ) та зусилля притискання прогумованої стрічки притискними барабанами ( $X_4$ ), за  $X_1 = 0$  (кут нахилу стріперної пластини =  $70^\circ$ ) і  $X_2 = 0$  (частота обертання протягувальних вальців = 700 об/хв), дозволило одержати рівняння регресії у вигляді:

$$TK = 5,386 - 0,006 \cdot X_3 - 0,081 \cdot X_4 - 0,015 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,793 \cdot X_3^2 + 1,068 \cdot X_4^2; \quad (3)$$

$$BK = 1,278 + 0,007 \cdot X_3 + 0,193 \cdot X_4 - 0,196 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,281 \cdot X_3^2 + 0,226 \cdot X_4^2 \quad (4)$$

Розв'язок системи рівнянь дав координати центрів поверхонь відгуку  $X_3$  і  $X_4$ , а також значення цільової функції  $Y_S$  у знайденому центрі та  $\alpha$  – кут повороту осей у центрі координат математичної моделі в канонічній формі, які дорівнюють:

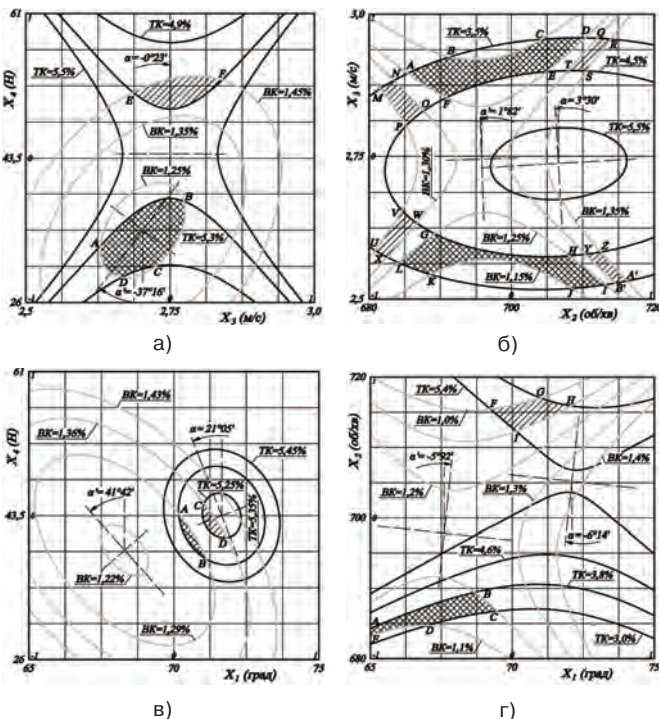
– для травмованості качанів:

$$X_3 = -0,004; X_4 = 0,037; \alpha = -0,23^\circ; Y_S = 5,378;$$

– для втрат качанів:

$$X_3 = -0,190; X_4 = -0,509; \alpha' = -37,16^\circ; Y_S = 1,228.$$

Результати, отримані поєднанням факторів  $X_3$  та  $X_4$ , наведені на рис. 2, а.



а – за поєднання факторів  $X_3$  і  $X_4$ ; б – за поєднання факторів  $X_2$  і  $X_3$ ; в – за поєднання факторів  $X_1$  і  $X_4$ ; г – за поєднання факторів  $X_1$  і  $X_2$

Рис. 2 – Двомірні перетини поверхонь відгуку

Якщо розглянути побудовані графіки, можна зробити висновок, що зона оптимального поєднання факторів обмежена кривими ТК і ВК в точках А, В, С, D. При цьому травмованість качанів коливається в межах  $4,9\% < TK < 5,3\%$ , а втрати качанів не перевищують  $1,25\%$ .

За таких показників критеріїв оптимізації швидкість руху прогумованої стрічки складала  $2,63 \dots 2,77$  м/с, а зусилля притискання прогумованої стрічки притискними барабанами –  $29 \dots 39$  Н. Характер зміни кривих ABCD вказує на те, що зі збільшенням швидкості руху прогумованої стрічки зусилля притискання прогумованої стрічки притискними барабанами також збільшується.

Послідовно змінюючи поєднання факторів, отримано двомірні перетини поверхонь відгуку за всіх можливих комбінацій факторів.

Так, за поєднання факторів частоти обертання протягувальних вальців ( $X_2$ ) та швидкості руху прогумованої стрічки ( $X_3$ ) за  $X_1 = 0$  (кут нахилу стріперної пластини =  $70^\circ$ ) і  $X_4 = 0$  (зусилля притискання прогумованої стрічки притискними барабанами = 43,5 Н) дозволило отримати таке рівняння регресії:

$$TK = 5,386 + 1,831 \cdot X_2 - 0,006 \cdot X_3 - 0,230 \cdot X_2 \cdot X_3 - 2,775 \cdot X_2^2 - 0,793 \cdot X_3^2; \quad (5)$$

$$BK = 1,278 - 0,120 \cdot X_2 + 0,007 \cdot X_3 - 0,036 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,283 \cdot X_2^2 + 0,281 \cdot X_3^2. \quad (6)$$

Обчислені координати центрів поверхонь відгуку:

- для травмованості качанів:

$$X_2 = 0,323; X_3 = -0,051; \alpha = 3,30^\circ; Y_S = 5,684;$$

- для втрат качанів:

$$X_2 = -0,210; X_3 = -0,025; \alpha' = 1,82^\circ; Y_S = 1,290.$$

На рис. 2, б наведено двомірні перетини поверхонь відгуку, звідки видно, що зони оптимального поєднання факторів обмежені кривими ТК і ВК в точках А, В, С, D, E, F та G, H, I, J, K, L. При цьому травмованість качанів в обох зонах коливається в межах  $3,5\% < TK < 4,5\%$ , втрати качанів сягають  $1,15\% < BK < 1,25\%$ . При цьому швидкість руху прогумованої стрічки має два діапазони  $2,50 \dots 2,60$  м/с та  $2,85 \dots 2,95$  м/с, а частоту обертання протягувальних вальців можна змінювати в межах  $685 \dots 713$  об/хв.

За поєднання факторів кута нахилу стріперної пластини ( $X_1$ ) та зусилля притискання прогумованої стрічки притискними барабанами ( $X_4$ ) за  $X_2 = 0$  (частота обертання протягувальних вальців = 700 об/хв) і  $X_3 = 0$  (швидкість руху прогумованої стрічки = 2,75 м/с) отримано рівняння регресії в канонічній формі, які мають вигляд:

$$TK = 5,386 - 0,936 \cdot X_1 - 0,081 \cdot X_4 + 0,292 \cdot X_1 \cdot X_4 + 1,391 \cdot X_1^2 + 1,068 \cdot X_4^2; \quad (7)$$

$$BK = 1,278 + 0,234 \cdot X_1 + 0,193 \cdot X_4 + 0,239 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,256 \cdot X_1^2 + 0,226 \cdot X_4^2. \quad (8)$$

Обчислені координати центрів поверхонь відгуку:

- для травмованості качанів:

$$X_1 = 0,337; X_4 = -0,008; \alpha = 21,05^\circ; Y_S = 5,222;$$

- для втрат качанів:

$$X_1 = -0,342; X_4 = -0,246; \alpha' = 41,42^\circ; Y_s = 1,214.$$

На рис. 2, в наведені результати, отримані для (7) та (8), з яких видно, що зони оптимального поєднання факторів обмежені кривими ТК і ВК в точках А, В і С, D. Аналіз обох зон говорить про їхній компромісний характер – зменшуючи травмованість качанів, підвищуються їх втрати і навпаки. За травмованості качанів близько 5,35 % втрати качанів складають 1,29 %. При цьому кут нахилу стріперної пластини становить 70...71°, а зусилля притискання прогумованої стрічки притискними барабанами – 38...44 Н. Якщо збільшити втрати качанів до 1,36 %, то матимемо травмованість качанів 5,25 % з кутом нахилу стріперної пластини 71...72° та зусиллям притискання прогумованої стрічки притискними барабанами 41...45 Н.

За поєднання факторів кута нахилу стріперної пластини ( $X_1$ ) та частоти обертання протягувальних вальців ( $X_2$ ) за  $X_3 = 0$  (швидкість руху прогумованої стрічки = 2,75 м/с) і  $X_4 = 0$  (зусилля притискання прогумованої стрічки притискними барабанами = 43,5 Н) отримано рівняння регресії в канонічній формі, які мають вигляд:

$$TK = 5,386 - 0,936 \cdot X_1 + 1,831 \cdot X_2 - 0,907 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,391 \cdot X_1^2 - 2,775 \cdot X_2^2; \quad (9)$$

$$BK = 1,278 + 0,234 \cdot X_1 - 0,120 \cdot X_2 - 0,113 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,256 \cdot X_1^2 - 0,283 \cdot X_2^2. \quad (10)$$

Обчислені координати центрів поверхонь відгуку:

- для травмованості качанів:

$$X_1 = 0,421; X_2 = 0,261; \alpha = -6,14^\circ; Y_s = 5,421;$$

- для втрат качанів:

$$X_1 = -0,482; X_2 = -0,115; \alpha' = -5,92^\circ; Y_s = 1,228.$$

На рис. 2, г наведено двомірні перетини поверхонь відгуку. Звідки видно, що зони оптимального поєднання факторів обмежені кривими ТК і ВК в точках А, В, С, D, E. Травмованість качанів перебуває в межах 3,0 % < ТК < 3,8 %, втрати качанів сягають 1,1 % < ВК < 1,2 %. При цьому кут нахилу стріперної пластини дорівнює 65...70°, а частоту обертання протягувальних вальців можна змінювати в межах 683...690 об/хв.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Проведені експериментальні дослідження відокремлення качанів кукурудзи від стебел дозволили визначити найбільш результативне поєднання факторів, які суттєво впливають на якість виконання процесу качановідокремлення за таких критеріїв оптимізації як травмованість та втрати качанів.

Експериментально доведена можливість зменшення ступеня травмованості качанів та підвищення повноти збирання врожаю шляхом поєднання в качановідокремлювальному апараті руйнівних зусиль розтягування, зламу та кручення, які діють на плодоніжку під час відокремлення качанів.

### Список літератури

1. Шатилов К.В. Кукурузоуборочные машины / К.В. Шатилов, Б.Д. Козачок, А.П. Орехов и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
2. Пат. 73879 Україна, МПК А01D 45/02 (2006.01)

Спосіб відокремлення качанів кукурудзи від стебел / Бондаренко О.В., Ракул О.І., Пилип В.Є, Грубань В.А.; заявник і патентовласник Бондаренко О.В. – № u201203686; заявл. 27.03.2012; опубл. 10.10.2012, Бюл. №19.

3. Грубань В.А. Обґрунтування параметрів і режимів роботи технологічного модуля багатофакторної дії для збирання кукурудзи / В.А. Грубань // Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с/г техніки: X міжнародна науково-практична конференція. – Кіровоград: Кіровоградський НТУ, 2015. – С. 48.

4. Грубань В.А. Основні напрямки вдосконалення кукурудзозбиральної техніки / В.А. Грубань // Сучасні проблеми землеробської механіки: XIII міжнародна наукова конференція. – Вінниця: Вінницький НАУ, 2012. – С. 77.

5. Грубань В.А. Обґрунтування компоновочної схеми технологічного модуля для збирання кукурудзи / В.А. Грубань // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Миколаїв : МНАУ, 2013. – Вип. 1(71). – С. 204–212.

**Аннотация.** В статье приведены основные результаты экспериментальных исследований предложенного початкоотделительного аппарата многофакторного действия. Определено оптимальное сочетание факторов, наиболее существенно влияющих на качество процесса отделения початков кукурузы от стеблей. Экспериментальными исследованиями установлено, что минимальные потери початков в пределах 1,1-1,2% и минимальная травмированность початков в пределах 3-3,8% обеспечиваются при угле наклона стрипперной пластины 65-70° и частоте вращения протягивающих вальцов в пределах 683-690 об / мин. Это достигается путем сочетания в початкоотделительном аппарате разрушительных усилий растяжения, излома и кручения, которые действуют на плодоножку во время отделения початков.

**Summary.** The article presents the main results of experimental studies of the proposed multipurpose cob snapper. The optimal combination of the factors most significantly influencing the quality of the process of separating the cobs of corn from stems is determined. Experimental studies established that the minimum loss of cobs in the range of 1.1-1.2% and minimum injuries of cobs in the range of 3-3.8% are provided at an angle of inclination of the stripper plate 65-70° and the speed of the rolling rolls within 683-690 Rpm. This is achieved by combining in the cob-separating apparatus the destructive forces of tension, fracture and torsion, which act on the peduncle during the separation of the cobs.

Стаття надійшла до редакції 19 березня 2017 р.