

ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ДЗЮБА ОЛЕГ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 631.362

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ
ПАРАМЕТРІВ СОРТУВАЛКИ БУЛЬБ КАРТОПЛІ**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського
виробництва

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ТЕРНОПІЛЬ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства аграрної політики України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Козаченко Олексій Васильович,

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, завідувач кафедри технічного сервісу машин Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Дідух Володимир Федорович,

Луцький національний технічний університет завідувач кафедри сільськогосподарського машинобудування Луцького національного технічного університету;

кандидат технічних наук, доцент

Смолінський Станіслав Вікторович,

Національний Університет біоресурсів і природокористування України, доцент кафедри інженерного забезпечення рослинництва імені академіка П.М. Василенка Національного Університету біоресурсів і природокористування України,

Захист відбудеться “ ___ ” _____ 2011 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.58.052.02. при Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул.. Руська, 56.

Автореферат розісланий “ ___ ” _____ 2011 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
к.т. н., доцент



П.В. Попович

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Післязбиральне сортування бульб картоплі на фракції є однією із важливих операцій у технології виробництва цієї культури і значним резервом для зниження її собівартості. На даний час в агропромисловому комплексі країни спостерігається зниження посівних площ під картоплю внаслідок недосконалості технічних засобів механізації виробництва, в тому числі і машин для сортування бульб на фракції. Картоплесортувальні пункти серії КСП, що використовують у теперішній час для сортування картоплі, мають суттєві недоліки: зниження точності сортування при забиванні робочих поверхонь ґрунтом та значне травмування бульб. Крім того, застосування таких картоплесортувальних пунктів є недоцільним для використання у дрібних фермерських господарствах з невеликими посівними площами під картоплю.

Аналізом досліджень процесу сортування картоплі встановлено, що одним із резервів підвищення технологічних показників якості роботи машин є вдосконалення взаємодії решітчасто-гвинтової поверхні сортувалок з бульбами. Але у відомих наукових роботах відсутні дослідження впливу стійкості переміщення гвинтовою спіраллю бульб картоплі по напрямних пристрою на процес сортування.

У зв'язку з цим, обґрунтування конструктивно-режимних параметрів сортувалки бульб картоплі має науковий і практичний інтерес та є актуальним завданням для розвитку картопляної галузі України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано у відповідності з регіональною програмою “Найважливіші проблеми АПК на період до 2011 р.”, комплексною темою науково-дослідних робіт ХНТУСГ ім. Петра Василенка “Дослідження, наукове обґрунтування і впровадження конкурентоспроможних, ресурсозберігаючих технологій, способів реновацій, нових матеріалів і технічних засобів для інноваційного розвитку агропромислового комплексу“ (ДР № 0109U000362, 2010...2020 рр.).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності процесу сортування бульб картоплі шляхом розробки сортувалки та обґрунтування її конструктивно-режимних параметрів.

Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання дослідження:

- проаналізувати технології та технічні засоби сортування бульб картоплі та обґрунтувати перспективну концепцію підвищення його ефективності;
- розробити математичні моделі руху бульб картоплі по робочій поверхні розробленої сортувалки;
- теоретично встановити вплив параметрів на якість сортування бульб і визначити їх інтервал варіювання для експериментального визначення раціональних значень параметрів;
- обґрунтувати оптимальні конструктивно-режимні параметри розробленої сортувалки;
- провести порівняльні з серійними виробничі випробування розробленої сортувалки, визначити техніко-економічну ефективність її застосування;
- впровадити розроблену сортувалку бульб картоплі у виробництво.

Об'єкт дослідження: процес сортування бульб картоплі, зв'язок з конструктивними, режимними параметрами сортувалки і фізико-механічними властивостями картопляного вороху.

Предмет дослідження: технологічні та конструктивно-режимні параметри сортувалки бульб картоплі, показники якості роботи.

Методи дослідження: теоретичні дослідження виконані із застосуванням основних положень теоретичної механіки, аналітичної геометрії та теорії ймовірностей. Обґрунтування конструктивних параметрів сортувалки виконано із використанням обчислювальної техніки, прикладної програми Matlab. Дослідження фізико-механічних властивостей бульб картоплі виконувалися за допомогою відомих та розроблених методик. Під час експериментальних досліджень процесу сортування застосовувалося технічне забезпечення, яке дозволило здійснювати відеозапис, проводити планування багатофакторного експерименту. Виробничі випробування розробленої сортувалки бульб картоплі виконані у відповідності з методикою випробувань картоплесортувальних машин.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше сформульовано умови сталого руху бульб картоплі по напрямних при взаємодії їх із гвинтовою поверхнею сортувалки;
- для керування технологічними показниками якості процесу сортування картоплі та їх розрахунку створено нові математичні моделі динаміки руху бульб по напрямних, в яких враховано вплив їх характеристик та конструктивно-режимних параметрів розробленої сортувалки;
- для оцінки впливу розробленої сортувалки на якість процесу сортування вперше виконано комплексне обґрунтування її конструктивних параметрів з врахуванням кінематичних режимів роботи, механіко-технологічних властивостей компонентів.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновано і експериментально обґрунтовано конструкцію сортувалки бульб картоплі та визначено її основні раціональні конструктивно-режимні параметри, що дозволило підвищити точність сортування на 9-14 % та зменшити травмування бульб в середньому на 7,9 %.

Одержані результати теоретичних і експериментальних досліджень передані в конструкторське бюро ТОВ “Укр.Агро-сервіс“ (м. Харків) з метою використання при проектуванні та виготовленні картоплесортувальних машин. Ефективність запропонованих технічних рішень підтверджені економічним ефектом, отриманим від впровадження сортувалки бульб картоплі у ФГ “Шмаровоз Г.П.” Нововодолазького району Харківської області.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи здобувачем одержані самостійно. У наукових працях виконаних у співавторстві, особистий внесок такий: [5] – виконано аналіз кінематичних параметрів пристрою для сортування бульб картоплі на фракції; [6] – розроблено математичну модель руху бульб картоплі по напрямних сортувалки, отримано її розв'язок, виконано аналіз; [9] – виконано числовий розв'язок та аналіз розробленої математичної моделі.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися на щорічних міжнародних науково-практичних конференціях (МНПК) ХНТУСГ (Харків, 2000 – 2010 рр.), на МНПК “Науково-технічні засади розробки, випробування і прогнозування перспективної сільськогосподарської техніки і технологій” (УкрЦВТ, Київська обл., 2003 р.), на МНПК “Сучасні проблеми землеробської механіки”(ВДАУ, Вінниця, 2004 р.), на МНПК “Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки”(ДДАУ, Дніпропетровськ, 2007 р.); МНПК “Механізація сільськогосподарського виробництва та переробки сільськогосподарської продукції” (Харків, ХНТУСГ, 2010 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані у 8 наукових статтях фахових видань, у тому числі 5- одноосібних. Одержано 5 патентів України на винахід.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, п’яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 176 найменувань і 5 додатків. Повний обсяг дисертації викладено на 191 сторінці комп’ютерного тексту. Основна частина дисертації складає 149 сторінок і містить 39 рисунків, 16 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, викладено зв’язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовані мета, завдання та представлено методи досліджень, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі «Стан питання і задачі дослідження» наведено аналіз відомих досліджень сортування бульб картоплі, виконано критичний огляд і порівняння конструкцій, запропоновано нову конструкцію сортувалки бульб картоплі, визначені напрямки і поставлені завдання на проведення робіт.

Найбільше застосування знайшов спосіб сортування бульб картоплі за їх лінійними розмірами. Дослідження процесу сортування проводили В.П. Горячкін, Г.Д. Петров, Н.Н. Колчин, Л.В. Погорілий, Б.М. Юн, І.Н. Зуєв, Е.А. Сметунов, Д.А. Арсен’єв, Н.М. Заворотний, В.А. Макаров, Н.М. Зінов’єв, А.Н. Степанов та ін.

Взаємодію коренебульбоплодів з робочими органами сільськогосподарських машин досліджували П.М. Василенко, Л.В. Погорілий, Б.П. Шабельник, Г.А. Хайліс, І.І. Ревенко, Б.М. Гевко, В.М. Булгаков, Р.М. Рогатинський, Р.Б. Гевко, Н.І. Кравцов, А.Г. Кулік, С.В. Смолінський, В.П. Нетесов та ін.

При обґрунтуванні конструкції сортувалки необхідно враховувати не тільки її продуктивність і точність сортування, але й необхідність зменшення пошкодження бульб картоплі. Для підвищення ефективності сортування необхідно створити сталий рух компонентів вороху, що забезпечується постійним контактом бульб картоплі з робочим органом та постійністю розмірів сортувальних поверхонь машин. Відомі картоплесортувальні машини мають недоліки: складну конструкцію, хаотичне переміщення компонентів вороху, забивання сортувальних поверхонь домішками, пошкодження бульб картоплі.

Для підвищення ефективності процесу шляхом забезпечення точності сортування та зменшення пошкодження бульб розроблено нову конструкцію сортувалки, яка складається з сепарувальної поверхні у вигляді *V*- подібно встановлених напрямних 5 та встановленої над нею гвинтової спіралі 3 (рис.1). При обертанні гвинтової спіралі 3 бульби, що подаються живильним транспортером 1 через скатний лоток 2, переміщуються по напрямних пристрою до моменту проходження через них, що обумовлюється розмірними характеристиками картоплі, і потрапляють до пробовідбірників 7.

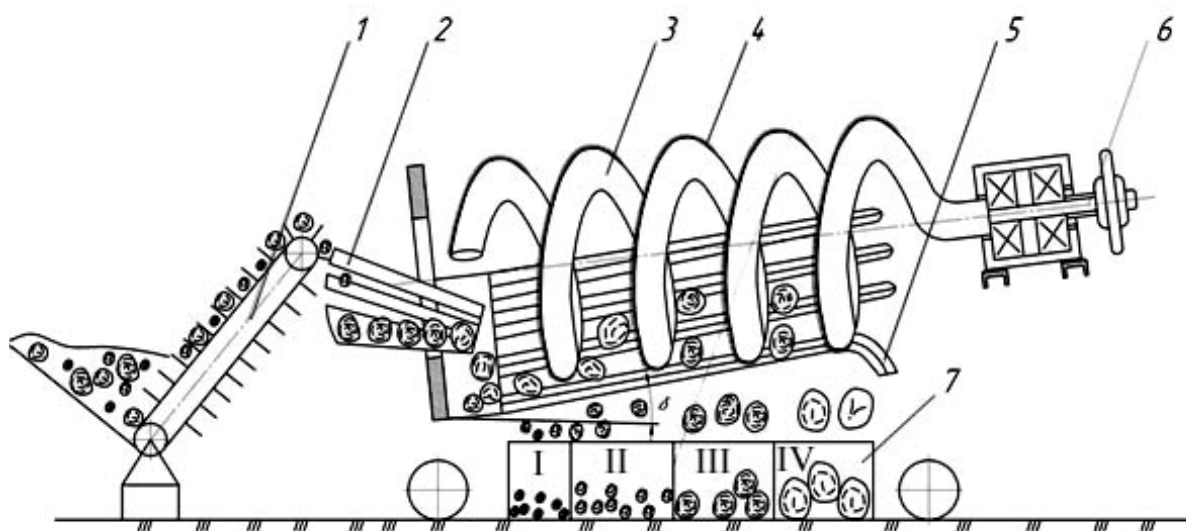


Рис.1. Конструктивно-технологічна схема розробленої сортувалки бульб картоплі: 1 – транспортер живильний; 2 – лоток скатний; 3 – спіраль гвинтова; 4 – еластичні елементи; 5 – напрямні; 6 – приводна зірочка; 7 – пробовідбірники

Виходячи з конструкції сортувалки і розмірних характеристик бульб картоплі, значення конструктивних параметрів апріорі прийняті за умови точності сортування: мінімальна відстань між напрямними в нижній частині $h_{\min} = 25 \dots 30$ мм, а в верхній $h_{\max} = 75 \dots 80$ мм; довжина напрямних $L_H = 0,9 \dots 1,0$ м; кут нахилу напрямних та осі гвинтової спіралі до горизонту $\delta = 4,4 \dots 13^\circ$; радіус гвинтової спіралі $R_1 = 0,23 \dots 0,25$ м; крок гвинтової спіралі $t_c = 0,23 \dots 0,27$ м; кутова швидкість гвинтової спіралі $\omega_c = 3,5 \dots 4,8$ с⁻¹; розподільники пробовідбірників встановлені з інтервалом 0 – 0,25 м; 0,25 – 0,4 м; 0,4 – 0,6 м; 0,6 – 1,12 м.

На основі проведеного аналізу сформована мета і завдання дослідження.

У другому розділі «Теоретичне дослідження для обґрунтування конструкції та основних параметрів сортувалки бульб картоплі» досліджено закономірності руху бульб картоплі по робочому органу та обґрунтовано параметри розробленої сортувалки.

Розрахункову схему сортувалки бульб картоплі наведено на рис. 2. Вісь гвинтової спіралі Oz направлена під кутом δ до горизонту. В площині $ABCD$, яка лежить на відстані y_0 від осі Oz , розташовані напрямні AB і DC з кутом між

ними 2β і повернуті на кут γ навколо осі Oy , а сама конструкція повернута на кут α проти годинникової стрілки навколо осі Oz .
 Рух бульб по напрямних під дією гвинтової спіралі розглядається як рух кулі радіусом R_s з центром у т. $S(X_s, Y_s, Z_s)$, при досягненні відстані y_0 від осі Oz відбувається її прохід через напрямні. В точці контакту K бульби з гвинтовою спіраллю відсутнє прослизання, а з напрямними в точках M і N спостерігається ковзання. Аналіз руху картоплі визначається рухом гвинтової спіралі, що дозволяє визначити координати центра т. S за заданими геометричними параметрами сортувалки і кутової швидкості $\bar{\Omega}$. Для визначення сили реакцій зв'язку

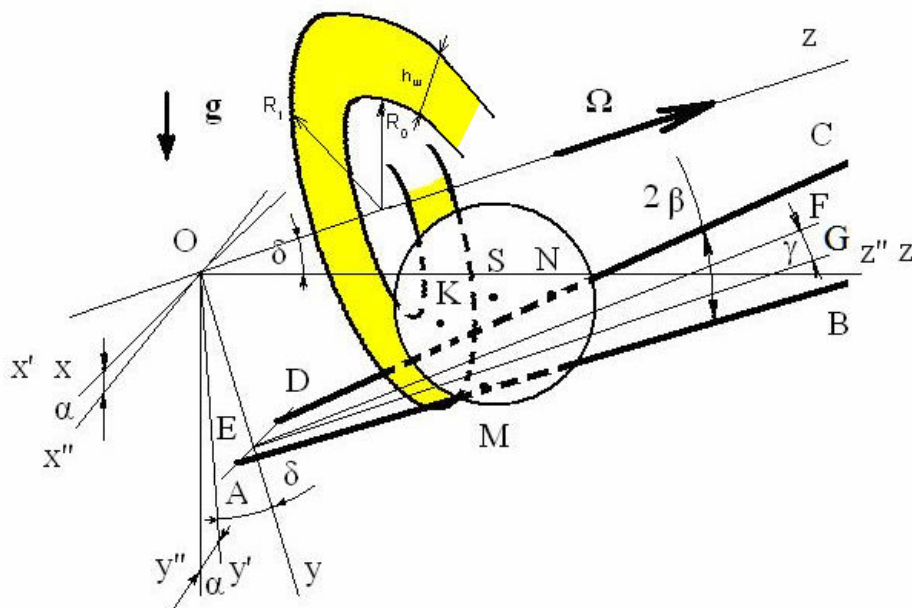


Рис. 2. Розрахункова схема сортувалки бульб картоплі

бульби з гвинтовою спіраллю \bar{R}_e і сили тиску N_M та N_N напрямних на бульбу необхідно визначити динамічні характеристики руху.

Внаслідок односторонності зв'язків контакт бульб із спіраллю та напрямними має місце при певних умовах. Позначивши через \bar{n}_e внутрішню одиничну нормаль до кулі в т. K , умови збереження зв'язку мають вигляд:

$$\bar{R}_e \cdot \bar{n}_e > 0; N_M > 0; N_N > 0; \quad (1)$$

Дослідження руху бульб у сортувалці виконували в два етапи. На першому етапі вивчали кінематику руху центра кулі, знаходили закон її руху:

$x_s = x_s(t)$, $y_s = y_s(t)$, $z_s = z_s(t)$, момент проходу t_* , координати центра кулі $x_s^0 = x_s(t_*)$, $y_s^0 = y_s(t_*)$, $z_s^0 = z_s(t_*)$ і її швидкість \bar{v}_s^0 в момент проходу.

Потім на основі диференціальних рівнянь динаміки твердого тіла визначали вектор миттєвої кутової швидкості кулі $\bar{\omega}$ і сили реакцій зв'язку \bar{R}_K, N_M, N_N , перевіряли умови (1). На другому етапі розглядали вільний рух бульби після проходу через напрямні до моменту падіння на горизонтальну площину пробовідбірників.

Рівняння гвинтової поверхні в параметричному вигляді можна записати таким чином:

$$\begin{aligned} x &= x(s, \varphi) = -s \sin \varphi; & y &= y(s, \varphi) = s \cos \varphi; \\ z &= z(s, \varphi) = \frac{h_c}{2\pi} (\Omega t - \varphi), & (R_0 \leq s \leq R_1, & -\infty < \varphi < \infty), \end{aligned} \quad (2)$$

де s – відстань від осі Oz до точки гвинтової спіралі, що розглядається; φ – полярний кут циліндричної системи координат, пов'язаної з віссю Oz ; h_c – крок гвинтової спіралі; R_0, R_1 – внутрішній і зовнішній радіуси гвинтової спіралі; Ω – кутова швидкість обертання гвинтової спіралі. Рівняння поверхні кулі і напрямних AB, DC визначаються співвідношеннями:

$$(x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 + (z - z_s)^2 = R_s^2; \quad (3)$$

$$x = x(z) = h + z \operatorname{tg}(\beta - \gamma), \quad y = y_0; \quad (4)$$

$$x = x(z) = -h - z \operatorname{tg}(\beta + \gamma), \quad y = y_0. \quad (5)$$

Тут h – відстань між точками A, D напрямних AB і DC . Координати точок зіткнення кулі з гвинтовою спіраллю т. $K(x_K, y_K, z_K)$ і напрямними AB – т. $M(x_M, y_M, z_M)$, DC – т. $N(x_N, y_N, z_N)$ знаходяться із умов належності цих точок як гвинтовій спіралі, так і напрямним AB, DC і кулі одночасно. Зокрема, між координатами y_s, z_s має місце зв'язок:

$$y_s = y_0 - \sqrt{R_s^2 - \left[h \cos(\beta - \gamma) + z_s \frac{\sin \beta}{\cos \gamma} \right]^2}. \quad (6)$$

Звідси визначається певне значення $z_s = z_s^*$, яке обумовлює проходження кулі через напрямні у вигляді:

$$z_s^* = \left[R_s - h \cos(\beta - \gamma) \right] \frac{\cos \gamma}{\sin \beta}. \quad (7)$$

Швидкість руху центра кулі знаходили із вимог рівності проєкцій швидкостей центра кулі т. S і т. K поверхні гвинтової спіралі на напрямок радіуса кулі

$$\begin{aligned} \vec{n} &= (\vec{r}_K - \vec{r}_S) / |\vec{r}_K - \vec{r}_S| \\ (\vec{V}_S - \vec{V}_K) \cdot \vec{n} &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Остаточно маємо:

$$\begin{aligned} V_{Sz} = \dot{z}_S &= \frac{h_c}{2\pi} \Omega s_K \left[s_K + \frac{h_c}{2\pi} \left(\operatorname{tg} \gamma \cos \varphi_K - \frac{dy_s}{dz_s} \sin \varphi_K \right) \right]^{-1}; \\ V_{Sx} = \dot{x}_S &= -\dot{z}_S \operatorname{tg} \gamma, \quad V_{Sy} = \dot{y}_S = \frac{dy_s}{dz_s} \dot{z}_S, \end{aligned} \quad (9)$$

де $y_s = y_s(z_s)$ знаходиться співвідношенням (6).

Скориставшись зворотною залежністю $t = t(z_s)$, співвідношення (9) можна переформулювати як звичайне диференціальне рівняння відповідно до цієї залежності:

$$\frac{dt}{dz_S} = \left[\frac{h_c}{2\pi} \Omega_{S_K} \right]^{-1} \left[s_K + \frac{h_c}{2\pi} \left(\operatorname{tg} \gamma \cos \varphi_K - \frac{dy_S}{dz_S} \sin \varphi_K \right) \right], \quad (10)$$

де s_K, φ_K – визначається з використанням співвідношень (2)–(5).

Розглянувши для (10) задачу Коші в інтервалі $z_S \in [0, z_S^*]$ з початковими умовами $t(0) = 0$, що дозволяє знайти залежність $t = t(z_S)$, а потім, використовуючи монотонність цієї залежності і обертаючи її, знайдемо $z_S = z_S(t)$.

При дослідженні руху бульби по напрямних враховано вплив сил тяжіння з прискоренням вільного падіння \vec{g} , в точці контакту K відсутнє ковзання і діє сила реакції зв'язку \vec{R}_K , в точках контакту M, N бульби з напрямними діють сили тиску напрямних на кулю N_M, N_N і сили тертя з динамічним коефіцієнтом тертя f_m . Рівняння динаміки бульби як твердого тіла одержано у вигляді:

$$m\vec{w}_S = \vec{R}_K + m\vec{g} - N_M \left[\frac{\vec{r}_M - \vec{r}_S}{|\vec{r}_M - \vec{r}_S|} + f_m \frac{\vec{V}_{M\tau}}{|\vec{V}_{M\tau}|} \right] - N_N \left[\frac{\vec{r}_N - \vec{r}_S}{|\vec{r}_N - \vec{r}_S|} + f_m \frac{\vec{V}_{N\tau}}{|\vec{V}_{N\tau}|} \right]; \quad (11)$$

$$J \frac{d\vec{\omega}}{dt} = (\vec{r}_K - \vec{r}_S) \cdot \vec{R}_K - f_m \left[N_M (\vec{r}_M - \vec{r}_S) \cdot \frac{\vec{V}_{M\tau}}{|\vec{V}_{M\tau}|} + N_N (\vec{r}_N - \vec{r}_S) \cdot \frac{\vec{V}_{N\tau}}{|\vec{V}_{N\tau}|} \right], \quad (12)$$

де $J = 2mR_s^2 / 5$ – тензор інерції кулі; m – маса; \vec{w}_S – прискорення центра маси бульби. Таким чином, система рівнянь (11), (12) включає чотири невідомих: $\vec{R}_K, N_M, N_N, \vec{\omega}$. Для замикання системи залучимо кінематичні співвідношення:

$$\vec{V}_M \cdot (\vec{r}_M - \vec{r}_S) = 0, \quad \vec{V}_N \cdot (\vec{r}_N - \vec{r}_S) = 0, \quad (13)$$

які відображають умови перпендикулярності швидкостей \vec{V}_M, \vec{V}_N точок кулі до відповідного радіуса. Замкнута система рівнянь (11)–(13) вирішується сумісно з застосуванням числових методів.

Закон руху центра маси бульби після проходження через напрямні розглянуто як задачу Коші за значеннями координат центра кулі т. $S(x_S^0, y_S^0, z_S^0)$ і її швидкості

$\vec{v}_S^0 = (v_{Sx}^0, v_{Sy}^0, v_{Sz}^0)$, що одержані на попередньому етапі:

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = m\vec{g}, \quad \vec{r}(0) = (x_S^0, y_S^0, z_S^0). \quad (14)$$

Рішенням поставленої задачі визначені координати точки падіння бульби на горизонтальну площину, що обумовлює шлях від початкового положення бульби на напрямних до точки падіння у пробовідбірники L_S . Величина L_S

фактично визначає середнє значення переміщення бульб певної фракції до пробовідбірників.

За одержаними залежностями розрахунковим шляхом досліджено вплив конструктивних і кінематичних параметрів сортувалки, фізико-механічних властивостей картоплі на точність сортування, що зумовлюється сталістю руху бульб по напрямних при взаємодії їх із гвинтовою поверхнею сортувалки. Точність сортування бульб визначається залежністю кутової швидкості обертання гвинтової спіралі ω , кутом встановлення осі гвинтової спіралі і напрямних до горизонту δ , кутом між осями симетрії гвинтової спіралі і напрямних γ від показника L_s – точки падіння бульби у пробовідбірники. Пошкодження картоплі обумовлюється значеннями зусиль контакту бульб з напрямними сортувалки, що визначаються реакціями зв'язку N_M і N_N . При зростанні цих значень збільшується ймовірність пошкодження бульб. Зменшення значень N_M і N_N до мінімуму (N_M і $N_N = 0$) спричиняє порушення стійкості технологічного процесу, що визначається сходом бульб картоплі з напрямних сортувалки.

Встановлено, що вплив конструктивно-кінематичних параметрів на точність сортування проявляється через стійкість процесу переміщення бульб по напрямних під дією гвинтової поверхні. Збільшення кутової швидкості спіралі (рис. 3, а) збільшує інтервал проходу бульб з різними розмірними характеристиками через напрямні до пробовідбірників L_s , що зменшує точність сортування за рахунок збільшення ймовірності потрапляння бульб у суміжні фракції.

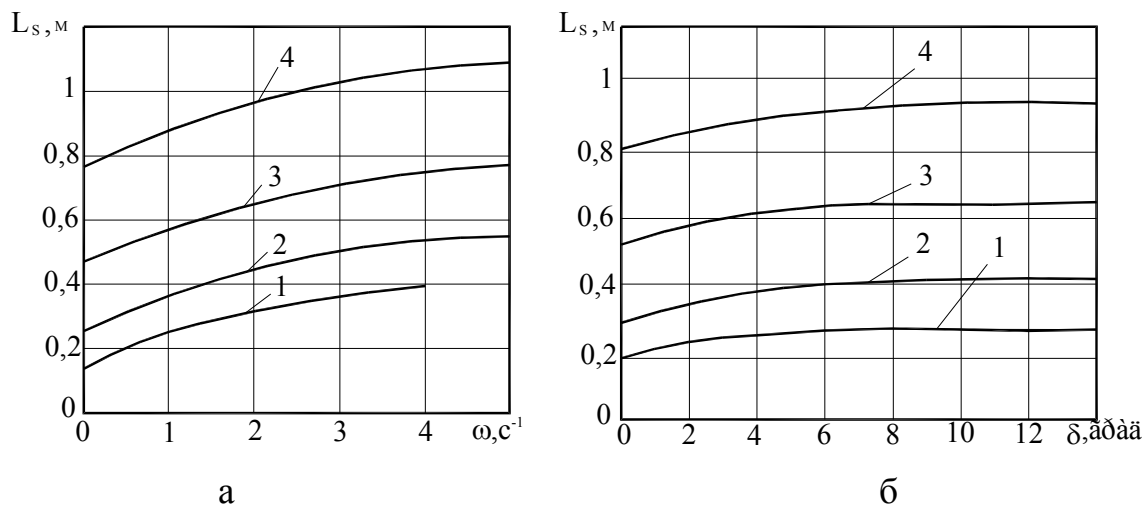


Рис. 3. Вплив кутової швидкості гвинтової спіралі (а), кута встановлення її осі і напрямних до горизонту (б) на переміщення бульб L_s при $\omega = 3,1 \text{ c}^{-1}$: 1 – $R_s = 0,017 \text{ м}$; 2- $R_s = 0,023 \text{ м}$; 3 – $R_s = 0,035 \text{ м}$; 4 – $R_s = 0,05 \text{ м}$

При кутовій швидкості $\omega > 4 \text{ c}^{-1}$ спостерігається порушення технологічного процесу для бульб із значенням $R_s = 0,017 \text{ м}$. Для забезпечення необхідної точності сортування значення кутової швидкості гвинтової спіралі доцільно обирати в межах $\omega = 2,5 \dots 4,0 \text{ c}^{-1}$.

Зміна кута встановлення напрямних і гвинтової спіралі до горизонту, що впливає на стійкість контакту бульб з гвинтовою поверхнею, більше 10°

несуттєво впливає на показник L_S . Тому, для забезпечення постійного контакту бульб з гвинтовою спіраллю і напрямними кут δ доцільно приймати в межах $6,5 \dots 10^\circ$.

Стійкість процесу істотно залежить від значень реакцій зв'язку бульб з напрямними, які визначаються кутом γ . Збільшення кута γ більше 6° для бульб з $R_S = 0,035$ м та 4° для бульб $R_S = 0,05$ м призводить до порушення технологічного процесу (рис. 4, а, б), що пояснюється втратою контакту бульб з напрямними сортувалки. Доцільним інтервалом зміни показника γ для забезпечення стійкості процесу слід вважати $\gamma = 2,6 \dots 6^\circ$.

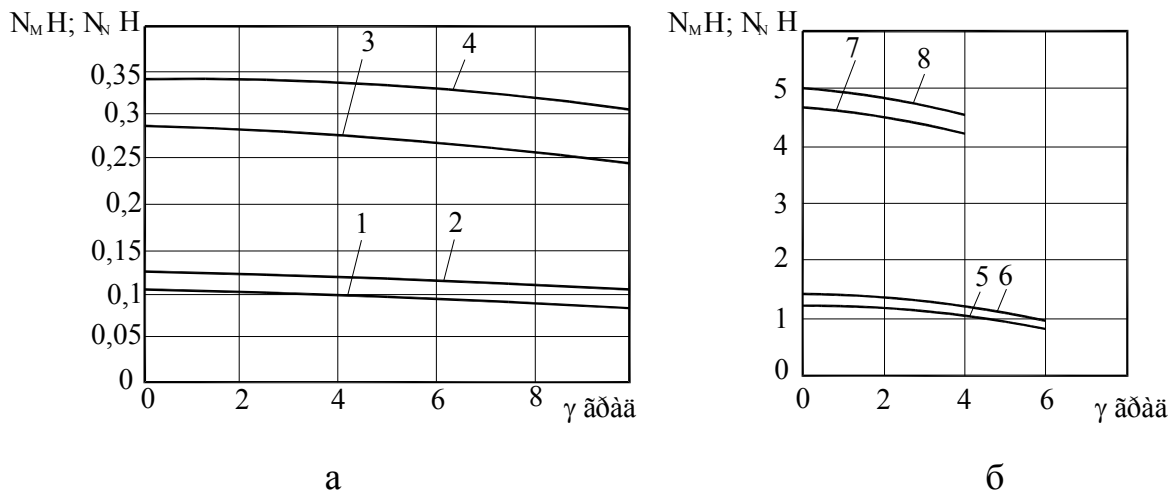


Рис. 4. Залежності реакцій зв'язку бульб з напрямними від кута між осями симетрії їх і спіралі, при $\omega = 3,1 \text{ c}^{-1}$: а – 1 – N_M для $R_S = 0,017$ м; 2 – N_N для $R_S = 0,017$ м; 3 – N_M для $R_S = 0,023$ м; 4 – N_N для $R_S = 0,023$ м; б – 5 – N_M для $R_S = 0,035$ м; 6 – N_N для $R_S = 0,035$ м; 7 – N_M для $R_S = 0,05$ м; 8 – N_N для $R_S = 0,05$ м

У третьому розділі « Програма і методика експериментальних досліджень» викладено програму експериментальних досліджень, наведено методику їх проведення, прилади та обладнання.

Експериментальні дослідження розробленої сортувалки бульб картоплі (рис. 5) проводилися з метою перевірки результатів, отриманих при теоретичному обґрунтуванні її раціональних параметрів, і перевірки гіпотези про позитивний вплив стійкості переміщення гвинтовою спіраллю бульб картоплі по напрямних пристрою на процес сортування.

Програма експериментальних досліджень передбачала:

- уточнити фізико-механічні властивості бульб картоплі, що мають вплив на процес сортування;
- визначити якість сортування та продуктивність сортувалки залежно від конструктивно-режимних параметрів;



Рис. 5. Загальний вид розробленої сортувалки бульб картоплі

- виконати багатофакторний експеримент з визначенням раціональних конструктивно-режимних параметрів сортувалки;
- провести випробування сортувалки у виробничих умовах та визначити її техніко-економічну ефективність;
- провести порівняльну агротехнічну оцінку розробленої і серійної сортувалки з роликowymi робочими органами.

Для проведення експериментальних досліджень з визначення раціональних параметрів сортувалки склали матрицю некомпозитного плану типу 3^k .

Для дослідження динаміки бульб по напрямних сортувалки використано відеозйомку з наступною обробкою отриманих результатів. Особливістю методики є обробка фотографічного зображення руху пофарбованих бульб по напрямних сортувалки і визначення положення розподільників пробовідбірників.

Якісні показники роботи сортувалки в лабораторних і виробничих умовах оцінювалися коефіцієнтом точності сортування k_c та ступенем пошкодження бульб картоплі робочими органами, збережуваність при довготривалому зберіганні.

Усі експериментальні дослідження проведені із використанням принципу багатократності вимірювань та обробки результатів методами математичної статистики із застосуванням ПК та програм Statistika 6.0, Mathcad 11.0, Microsoft Office Excel 2003.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» наведено результати лабораторних досліджень розробленої сортувалки бульб картоплі, якісних показників технологічного процесу сортування бульб на фракції.

Експериментально визначені фізико-механічні властивості бульб картоплі, значення яких враховані при моделюванні процесу сортування. Зокрема, коефіцієнт відновлення k_B склав 0,55...0,65; коефіцієнт тертя динамічний f_m становить 0,60...0,77; а f_c статичний – 0,70...0,85.

Плануванням багатофакторного експерименту одержані рівняння регресії з критерієм оптимізації:

$$k_c = 0,8278 - 0,0688x_1 - 0,0404x_2 + 0,0158x_3 + 0,015x_{12} + 0,0025x_{13} + 0,0958x_{23} - 0,0395x_1^2 - 0,0391x_2^2 - 0,0264x_3^2. \quad (15)$$

Встановлені оптимальні значення конструктивно-режимних параметрів розробленої сортувалки: кутова швидкість гвинтової спіралі $\omega_c = 4,2 \text{ с}^{-1}$; кут установки гвинтової спіралі і напрямних до горизонту $\delta = 8,6^\circ$; кут між осями симетрії спіралі і напрямних $\gamma = 4,6^\circ$; продуктивність сортувалки склала 420 кг/год (рис. 6, а, б, в). При цьому точність сортування бульб картоплі за коефіцієнтом k_c складає 0,88, середня кількість пошкоджених бульб – 0,1 %, збереженість при довгостроковому зберіганні через 6 місяців – 97 %, що задовольняє агротехнічним вимогам.

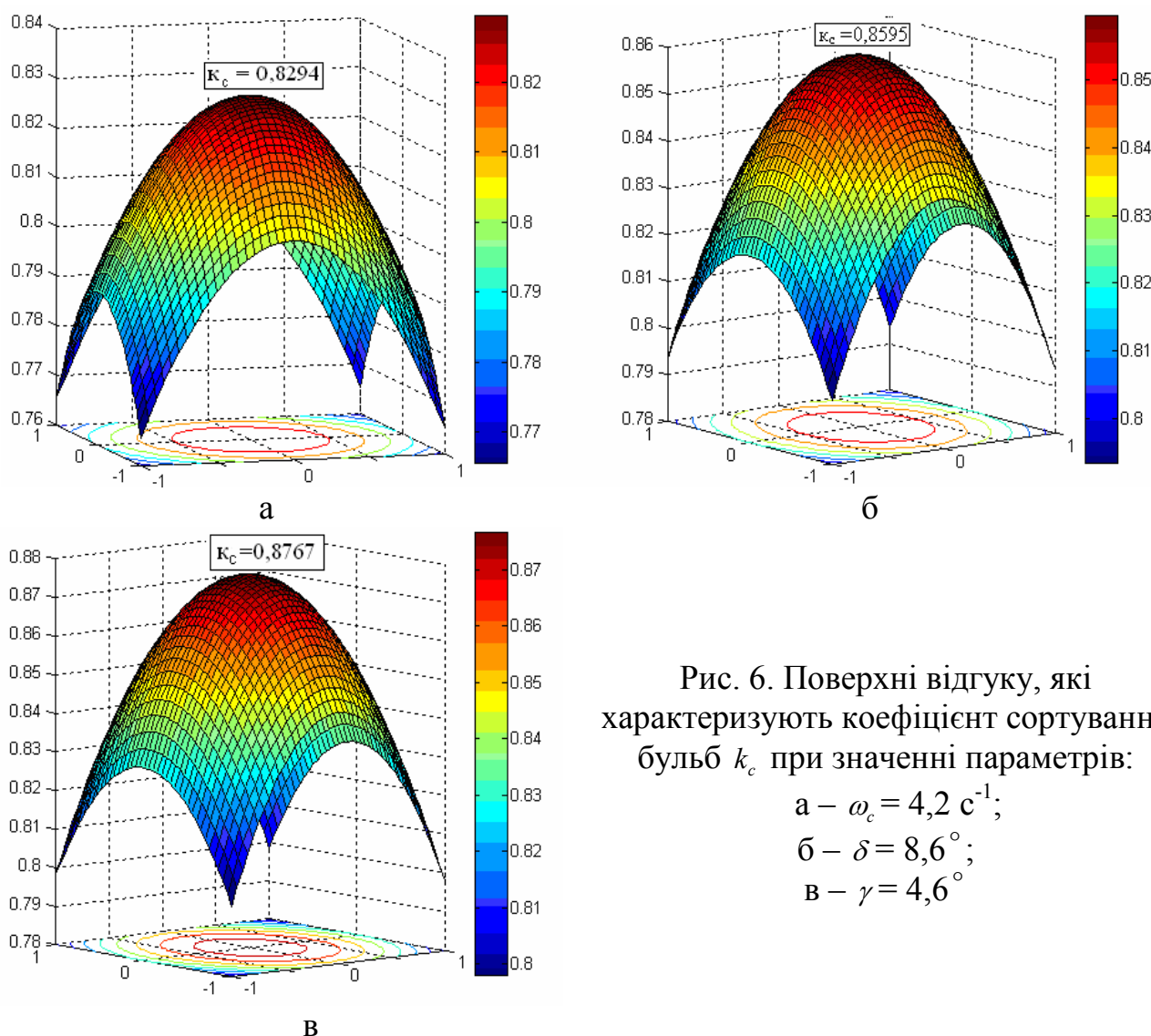


Рис. 6. Поверхні відгуку, які характеризують коефіцієнт сортування бульб k_c при значенні параметрів:

а – $\omega_c = 4,2 \text{ с}^{-1}$;

б – $\delta = 8,6^\circ$;

в – $\gamma = 4,6^\circ$

Аналіз відеозаписів руху картоплі у сортувалці під дією гвинтової спіралі (рис. 7) показав, що процес відбувається при ковзанні бульб по напрямних, найбільший вплив на стійкість руху компонентів картопляного вороху має частота обертання гвинтової спіралі. Ці закономірності процесу узгоджуються з результатами, одержаними при теоретичному обґрунтуванні режимів роботи сортувалки (рис. 8). Розбіжності результатів теоретичних досліджень з

експериментальними складали 3 – 5 %, що підтверджує адекватність створених математичних моделей руху бульб картоплі у сортувалці.



Рис. 7. Відеограми руху бульб картоплі у сортувалці

Дослідженнями встановлено, що продуктивність сортувалки суттєво залежить від фізико-механічних характеристик бульб картоплі різних сортів. Встановлено, що збільшення продуктивності призводить до зниження якості сортування (рис. 9). Так для сортування картоплі сорту “Бородянський рожевий”, що має найбільш округлу форму бульб продуктивність сортувалки є найбільшою в допустимому інтервалі агротехнічних вимог до точності сортування. Бульби картоплі сортів “Серпанок” і “Фантазія” мають продовгувату форму, що обумовлює проходження їх через напрямні залежно від положення на робочій поверхні сортувалки. Тому для забезпечення якості сортування бульб продуктивність зменшується на 2-4 %.

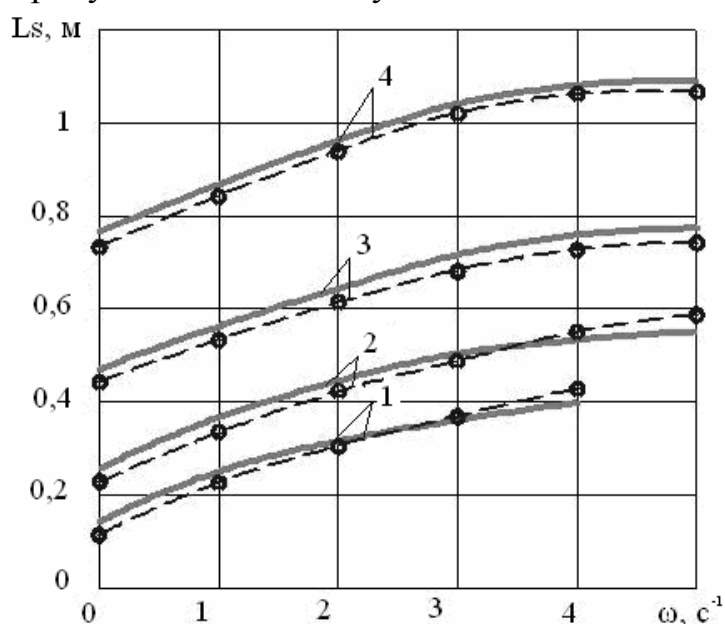


Рис. 8. Залежності показника L_s від кутової швидкості гвинтової спіралі для фракцій: 1– $R_s = 0,017$ м; 2– $R_s = 0,023$ м; 3– $R_s = 0,035$ м; 4 – $R_s = 0,05$ м; (—) – теоретичні дослідження; (-----) – експериментальні

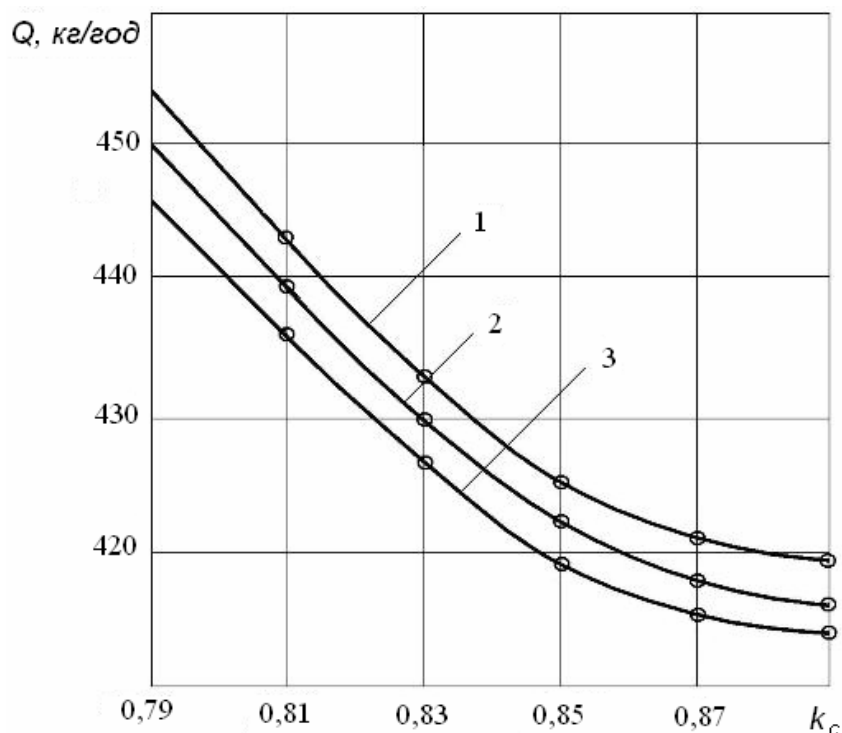


Рис. 9. Залежність коефіцієнта сортування від продуктивності сортувалки для сортів картоплі: 1 – Бородянський рожевий; 2 – Серпанок; 3 – Фантазія

У п'ятому розділі «Виробничі випробування та економічна ефективність сортувалки» наведені результати виробничих випробувань і розрахунки техніко-економічної ефективності застосування розробленої гвинтової сортувалки.

Випробування гвинтової сортувалки проведено в фермерському господарстві «Шмаровоз Г.П.» Нововодолазького району Харківської області на сортуванні бульб картоплі сортів «Бородянський рожевий», «Серпанок», «Фантазія». Результати виробничих випробувань наведені в табл.

Результати виробничих випробувань розробленої сортувалки

Сорт картоплі	Показники	Марка машин	
		КСП-15Б	Гвинтова сортувалка
Бородянський рожевий	продуктивність, кг/год	9741	434
	точність сортування, %	78	87
	пошкодження бульб, %	8,7	1,5
Серпанок	продуктивність, кг/год	85473	431
	точність сортування, %	73	84
	пошкодження бульб, %	10,1	2,3
Фантазія	продуктивність, кг/год	8353	426
	точність сортування, %	67	81
	пошкодження бульб, %	11,4	2,6

Аналізом результатів випробувань встановлено, що точність сортування розробленою сортувалкою перевищує цей показник у порівнянні із серійною машиною для сортування картоплі «Бородянський рожевий» на 9 %, «Серпанок» – 11 %, «Фантазія» – 14 %, пошкодження бульб зменшено в середньому на 7,9 %. Порівняними випробуваннями встановлено також, що питома енергоємність процесу зменшена з 0,002 до 0,001 кВт год/кг; питомі

капіталовкладення – з 2055 до 342,5 грн./кг (у 6 разів); експлуатаційні витрати – з 598,53 до 125,5 грн./кг (у 4,8 раза). Річний економічний ефект від впровадження розробленої сортувалки у господарстві склав 13457 грн.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання, що виявляється в математичному моделюванні керованого процесу сортування картоплі як процесу динаміки бульб розробленою сортувалкою. Це дозволило підвищити якість сортування та зменшити пошкодження бульб картоплі з метою забезпечення їх довготривалого зберігання.

Головними підсумками виконання роботи є такі результати.

1. Проведеним аналізом результатів досліджень сортування бульб картоплі, відповідних засобів і конструкцій встановлено, що існуючі картоплесортувальні пункти мають суттєві недоліки: зниження точності сортування; залипання сортувальних роликів ґрунтом; високе пошкодження бульб. Для підвищення якості сортування та зменшення пошкодження необхідно забезпечити стійкий рух бульб по напрямних під дією гвинтової спіралі розробленого пристрою. Для визначення конструктивних параметрів сортувалки необхідно виконати теоретичні та експериментальні дослідження, які б дозволили розраховувати технологічні показники та керувати процесом сортування бульб картоплі на фракції.

2. Експериментально визначені фізико-механічні властивості бульб картоплі, які дозволили точніше описати процес сортування, оптимізувати конструктивно-режимні параметри сортувалки: коефіцієнт відновлення швидкості при ударі становить $\kappa_{\text{в}} = 0,48$, динамічний коефіцієнт тертя $f_m = 0,60 \dots 0,77$ з довірчим інтервалом $0,45 - 0,51$ при довірчій імовірності $0,95$.

3. Виконаними теоретичними дослідженнями та побудованими математичними моделями умов проходження бульб через напрямні, динаміки бульб на решітчасто-гвинтовій поверхні, обґрунтовано технологічні характеристики процесу сортування та визначено конструктивно-режимні параметри сортувалки.

4. Для розрахунку та управління якістю створені математичні моделі процесу сортування розробленою сортувалкою. Одержані залежності ефективності сортування від кінематичних, конструктивних параметрів сортувалки, фізико-механічних властивостей бульб картоплі. Встановлено, що найбільша ефективність сортування розробленим пристроєм досягається при кутовій швидкості гвинтової спіралі $\omega = 3,5 \dots 4,5 \text{ с}^{-1}$; куті її встановлення і напрямних до горизонту $\delta = 6,5 \dots 10^\circ$; куті між осями симетрії гвинтової спіралі та напрямними $\gamma = 2,6 \dots 6^\circ$.

5. Комплексним аналізом результатів теоретичних та експериментальних досліджень, проведенням багатofакторного експерименту рекомендовані оптимальні значення конструктивно-режимних параметрів розробленої сортувалки при значенні коефіцієнта сортування $\kappa_c = 0,83 \dots 0,88$; кутової швидкості гвинтової спіралі $\omega = 4,2 \text{ с}^{-1}$; кута установки пристрою до горизонту $\delta = 8,6^\circ$; кута між осями симетрії гвинтової спіралі і напрямних $\gamma = 4,6^\circ$; продуктивності $Q = 420 \text{ кг/год}$.

6. Результати досліджень передані на машинобудівне підприємство ТОВ “Укр.агро-сервіс“ для підготовки виробництва розробленої сортувалки бульб картоплі.

7. Виробничими випробуваннями розробленої сортувалки встановлено: необхідна якість процесу сортування бульб картоплі відповідає агротехнічним вимогам і забезпечується підвищенням точності сортування для різних сортів картоплі на 9...14 % і зменшенням пошкодження бульб в середньому на 7,9 %; питомі енергоємність процесу і капіталовкладення, відповідно, знижені: з 0,002 кВт до 0,001 кВт год/кг (у 2 рази), з 2055 до 342,5 грн./кг (у 6 разів); експлуатаційні витрати знижені з 598,53 до 125,5 грн./кг (у 4,8 рази). Річний економічний ефект від впровадження розробленої сортувалки в фермерському господарстві “Шмаровоз Г.П.” Нововодолазького району Харківської області склав 13457 грн.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Дзюба О.А. Аналіз пристроїв для післязбирального сортування картоплі / О.А. Дзюба//Вісник ХДПУ. – Харків, ХДПУ, 2000.- Вип. 123.- С.99-106.
2. Дзюба О.А. Експериментальна установка для випробування пристрою для сортування картоплі на фракції / О.А. Дзюба//Підвищення надійності відновлюємих деталей машин: Вісник ХДТУСГ. – Харків, ХДТУСГ, 2001.– Вип. 8. Т.2 - С.165 – 169.
3. Дзюба О.А. Визначення оптимальних параметрів пристрою для сортування картоплі /О.А. Дзюба//Вісник ХНТУСГ. – Харків, ХДТУСГ, 2003. – Вип. 15 - С.284-289.
4. Дзюба О.А. Визначення умов руху картоплі в сортувальному пристрої /О.А. Дзюба// Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХДТУСГ-Харків, ХДТУСГ, 2003. – Вип. 20.- С.404 – 407.
5. Козаченко О.В.Обґрунтування кінематичних параметрів пристрою для сортування картоплі /О.В. Козаченко О.В., О.А. Дзюба//Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва: Вісник ХНТУСГ. - Харків, ХНТУСГ, 2005. - Вип. 42. - С.147 – 153.
6. Козаченко О.В.Теоретичні дослідження руху бульб картоплі по напрямних сепаратора/О.В. Козаченко О.В., О.А. Дзюба//Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Збірник КНТУ. - Кіровоград, КНТУ, 2010. – Вип. 40, Ч. II.- С. 18-27.
7. Дзюба О.А. Обґрунтування раціональних параметрів сортувалки бульб картоплі /О.А. Дзюба//Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві: Вісник ХНТУСГ. - Харків, ХНТУСГ, 2010. – Вип. 42.- С.111 – 118.
8. Пат. 27141 Україна В 07 В /40 Гвинтовий класифікатор / Дзюба О. А., Дзюба А.І., Манчинский Ю.О., Грідасов В.І.- № 441979, Заявлено 26.05.95; Опубл. 28.02.2000, Бюл. № 1.
9. Козаченко О.В.Обґрунтування параметрів процесу сортування бульб картоплі//О.В. Козаченко О.В., О.А. Дзюба //Механізація

сільськогосподарського виробництва та переробки сільськогосподарської продукції: Вісник ХНТУСГ. - 2010. – Вип. 103.- С.166 – 173.

10. Пат. 65647 Україна, В 07 В 1/16, В 07 В 1/20. Гвинтовий класифікатор / Дзюба О.А., Дзюба А.І., Козаченко О.В.- № 27141/UA, Заявлено 14.07.2001, Опубл. 15.04.2004, Бюл. №4.

11. Пат. 73000 Україна, В 07 В1/16, В 07 В 1/20. Гвинтовий класифікатор /Дзюба О.А., Дзюба А.І., Козаченко О.В.- №2003032166, Заявлено 12.03.2003; Опубл. 16.05. 2005, Бюл. № 5.

12. Пат. 93770 Україна, В 07 В1/00, В 07 В 1/12. Гвинтовий класифікатор / Дзюба О.А., Дзюба А.І., Козаченко О.В., Мерінець Н.І. - № а200908084, Заявлено 31.07.2009; Опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5.

13. Пат. 93768 Україна, В 07 В 1/00, В 07 В 1/28. Спосіб розділення сипких матеріалів за розмірами / Дзюба О.А., Дзюба А.І., Козаченко О.В., Мерінець Н.А. - № а200907913, Заявлено 27.07.2009; Опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5.

АНОТАЦІЇ

Дзюба О.А. Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів сортувалки бульб картоплі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2011.

У дисертації вирішене наукове завдання, яке направлене на підвищення ефективності процесу сортування бульб картоплі на фракції, розробки конструкції та обґрунтування конструктивно-режимних параметрів сортувалки у вигляді активної гвинтової спіралі, яка переміщує бульби картоплі по V - подібно встановлених напрямних.

У роботі наведено аналітичні залежності умов сталого руху бульб картоплі по напрямних сортувалки при взаємодії їх із гвинтовою поверхнею. Для керування та розрахунку технологічних показників якості процесу сортування картоплі створено нові математичні моделі динаміки бульб по напрямних, в яких враховано вплив їх характеристик та конструктивно-режимних параметрів розробленої сортувалки. Для оцінки впливу розробленої сортувалки на якість процесу сортування вперше виконано комплексне обґрунтування її конструктивних параметрів з врахуванням кінематичних режимів роботи, механіко-технологічних властивостей компонентів та режимних параметрів процесу. За результатами експериментальних досліджень встановлено раціональні параметри пристрою. Господарські випробування зразка пристрою підтвердили високу якість сортування при відсутності пошкоджень бульб картоплі.

Визначено оптимальні значення конструктивно-режимних параметрів розробленої гвинтової сортувалки, при яких точність сортування бульб картоплі на фракції складає 88 %, продуктивність $Q = 420$ кг/год.

Ключові слова: бульби картоплі, процес сортування, сортувалка, параметри, коефіцієнт сортування, продуктивність, якість.

Дзюба О.А. Обоснование конструктивно-режимных параметров сортировки клубней картофеля. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка. Харьков, 2011.

В диссертации решена научная задача, которая направлена на повышение эффективности процесса сортирования клубней картофеля на фракции, разработки конструкции и обоснование конструктивно-режимных параметров машины для сортирования в виде активной винтовой спирали, которая перемещает клубни картофеля по V - образно установленных направляющих.

Анализ существующих способов и технических устройств для сортирования картофеля показал, что они имеют низкое качество разделения на фракции со значительной долей скрытых повреждений, что при хранении в зимний период времени проявляет себя в виде загнивания и заражения здоровых клубней картофеля. Перспективным направлением повышения качества сортирования являются устройства с винтовыми активными рабочими органами. Они обеспечивают высокую точность сортирования, происходит плавный захват картофеля, что устраняет скрытую повреждаемость клубней.

Для расчёта технических показателей и качества процесса сортирования построены математические модели в зависимости от условий устойчивого движения клубней картофеля по направляющим при взаимодействии их с винтовой поверхностью сортировки.

Анализ полученных зависимостей дал возможность управлять и производить расчёт технологических показателей качества сортирования картофеля, созданы новые модели динамики клубней по направляющим с учётом их характеристик и конструктивно-режимных параметров сортировки.

Теоретические исследования выполнены с использованием основных законов динамики, теоретической механики, аналитической геометрии, современных методов моделирования с использованием вычислительной техники, прикладной программы Matlab.

Для определения эффективности процесса сортирования, производительности устройства, качества сортирования клубней картофеля и энергоёмкости процесса разработаны экспериментальные методы и приспособления. Экспериментально установлены механико-технологические свойства клубней картофеля. Обработка результатов экспериментальных исследований выполнена с использованием положений теории вероятности и математической статистики.

Комплексным анализом результатов теоретических, экспериментальных исследований и проведенного многофакторного эксперимента рекомендованы оптимальные значения конструктивно-режимных параметров разработанного винтового устройства: угловая скорость винтовой спирали $\omega = 4,2 \text{ с}^{-1}$; угол установки устройства к горизонту $\delta = 8,6^\circ$; угол между осями симметрии винтовой спирали и направляющих $\gamma = 4,6^\circ$. При этом коэффициент сортирования $k_c = 0,83 \dots 0,89$, производительность $Q = 420 \text{ кг/ч}$.

Производственные испытания разработанного винтового устройства показали: необходимое качество процесса сортирования клубней картофеля в соответствии с агротехническими требованиями обеспечивается повышением точности сортирования на 9...14 % и снижением травмированности клубней в среднем на 7,9 %; удельная энергоёмкость процесса разделения клубней картофеля снижены с 0,002 до 0,001 кВт ч/кг (в 2 раза), удельные капиталовложения снижены с 2055 до 342,5 грн./кг (у 6 раз); эксплуатационные затраты уменьшены с 598,53 до 125,5 грн./кг (у 4,8 раза). Годовой экономический эффект от использования сортировки составил 13457 грн.

Ключевые слова: клубни картофеля, процесс сортирования, параметры, коэффициент сортирования, производительность, качество.

ABSTRACT

Dzyuba O.A. Ground of parameters and development of сортувалки tubers of potato. it is Manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after speciality 05.05.11 are machines and facilities of mechanization of agricultural production. it is the Kharkov national technical university of agriculture of the name of Peter Vasilenko, Kharkov, 2011.

A scientific task, which is directed on the increase of efficiency of process of sorting of tubers of potato on factions, developments of construction and grounds of structurally technological parameters of сортувалки as an active spiral spiral which moves the tubers of potato for, is decided in dissertation - like the set sending.

Analytical dependences of terms of permanent motion of tubers of potato are in-process resulted on sending of сортувалки at co-operating of it with a helicoid. For a management and calculation of technological indexes of quality of process of sorting of potato the new mathematical models of dynamics of motion of tubers on sending, influence of their descriptions and structurally technological parameters of developed сортувалки is taken into account in which, are created. For the estimation of influence of developed сортувалки on quality of sorting process a complex ground is first executed it structural parameters taking into account kinematics office, механіко-технологічних properties of components and technological parameters of process hours. As a result of experimental researches the rational parameters of device are set. The economic tests of standard of device confirmed high quality of sorting in default of damages of tubers of potato.

Certainly optimum values of structurally kinematics parameters of developed spiral сортувалки, at which exactness of sorting of tubers of potato on faction is 88 %, productivity of $Q = 420$ kg/год.

Keywords: process of sorting, tuber of potato, grader, parameters, separation factor, productivity, quality.

Відповідальний за випуск: А.В. Левкін
Підписано до друку «26» квітня 2011 р.
Комп'ютерний набір та верстка: Тур О.Г.
Формат 60×84 1/16 Обл.-вид. арк..0.8
Тираж 100 прим. Замовлення 51/2011
Різограф TR 510 №80654645

Навчально-методичний відділ Харківського національного технічного
університету сільського господарства імені Петра Василенка

Адрес редакції поліграф-підприємства
61002, м. Харків, вул.. Артема 44, кім. 101