

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка

**Пахучий Андрій Миколайович**

УДК 631.354.3:633.521

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ЖНИВАРКИ ОБЧІСУВАЛЬНОГО ТИПУ ДЛЯ ЗБИРАННЯ  
НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО**

05.05.11 – машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Козаченко Олексій Васильович,**  
Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка,  
професор кафедри надійності, міцності  
та технічного сервісу машин ім. В.Я.Аніловича.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Леженкін Олександр Миколайович,**  
Таврійський державний агротехнологічний  
університет імені Дмитра Моторного,  
професор кафедри технічної механіки  
та комп'ютерного проектування;

кандидат технічних наук, старший дослідник  
**Алієв Ельчин Бахтияр огли,**  
Інститут олійних культур Національної академії  
аграрних наук України,  
завідувач відділу техніко-технологічного  
забезпечення насінництва.

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р. о \_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.832.04 в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Є.І. Калінін

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Процес збирання сільськогосподарських культур, у тому числі й льону олійного, є важливою технологічною операцією їх виробництва в аграрному секторі України. Позитивна динаміка збільшення виробництва льону олійного, зумовлена зростанням попиту на насіння на внутрішньому й зовнішньому ринках, вимагає інтенсифікації технологічних процесів збиральної техніки.

Основні причини стримування виробництва льону олійного – це недосконалість техніки для збирання та невідповідність показників якості роботи встановленим вимогам. Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є технологія збирання методом обчисування рослин на корені. Від застосовуваних робочих органів та компоновальних схем жниварок обчисувального типу, параметрів робочих органів і режимів їх роботи залежить якість процесу комбайнового збирання. Своєчасне збирання насіння льону олійного в оптимальні агротехнічні строки за мінімальних втрат і забрудненості обчисаного вороху – важливе наукове завдання вдосконалення збиральної техніки. Підвищення ефективності збирання насіння льону олійного і, як наслідок, поліпшення якості продукції вимагають нових підходів до розробки та впровадження технічних засобів у прогресивних технологіях.

Одним із резервів підвищення якості збирання насіння льону олійного є інтенсифікація технологічного процесу відокремлення механічних домішок за допомогою застосування вдосконаленої жниварки, яка реалізує додатковий аеродинамічний ефект для сепарації обчисаного вороху в її області.

У зв'язку з цим удосконалення жниварки обчисувального типу для збирання насіння льону олійного і дослідження впливу її конструктивно-режимних параметрів з метою підвищення показників якості роботи є важливим і актуальним народногосподарським завданням.

**Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано відповідно до Закону України «Про стимулювання розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового розвитку» №5478-VI (5478-17) від 06.11.2012 р., Постанови Кабінету Міністрів України № 942 від 07.09.2011 р. «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямків наукових досліджень і науково-технічних розробок до 2015 року», плану науково-дослідної роботи кафедри технічного забезпечення агропромислового виробництва ХНАУ ім. В.В. Докучаєва «Удосконалення агроекологічних процесів засобів механізації в агропромисловому виробництві», ДР №0118U100211.

**Мета дослідження:** підвищення якості збирання насіння льону олійного шляхом обґрунтування конструктивно-режимних параметрів жниварки обчисувального типу.

**Завдання дослідження:**

– провести оцінку та аналіз існуючих підходів до розв'язання проблеми підвищення ефективності процесів збирання методом обчисування рослин на корені;

- визначити й обґрунтувати геометричну форму обтікача жнивarki обчісувального типу залежно від умови забезпечення періодичної подачі стеблової маси льону олійного до обчісувального барабана;

- визначити й обґрунтувати геометричну форму кожуха жнивarki обчісувального типу залежно від умови забезпечення необхідного градієнта швидкостей повітряного потоку для виконання технологічного процесу розділення вороху;

- розробити фізико-математичну модель технологічного процесу збирання насіння льону олійного жнивarkою обчісувального типу та обґрунтувати діапазони режимних параметрів її бітера-відбивача й обчісувального барабана на основі технологічних параметрів роботи комбайна і фізико-механічних властивостей стеблової маси та вороху льону олійного;

- дослідити вплив конструктивно-режимних параметрів на якісні показники роботи вдосконаленої обчісувальної жнивarki;

- провести порівняльні випробування удосконаленої жнивarki обчісувального типу із серійною, визначити техніко-економічну ефективність застосування удосконаленої жнивarki.

**Об’єкт дослідження:** процес збирання рослин на корені, його зв’язок з конструктивно-режимними параметрами обчісувальної жнивarki.

**Предмет дослідження:** обґрунтування конструктивно-режимних параметрів жнивarki обчісувального типу для збирання насіння льону олійного.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження проводилися з використанням механіко-математичного моделювання та базувалися на положеннях теоретичної механіки, динаміки сипучого середовища і методів диференціального та інтегрального числення.

Експериментальні дослідження здійснено в лабораторних та виробничих умовах з використанням загальноприйнятих та спеціально розроблених методик із застосуванням багатофакторних експериментів. В основу експериментальних досліджень покладено методи фізичного моделювання, методи теорії ймовірності і математичної статистики.

Результати цих досліджень здійснювались з використанням програмних пакетів STAR CCM+, Wolfram Mathematica та Microsoft Excel з застосуванням регресивного та кореляційного аналізів.

### **Наукова новизна роботи.**

*Вперше:*

- отримано залежності зміни кривизни стебла льону олійного під дією обтікача жнивarki від реологічних властивостей стебла і геометричної форми обтікача;

- одержано залежності зміни масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki обчісувального типу (показник якості очищення вороху від домішок) та частки відходу насіння і коробочок з насінням (показник втрат насіння) від частоти обертання її бітера-відбивача й обчісувального барабана, положення повітряної сітки і її ширини ;

– комплексно обґрунтовано параметри розробленої жниварки обчісувального типу для збирання насіння льону олійного із врахуванням впливу повітряного потоку в її області, конструктивно-режимних показників і фізико-механічних властивостей компонентів вороху.

*Отримало подальший розвиток:* моделювання процесів збирання врожаю методом обчісування рослин на корені, який відрізняється врахуванням властивостей компонентів обчісаного вороху та конструктивно-режимних параметрів обчісувальної жниварки.

*Удосконалено:* визначення програмованої ефективності жниварок обчісувального типу, які доповнені врахуванням умови забезпечення необхідного градієнта швидкостей повітряного потоку для виконання технологічного процесу розділення компонентів вороху в їх області.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішено науково-технічне завдання підвищення якості збирання насіння льону олійного жниваркою обчісувального типу. Одержані результати досліджень передано ТОВ «Укр.Агро-сервіс» (м. Харків) для використання під час проектування та виготовлення жниварок обчісувального типу «Слов'янка». Розроблено конструкцію установки для дослідження процесу обчісування рослин (патент України №135514). Наукові положення, отримані в дисертаційному дослідженні, впроваджено в навчальний процес на кафедрі технічного забезпечення агропромислового виробництва ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. Ефективність запропонованих технічних рішень підтверджено економічним ефектом, отриманим від упровадження жниварки обчісувального типу у ТОВ «ЮГРАН» Харківської області, він становить 104,5 тис. грн.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи здобувачем отримано самостійно, та в роботах [1–10] У наукових працях, виконаних у співавторстві, особистий вклад здобувача такий: отримано динамічну функцію зміни кривизни стебла льону олійного залежно від його реологічних властивостей [2]; досліджено режимні параметри обчісувального барабана жниварки [3]; обґрунтовано конструктивно-режимні параметри обчісувального пристрою [4]; виконано теоретичний аналіз взаємодії стебла рослини льону олійного із обчісувальним барабаном [5]; виконано чисельне моделювання процесу збирання насіння льону олійного жниваркою обчісувального типу [6].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались та отримали позитивні відгуки на Міжнародній науково-практичній конференції «Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва» (ХНТУСГ, Харків, 23–24 жовтня 2017р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні розробки в аграрній сфері» (ХНТУСГ, Харків, 28–29 листопада 2018р., 04 квітня 2019р.); на IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» (ЖАТК, Житомир, 28–29 березня

2018 р.); щорічних підсумкових наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів і здобувачів ХНАУ (ХНАУ, Харків, 11 січня 2011р., 22 січня 2013р., 23 березня 2016р., 24 травня 2017 р., 13 березня 2018р.); V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» (ЖАТК, Житомир, 28–29 березня 2019 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 10 наукових працях, у тому числі: 6 статей в спеціалізованих наукових виданнях України і 2 статтях у закордонних виданнях (з них 1 – включено до міжнародної наукометричної бази Scopus – [6]), 3 тезах у збірниках доповідей наукових конференцій; отримано 1 патент.

**Обсяг і структура роботи.** Повний обсяг дисертаційної роботи становить 201 сторінок, у тому числі 11 додатків на 28 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 155 сторінок, 78 рисунків, 24 таблиці. Список використаних джерел нараховує 164 найменувань на 17 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми та необхідність проведення досліджень, викладений зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мету і основні завдання дослідження, наведено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів.

**У першому розділі** «Стан питання і перспективи підвищення ефективності збирання льону олійного, мета та завдання дослідження» наведено аналіз стану проблеми, огляд та оцінку сучасних досліджень і засобів підвищення ефективності збирання врожаю методом обчісування рослин на корені. Виявлено, що подальше підвищення ефективності збирання стримане недостатньою ефективністю жниварок обчісувального типу при обчісуванні відмінних за фізико-механічними і реологічними властивостями рослин, обмежене енерговитратами.

Значний вклад у вирішення проблеми збирання сільськогосподарських культур методом обчісування рослин на корені внесли: П.А. Шабанов, Л.В. Погорілий, О.М. Леженкін, А.С. Кушнарєв, Н.П. Шабанов, Н.Н. Данченко, В.И. Кравчук, П.В. Сисолін, А.И. Бурьянов, М.А. Бурьянов та ін. Але наявні математичні моделі не розглядають комплексно процес взаємодії рослин з робочими органами жнивarki та вплив повітряного потоку на сепарацію компонентів вороху в її зоні, математичні вирази ускладнені або не мають подальшого практичного використання для створення нових ефективних технічних засобів для збирання рослин на корені. Таким чином, запропоновано розв'язання науково-практичного завдання підвищення якості збирання насіння льону олійного жнивarkою обчісувального типу шляхом обґрунтування конструктивно-режимних параметрів.

**У другому розділі** «Теоретичні дослідження процесу збирання насіння льону олійного жнивarkою обчісувального типу» визначено й обґрунтовано

геометричні форми обтікача жнивarki обчисувального типу і кожуха, розроблено фізико-математичну модель процесу збирання насіння льону олійного жнивarkою й обґрунтовано діапазони режимних параметрів її бітера-відбивача та обчисувального барабана, положення повітряної сітки кожуха і її ширину.

Фізико-механічні властивості стебла льону олійного визначають його поведінку під час взаємодії з обтікачем жнивarki, з погляду згинання рослини. При взаємодії обтікача жнивarki зі стебловою масою льону олійного відбувається процес згинання рослини, фізичну модель якого розглянемо на основі теорії пружності. Обтікач діє на стебло рослини із силою  $P$ , зона розгалуження відхиляється від положення рівноваги під впливом сили тяжіння  $G$ . Розглянемо плоску задачу в площині перерізу рослини  $xOy$  (рис. 1).

Диференціальне рівняння зміни форми стебла рослини під впливом сил  $P$  і  $G$  запишемо у вигляді:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -Py - G_I x_{Ic} - G_{II} x_{IIc} \quad \text{або} \quad EI \frac{d\theta}{ds} = -Py - G_I x_{Ic} - G_{II} x_{IIc}, \quad (1)$$

де  $E$  – модуль пружності стеблової зони рослини, Па;  $I$  – осьовий момент інерції рослини,  $\text{м}^4$ ;  $x$ ,  $y$  – координати, м;  $P$  – критичне навантаження, Н;  $G_I$ ,  $G_{II}$  – сила тяжіння стеблової зони і зони розгалуження відповідно, Н;  $x_I$ ,  $x_{II}$  – координата  $x$  центра мас стеблової зони і зони розгалуження відповідно, м;  $\theta$  – кут, що складає дотичну до вигнутої осі стеблової зони рослини з віссю  $x$ ;  $s$  – довжина викривленої осі стеблової зони рослини, відлічувана від нижнього до верхнього кінців, м.

Виразивши з рівняння (1)  $ds$  і інтегруючи в діапазоні від 0 до  $\alpha$ , отримаємо залежність для знаходження технічної довжини стеблової зони:

$$h_t = \sqrt{\frac{EI}{P}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{(1-p \sin^2 \varphi)}}, \quad p = \sin \frac{\alpha}{2}, \quad \varphi = \arcsin \left( \frac{1}{p} \sin \frac{\theta}{2} \right). \quad (2)$$

Окрім цього, згідно взаємозв'язку координат із відстанню  $ds$  отримуємо інтеграл, який вирішуємо з використанням програмного пакету Wolfram Mathematica і отримуємо вирази для розрахунку координат кінцевої точки стеблової зони:

$$\begin{cases} y_{кл} = \frac{2\sqrt{2}h_t}{\pi} \sqrt{(1-\cos \alpha)}, \\ x_{кл} = \frac{2\sqrt{2}h_t}{\pi} \frac{(1-\cos \alpha) F_2(\alpha/2, \cos ec^2(\alpha/2)) + \cos \alpha F_1(\alpha/2, \cos ec^2(\alpha/2))}{\sqrt{(1-\cos \alpha)}}, \end{cases} \quad (3)$$

де  $F_2(\alpha/2, \cos ec^2(\alpha/2)) = \int_0^{\alpha/2} \sqrt{1-\cos ec^4(\alpha/2)} \sin \beta \, d\beta$  – нормальний еліптичний

інтеграл Лежандра 2-го роду;  $F_1(\alpha/2, \cos ec^2(\alpha/2)) = \int_0^{\alpha/2} d\beta / \sqrt{1-\cos ec^4(\alpha/2)} \sin \beta$  –

нормальний еліптичний інтеграл Лежандра 1-го роду.

Підставивши в систему рівнянь (3) біометричні параметри рослини льону олійного, а саме, її технічну висоту  $h_t = 0,3-0,4$  м і взявши до уваги густоту стояння рослин  $N = 60-80$  шт./м, отримаємо графічну інтерпретацію процесу їх згинання під дією обтікача жниварки (рис. 2).

Як видно з рис. 2, верхня крива описує раціональну форму обтікача жниварки з високим коефіцієнтом кореляції  $R = 0,99$ , рівняння якого можна подати у вигляді полінома другого ступеня:

$$y = (-27,1478 + 80,611 h_t + 0,195972 N)x^2 - 0,00199444 + 0,991333 h_t + (2,80374 - 12,6827 h_t - 0,0201917 N)x - 0,000015 N. \quad (4)$$

Розглянемо процес коливання рослини льону олійного після його взаємодії з обтікачем жниварки обчисувального типу. Припустимо, що коливання відбуваються в одній з головних площин стебла рослини. У такому випадку маємо справу з плоским вигином. Площину вигину прийmemo за координатну площину  $xOy$ . Складаючи диференціальне рівняння руху, припустимо, що поперечні розміри стебла малі порівняно з його довжиною. У такому випадку при вивченні перших (найбільш низьких) типів коливань можна користуватися наближеним рівнянням для зігнутої осі  $EI(d^2y/dx^2) = -M$ . Стебло рослини виконує згасаючі коливання, тому при складанні рівняння його руху необхідно взяти до уваги сили інерції і сили опору повітря. У результаті отримаємо диференціальне рівняння в часткових похідних:

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{m}{h_t EI} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{\eta}{h_t EI} \frac{\partial y}{\partial t} + \left( \frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) = 0, \quad (5)$$

де  $h_t$  – довжина стебла, м;  $m$  – маса рослини, кг;  $\eta$  – коефіцієнт опору повітря, Н·с/м;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

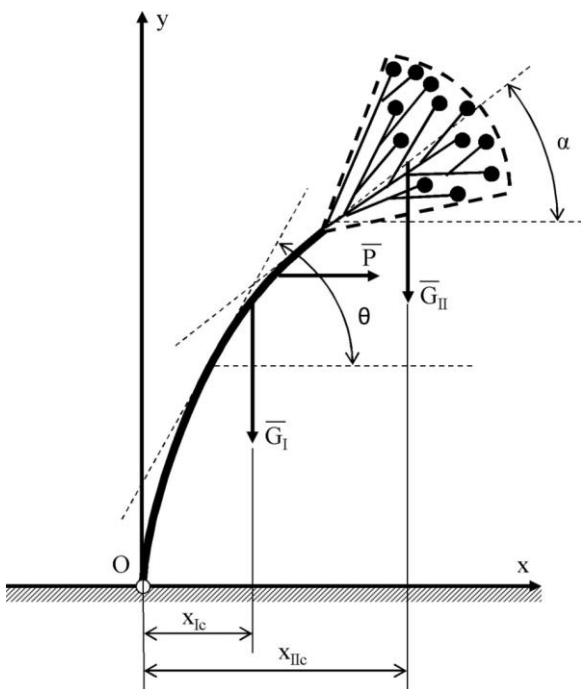


Рисунок 1 – Схема сил, що діють на рослину льону олійного

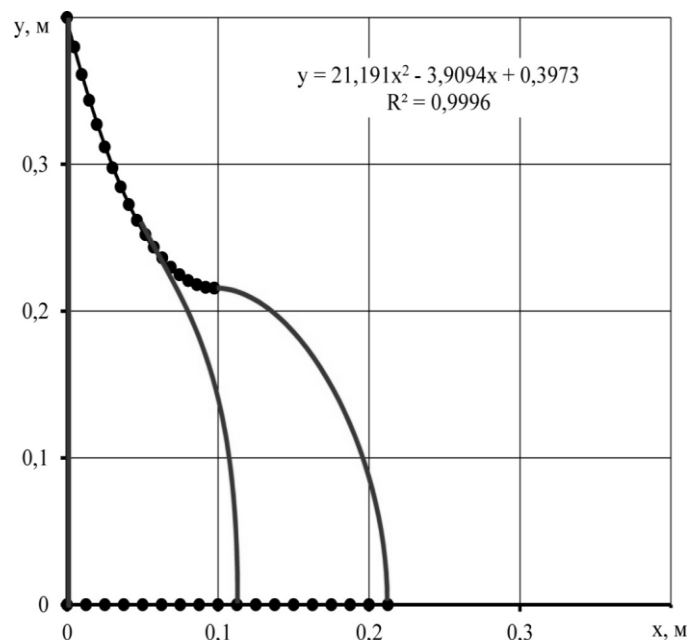


Рисунок 2 – Вигин стебла рослини льону олійного під дією обтікача жниварки при  $h_t = 0,4$  м і  $N = 80$  шт./м



Узявши до уваги початкові і граничні умови, згідно рис. 3:

$$y(x_1, 0) = 0, \quad \frac{\partial}{\partial t} y(x_1, 0) = 0, \quad y(x_s, 0) = y_s, \quad \frac{\partial}{\partial x} y(x_s, 0) = 0, \quad (6)$$

рішення рівняння (5) представимо у вигляді ряду Фур'є:

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} T_i(t) \cdot (K_1 \sin(\pi i x / h_t) + K_2 \cos(\pi i x / h_t)), \quad (7)$$

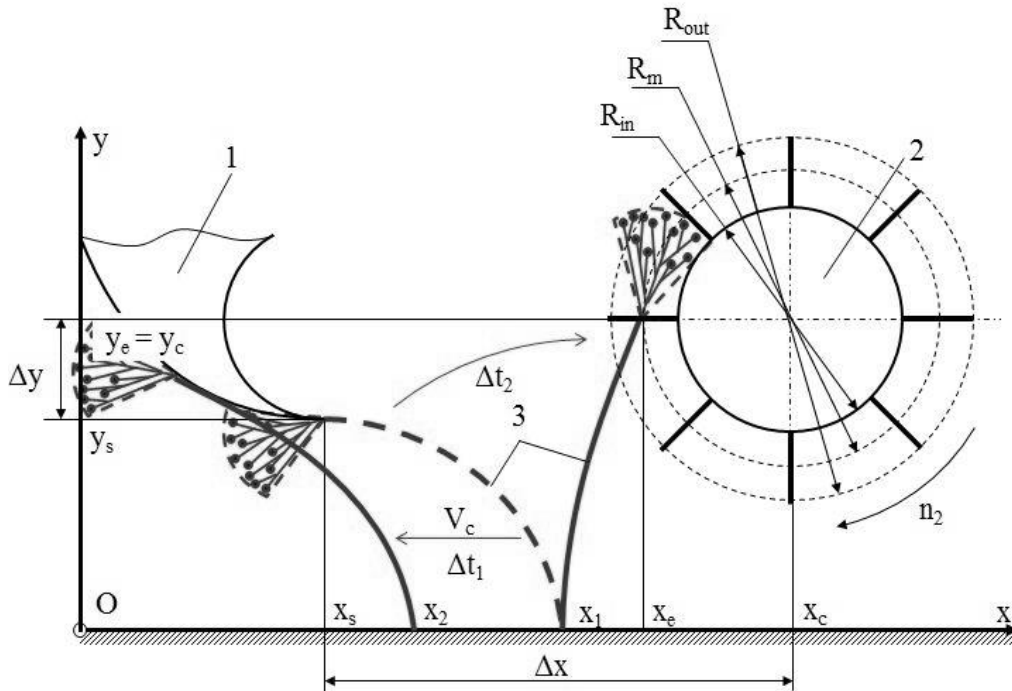
де  $T_i(t)$  – бажана функція часу;  $K_1, K_2$  – сталі інтегрування;  $i$  – натуральне число.

Підставивши граничні і початкові умови (6) в рівняння (7) одержимо, у загальному вигляді, функцію зміни кривизни стебла рослини льону олійного під час його коливання:

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} \left( -\frac{C}{B} + D_1 \cdot e^{\frac{1}{2}(-A - \sqrt{A^2 - 4B})t} + D_2 \cdot e^{\frac{1}{2}(-A + \sqrt{A^2 - 4B})t} \right) \left( K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right), \quad (8)$$

$$A = \eta / m, \quad B = \pi^4 i^4 EI / mh_t^3, \quad C = 2K_1 (\pi^2 EI / 4mh_t^2 + g) (1 - (-1)^i) / (\pi i).$$

Через складність аналітичного вирішення рівнянь (8) і (6), приймаємо відповідні значення констант та з використанням програмного пакета Microsoft Excel отримуємо графіки залежності координат верхньої частини стебла  $x_e$  і  $y_e$  від його технічної висоти  $h_t$  в діапазоні 0,3–0,4 м і густоти стояння рослин  $N$  в діапазоні 60–80 шт./м (рис. 4).



1 – обтікач жниварки; 2 – обчісувальний барабан;  
3 – стебло рослини льону олійного

Рисунок 3 – Розрахункова схема взаємодії стебла рослини льону олійного з обчісувальним барабаном

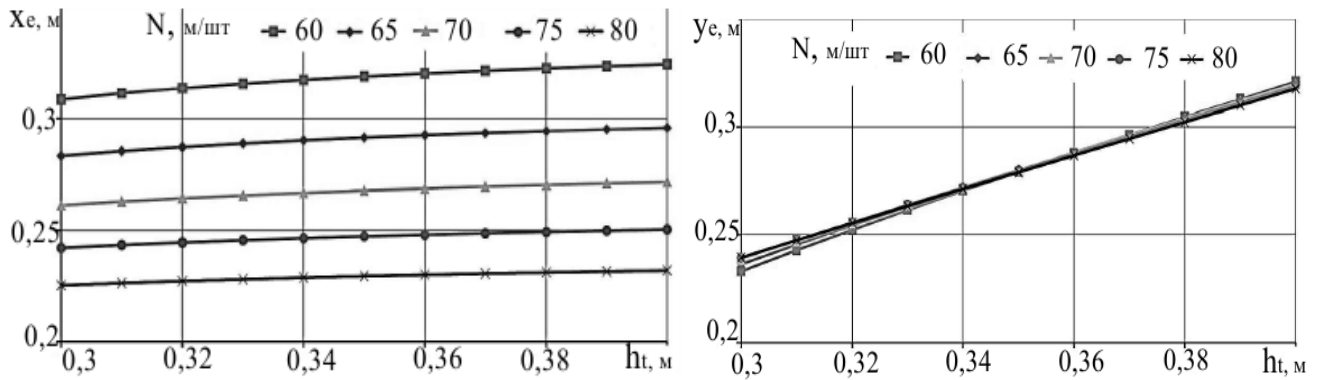


Рисунок 4 – Залежність значення координат верхньої частини стебла  $x_e$  і  $y_e$  від його технічної висоти  $h_t$  і густоти стояння рослин  $N$

Аналіз графіків на рисунку 4 показує, що значення координат верхньої частини стебла  $x_e$  і  $y_e$  змінюються в діапазонах 0,22–0,32 м і 0,22–0,32 м. Приймаючи середнє значення  $x_e = 0,27$  м і  $y_e = 0,28$  м, згідно з рис. 5, отримуємо значення радіусів обчисувального барабана  $R_{out} = y_e = 0,28$  м;  $R_m = R_{out} - b_p/2 = 0,25$  м;  $R_{in} = R_{out} - b_p = 0,22$  м; координат центра  $y_c = y_e = 0,28$  м і  $x_c = x_e + R_m = 0,52$  м.

Розглянемо процес переміщення точки, яка міститься на радіусі  $R_{in}$  обчисувального барабана (рис. 5).

Обчисувальний барабан виконує одночасно поступальний і обертальний рухи, рівняння руху якого можна представити у вигляді системи:

$$\begin{cases} x = x_c - V_c t - R_{in} \cos \omega_2 t, \\ y = y_c + R_{in} \sin \omega_2 t, \end{cases} \quad (9)$$

де  $V_c$  – лінійна швидкість центра обчисувального барабана (комбайна), м/с;  
 $\omega_2 = \pi n_2 / 30$  – кутова швидкість обертання обчисувального барабана, рад/с;  
 $n_2$  – частота обертання обчисувального барабана, об/хв.

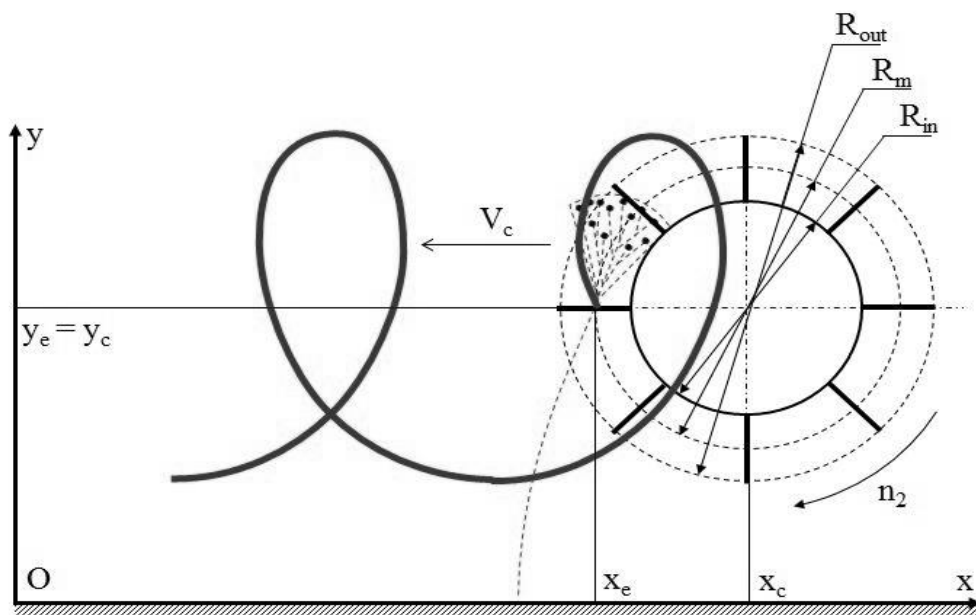


Рисунок 5 – Розрахункова схема процесу переміщення обчисувального барабана

Між обчисуванням рослин проходить час  $\Delta t_1$ , який характеризується відстанню між рослинами і лінійною швидкістю центра обчисувального барабана  $\Delta t_1 = 1/(N \cdot V_c)$ , і час  $\Delta t_2$ , який є визначеним виразом  $\Delta t_2 = \frac{1}{\sqrt{A^2 - 4B}} \ln \frac{D_1 \cdot (-A - \sqrt{A^2 - 4B})}{D_2 (A - \sqrt{A^2 - 4B})}$  і характеризує час згинання стебла рослини в результаті його коливання. За час  $\Delta t$  обчисувальна гребінка повертається на кут (рад):

$$\beta = \Delta t \cdot \omega_2 = \frac{\pi n_2}{30} \left( \frac{1}{N \cdot V_c} + \frac{1}{\sqrt{A^2 - 4B}} \ln \frac{D_1 \cdot (-A - \sqrt{A^2 - 4B})}{D_2 (A - \sqrt{A^2 - 4B})} \right), \quad (10)$$

$$A = \eta / m, \quad B = \pi^4 i^4 EI / mh_i^3, \quad C = 2K_1 (\pi^2 EI / 4mh_i^2 + g) (1 - (-1)^i) / (\pi i).$$

Кількість обчисувальних гребінок на барабані можна визначити за такою формулою:  $j = 360 / \beta$ . Найбільша кількість гребінок в заданому діапазоні варіювання режимними параметрами обчисувального барабана становить  $j = 8$  шт.

Визначення швидкісного режиму переміщення повітря в області жнивварки обчисувального типу дозволить у подальшому обґрунтувати геометричну форму кожуха жнивварки, розмір і розміщення повітряної сітки, в залежності від режимних параметрів обчисувального барабана і бітера-відбивача. Для визначення векторного поля швидкостей в області жнивварки обчисувального типу розглянемо процес руху повітря для плоскої задачі чисельного моделювання в координатах  $xOy$ .

Розрахунок режимів течії повітря в області жнивварки здійснено за таких граничних умов: границі являють собою непроникні для потоку повітря жорсткі стінки; швидкість повітря на їх поверхні дорівнює 0 м/с; зона границі I є прозорою із заданим постійним атмосферним тиском; зони границь II–IV можуть бути прозорими із заданим постійним атмосферним тиском або жорсткими стінками, в залежності від досліджуваного варіанта чисельного дослідження. Бітер-відбивач обертається проти годинникової стрілки з частотою  $n_1$ , а обчисувальний барабан – із частотою обертання  $n_2$ .

Дослідження течії повітря проводили з використанням програмного пакету STAR-CCM+, який реалізовано на основі методу кінцевих елементів. При цьому використовували адаптивні регулярні розрахункові сітки зі змінним розміром комірки. Базовий розмір комірки прийнято за 0,001 м. За фактори чисельного моделювання прийнято параметри: частота обертання бітера-відбивача  $n_1$  (400–800 об/хв), частота обертання обчисувального барабана  $n_2$  (400–800 об/хв) і положення прозорої зони границь  $L$  (0,35–0,85 м). Чисельне моделювання було проведено за повним факторним дослідом, із загальною кількістю дослідів –  $3^3 = 27$ . У результаті моделювання отримано візуалізацію розподілу швидкостей потоку повітря в області жнивварки обчисувального типу (рис. 6).

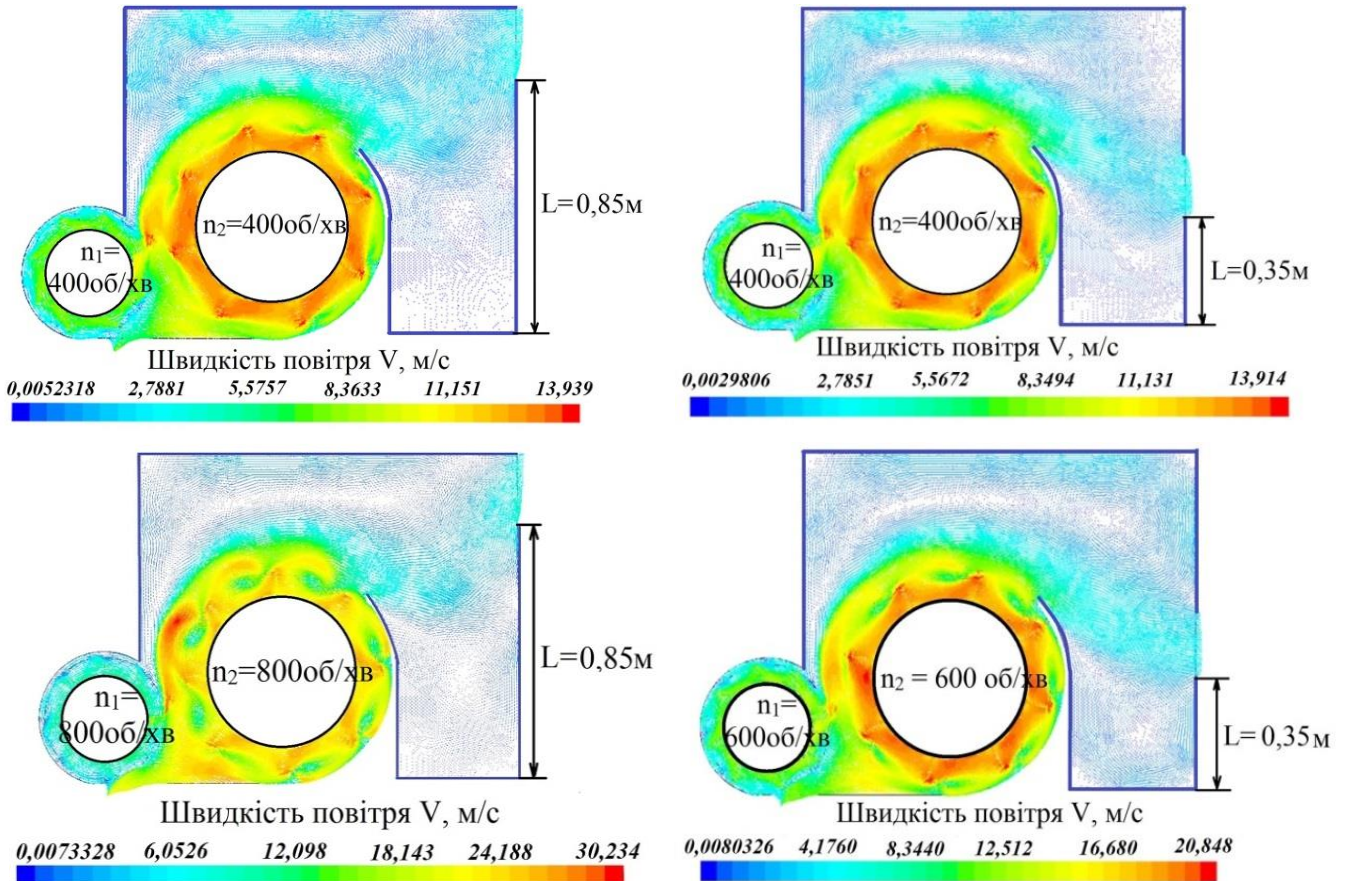


Рисунок 6 – Візуалізація розподілу швидкостей потоку повітря в області жниварки обчисувального типу

Для кожного варіанта чисельного дослідження розраховано максимальну швидкість повітря. Із використанням програмного пакету Wolfram Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних, у результаті якої встановлено залежність від факторів досліджень у вигляді:

$$V_{\max} = -2,53657 + 2,55L - 0,0007125n_1 + 0,0000303056n_1^2 + 0,0363264n_2 - 0,00425Ln_2 - 0,0000450625n_1n_2 + 0,0000211389n_2^2. \quad (11)$$

Відповідно до рис. 6 швидкість повітря, залежно від режимних параметрів обчисувального барабана і бітера-відбивача, змінюється від 0 до 30 м/с. Згідно з дослідженнями аеродинамічних властивостей компонентів вороху льону олійного швидкість їх витання перевищує 2 м/с, тому швидкість повітря від 0 до 2 м/с не чинить вплив на рух компонентів. Накладаючи рисунки розподілу швидкостей потоку повітря в області жниварки в діапазоні від 0 м/с до 2 м/с, чітко бачимо граничну зону, де відмічено швидкість 0 м/с (рис. 7). Апроксимуючи граничну зону нульової швидкості повітря в області жниварки у вигляді півкола з радіусом  $R_h = 0,53$  м і центром  $y_h = y_c = 0,28$  м і  $x_h = x_c + \Delta x_h = 0,64$  м, маємо форму кожуха жниварки.

Для дослідження процесу переміщення вороху в області жниварки з криволінійною формою кожуха і обґрунтування її конструктивно-режимних параметрів проведено чисельне моделювання в програмному пакеті STAR-CCM+. У процесі виконання технологічної операції обчисування рослин льону олійного на обчисувальній гребінці з'являються окремі незв'язані частинки, які складають ворох:

насіння, коробочки з насінням, лушпиння коробочок, часточки стебла і пил. Імітація подачі матеріалу відбувалася в зоні обчисування гребінки барабана. Початкова орієнтація компонентів вороху в просторі є випадковою, а початкова швидкість дорівнювала 0 м/с.

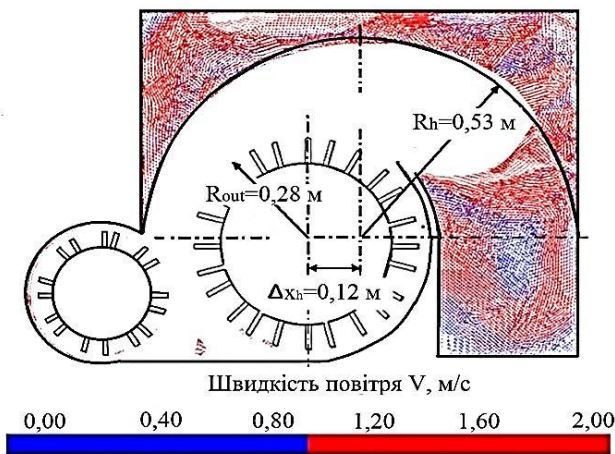


Рисунок 7 – Гранична зона нульової швидкості повітря в області жнивarki обчисувального типу

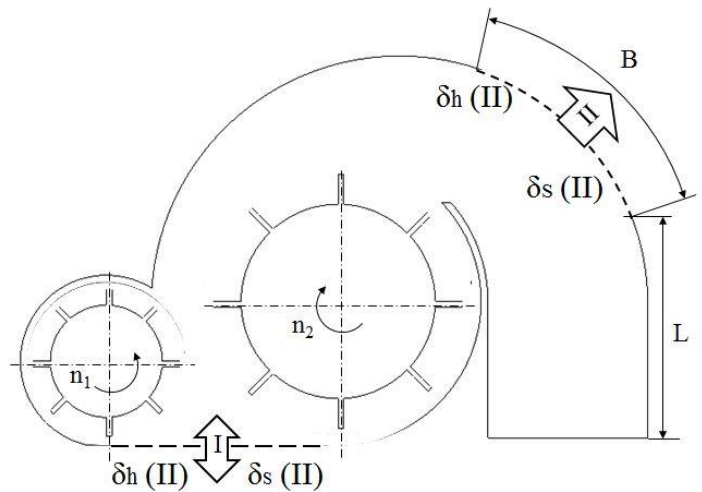


Рисунок 8 – Розрахункова схема жнивarki обчисувального типу із криволінійною формою кожуха

Розрахункову схему жнивarki обчисувального типу з криволінійною формою кожуха подано на рис. 8. Область I є прозорою для всіх компонентів вороху (насіння, коробочки з насінням, лушпиння коробочок, часточки стебла). Через область II можуть проходити тільки лушпиння коробочок, що зумовлено наявністю повітряної сітки з діаметром круглих отворів 1,5 мм.

За фактори чисельного моделювання прийнято такі параметри: частота обертання бітера-відбивача  $n_1$  (400–800 об/хв), частота обертання обчисувального барабана  $n_2$  (400–800 об/хв), положення прозорої зони границь  $L$  (0,35–0,85 м) та її ширина  $B$  (0,15–0,45 м).

Чисельне моделювання проведено за повним факторним дослідом із загальною кількістю дослідів –  $3^4 = 81$ . Критеріями оцінки процесу сепарації вороху в жниварці є масова частка відходу компонентів з області жнивarki. Масова частка відходу лушпиння і часточок стебла  $\delta_h$  з області жнивarki є показником якості очищення вороху від неліквідних компонентів. Чим більшим значення  $\delta_h$ , тим менша частка домішок потрапить до транспортувального шнека і, як наслідок, до комбайна, що зменшить його навантаження.

Масову частку відходу лушпиння і часточок стебла  $\delta_h$  з області жнивarki розраховують за формулою:

$$\delta_h(I) + \delta_h(II) = 100(1 - m_n / (m_n + m_s)), \quad (12)$$

де  $m_n$  – маса лушпиння і часточок стебла в області жнивarki, кг;  $m_s$  – маса насіння і коробочок із насінням в області жнивarki, кг; I, II – області відповідно до рис. 9.

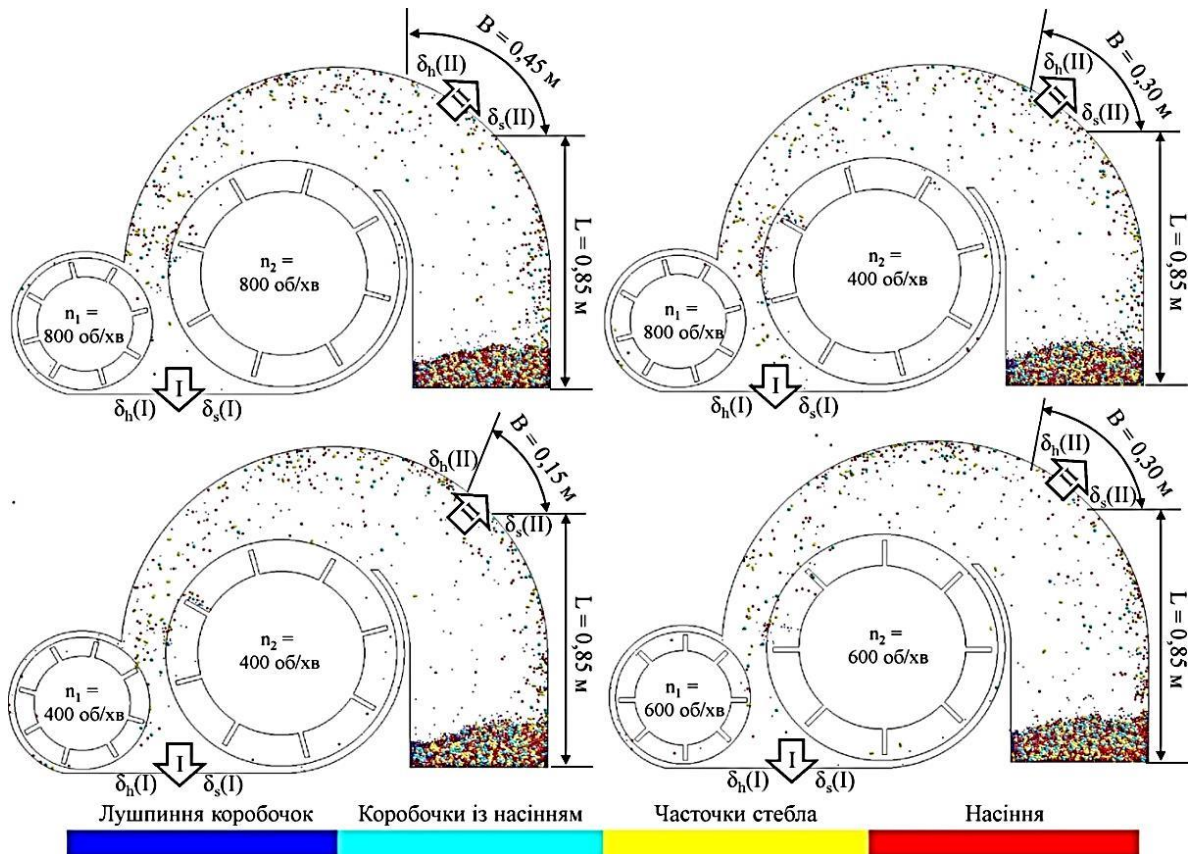


Рисунок 9 – Візуалізація розподілу компонентів вороху в області жниварки обчисувального типу

Масова частка відходу насіння і коробочок із насінням  $\delta_s$  з області жниварки є показником втрат ліквідних компонентів. Чим меншим є значення  $\delta_s$  тим менше втрат насіння і коробочок, які не потрапляють до транспортувального шнека і, як наслідок, до комбайна. Масова частка відходу насіння і коробочок із насінням  $\delta_s$  з області жниварки розраховують за формулою:

$$\delta_s(I) + \delta_s(II) = 100(1 - m_s / (m_h + m_s)) \quad (13)$$

За результатами моделювання було отримано візуалізацію розподілу компонентів вороху в області жниварки (рис. 9).

Для кожного варіанта чисельного дослідження було розраховано масову частку відходу насіння і коробочок із насінням з області жниварки  $\delta_s$ , масову частку відходу лущиння і часточок стебла з області жниварки  $\delta_h$ . Із використанням програмного пакету Wolfram Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних, у результаті якої встановлено відповідні залежності від факторів досліджень у вигляді:

$$\begin{aligned} \delta_h = & 9,4796 + 50,784B + 6,6666B^2 + 14,8956L - 2,75556L^2 - \\ & - 0,0125398n_1 - 0,00416667Bn_1 + 0,00433333Ln_1 + \\ & + 0,000015189n_1^2 + 0,0309824n_2 - 0,00216667Ln_2 - \\ & - 5,90278 \cdot 10^{-6} n_1n_2 - 0,0000291667n_2^2; \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \delta_s = & 68,4187 + 33,6314B - 5,40444L + 5,39259L^2 - 0,0213202n_1 - \\ & - 0,0250986Bn_1 + 0,0000188964n_1^2 - 0,178318n_2 - \\ & - 0,0278913Bn_2 + 0,000137252n_2^2. \end{aligned} \quad (15)$$

Розв'язуючи компромісну задачу щодо максимізації масової частки відходу лущиння і часточок стебла з області жниварки (показник якості очищення вороху

від домішок)  $\delta_h$  і мінімізації частки відходу насіння й коробочок із насінням з області жнивarki  $\delta_s$  (показник втрат насіння), отримали раціональні конструктивно-режимні параметри: частота обертання бітера-відбивача  $n_1 = 782$  об/хв, частота обертання обчисувального барабана  $n_2 = 671$  об/хв, положення прозорої зони границь  $L = 0,82$  м і її ширина  $B = 0,45$  м.

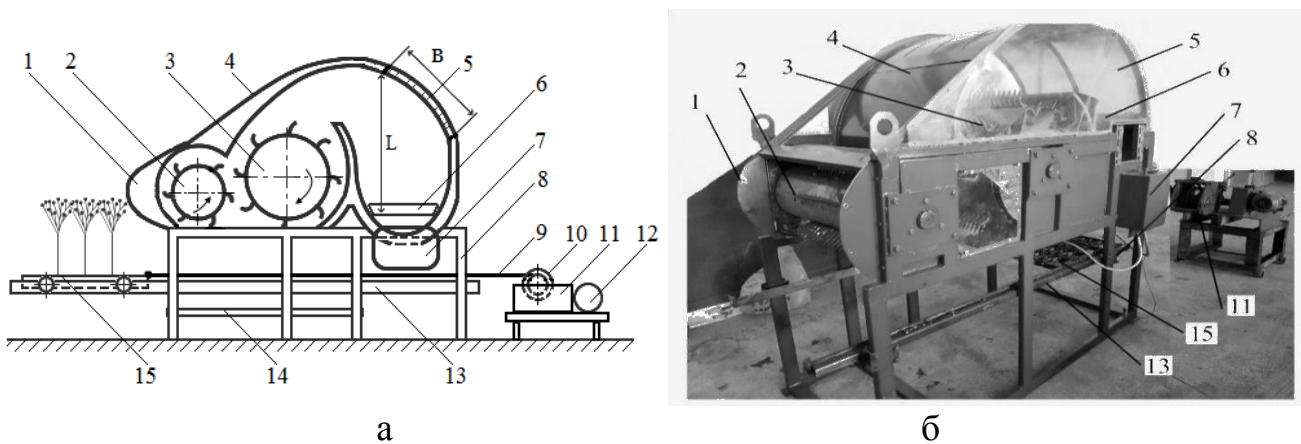
При цьому масова частка відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki становить  $\delta_h = 42,4$  %, а частка відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki, відповідно,  $\delta_s = 2,5$  %.

У третьому розділі «Програма і методика експериментальних досліджень» розкрито програму та методику проведення експериментальних досліджень, опис лабораторної установки, обладнання.

Для дослідження процесів в області жнивarki обчисувального типу під час збирання насіння льону олійного розроблено лабораторну установку (рис. 10), запропоновано та реалізовано методи досліджень.

Експериментальні дослідження проводили за чотирма такими факторами: частота обертання бітера-відбивача  $n_1$  (600–960 об/хв.), частота обертання обчисувального барабана  $n_2$  (180–920 об/хв.), положення повітряної сітки  $L$  (0,6–1,0 м), ширина повітряної сітки  $B$  (0,2–0,6 м).

Експериментальні дослідження жнивarki обчисувального типу проведено на сортах льону олійного: Орфей, Водограй, Дебют. Критеріями оцінки процесу сепарації вороху в жниварці обчисувального типу є масова частка відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki  $\delta_h$  (12), масова частка відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki  $\delta_s$  (13) і середня потужність  $P$ , що споживається експериментальною установкою, яку визначали з використанням електрولیчильника. Для оптимізації параметрів процесу збирання насіння льону олійного використано багатофакторний експеримент відповідно до плану Бокса-Бенкіна.



- 1 – обтікач; 2 – бітер-відбивач; 3 – обчисувальний барабан; 4 – верхній кожух;  
 5 – повітряна сітка; 6 – лоток для відбору обчисаного вороху; 7 – пульт керування установкою; 8 – рама установки; 9 – гнучкий трос; 10 – барабан для намотування троса; 11 – коробка передач; 12 – електродвигун; 13 – напрямні рухомого поля;  
 14 – лоток для відбору втрат через зону I; 15 – рухоме поле

Рисунок 10 – Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б) лабораторної установки для обчисування рослин льону олійного

У четвертому розділі «Експериментальні дослідження процесу збирання насіння льону олійного жнивarkою обчисувального типу» досліджено фізико-механічні властивості стебла льону олійного, компонентів обчисаного вороху та їх аеродинамічні властивості, проведено експериментальні дослідження процесу сепарації вороху в жнивarkі обчисувального типу, визначено її раціональні конструктивно-режимні параметри, проведено наочне і статистичне порівняння теоретичних та експериментальних даних, перевірено адекватність розроблених математичних моделей.

У результаті експериментальних досліджень конструктивно-режимних параметрів жнивarkи для кожного досліду було розраховано масову частку відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarkи  $\delta_h$ , масову частку відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarkи  $\delta_s$ , середню потужність, що споживається установкою  $P$  з використанням програмного пакета Wolfram Mathematica. Проведено апроксимацію отриманих даних, у результаті якої встановлено відповідні залежності від факторів досліджень у вигляді:

$$\begin{aligned} \delta_h = & 17,6018 + 60,7155B + 9,73761B^2 + 62,9574L - 9,67908BL - \\ & - 33,5772L^2 - 0,0412674n_1 + 0,0413073Bn_1 + 0,0148563Ln_1 + 0,0000273533n_1^2 + \\ & + 0,0920035n_2 - 0,0751693Bn_2 - 0,0000308956n_1n_2 - 0,000054412n_2^2; \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \delta_s = & 105,398 + 61,2868B + 4,96947L - 3,97328BL - 2,46758L^2 - 0,0469495n_1 - \\ & - 0,033725Bn_1 + 0,00466438Ln_1 + 0,0000350496n_1^2 - 0,304844n_2 - \\ & - 0,0573195Bn_2 - 7,60763 \cdot 10^{-6} n_1n_2 + 0,000266243n_2^2; \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} P = & -3,23992 - 0,45B + 3,14757L - 1,45833L^2 + 0,00462077n_1 - \\ & - 1,78586 \cdot 10^{-6} n_1^2 + 0,00762877n_2 - 0,00104167Bn_2 - \\ & - 0,00121528Ln_2 - 1,54321 \cdot 10^{-6} n_1n_2 - 2,55824 \cdot 10^{-6} n_2^2. \end{aligned} \quad (18)$$

Фіксуючи по чергово фактори досліджень на певному рівні, побудовані графічні інтерпретації залежності рис. 11.

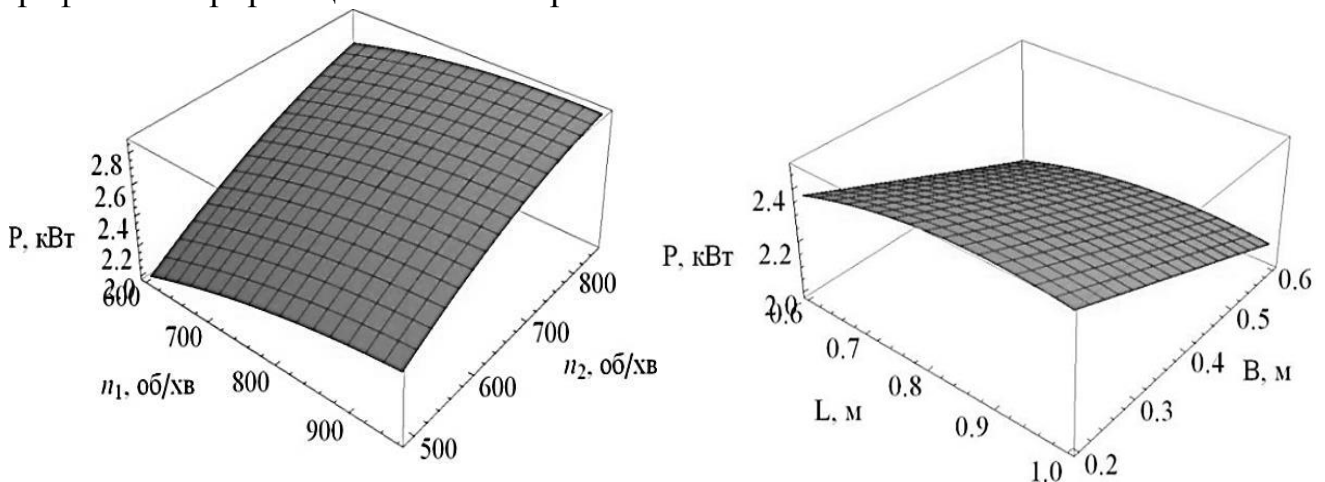


Рисунок 11 – Залежність середньої потужності, що споживається установкою  $P$ , від факторів досліджень

Розв'язуючи компромісну задачу щодо максимізації масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarkи (показник якості очищення вороху від домішок)  $\delta_h$ , мінімізації частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarkи (показник втрат насіння)  $\delta_s$  і мінімізації споживаної потужності  $P$ , отримали раціональні конструктивно-режимні параметри жнивarkи: частоту обертання бітера-відбивача  $n_1 = 892$  об/хв, частоту



обертання обчисувального барабана  $n_2 = 652$  об/хв, положення повітряної сітки  $L = 0,62$  м і її ширину  $B = 0,56$  м. При цьому масова частка відходу лушпиння і часточок стебла становить  $\delta_h = 47,5$  %, частка втрат насіння і коробочок із насінням з області жнивarki  $\delta_s = 2,1$  %, а споживана потужність  $P = 2,7$  кВт.

Статистичний аналіз показав, що коефіцієнт кореляції між теоретичними й експериментальними даними становить 0,88–0,95, відносна похибка оптимальних значень – 4,6 %. Наочне (рис. 12–13) і статистичне порівняння теоретичних та експериментальних даних дає змогу стверджувати про адекватність математичної моделі, розробленої в результаті теоретичних досліджень, і можливість її використання для інженерних розрахунків.

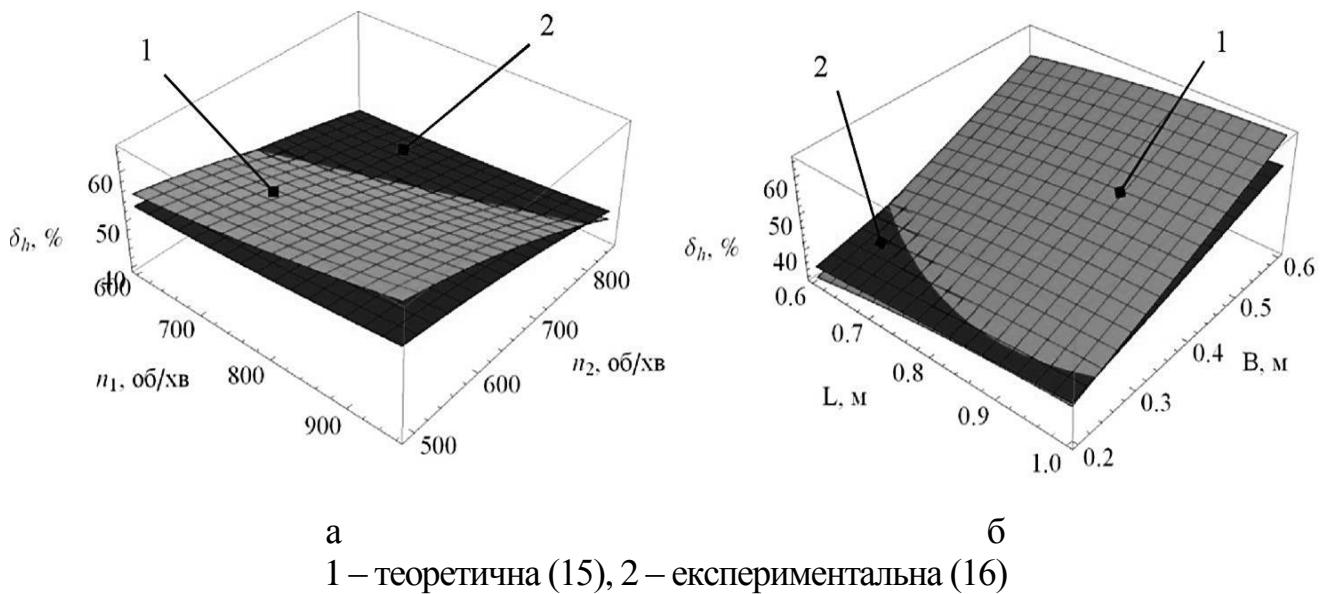


Рисунок 12 – Залежності масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki  $\delta_h$  від частот обертання бітер-відбивача  $n_1$  і обчисувального барабана  $n_2$  (а), положення  $L$  і ширини  $B$  повітряної сітки (б)

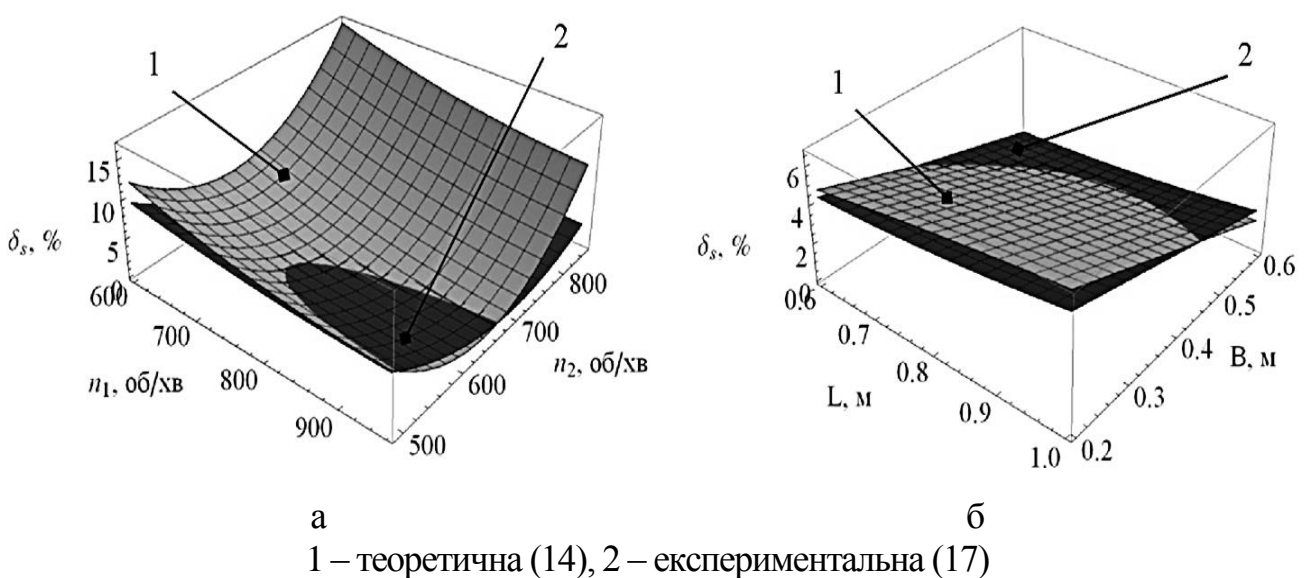


Рисунок 13 – Залежності масової частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki  $\delta_s$  від частот обертання бітер-відбивача  $n_1$  і обчисувального барабана  $n_2$  (а), положення  $L$  і ширини  $B$  повітряної сітки (б)

У п'ятому розділі «Результати виробничих випробувань та економічна ефективність жнивarki обчісувального типу для збирання насіння льону олійного» наведено результати виробничих випробувань розробленої жнивarki та економічна ефективність упровадження результатів дослідження. Застосування розробленої жнивarki обчісувального типу на збиранні насіння льону олійного в умовах ТОВ «ЮГРАН» Харківської області забезпечило високу якість збирання врожаю при зменшенні витрат пального. Річний економічний ефект від використання жнивarki обчісувального типу на збиранні насіння льону олійного становить 104,5 тис. грн.

Результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень упроваджено в ТОВ «Укр.Агро-сервіс» (м. Харків) для проектування та виготовлення жниварок обчісувального типу.

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання, що виражається у створеному математичному моделюванні процесу збирання насіння льону олійного жнивarkою обчісувального типу. Це дозволило підвищити якісні показники комбайнового збирання льону олійного при зменшенні витрат насіння.

Основні наукові та прикладні результати дослідження:

1. Аналізом методів і засобів комбайнового збирання насіння льону олійного встановлено, що існуючі жнивarki не відповідають вимогам до якості виконання процесу та мають занижені показники продуктивності. Для цього запропоновано використати розроблену жнивarkу обчісувального типу, яка реалізує додатковий аеродинамічний ефект для сепарації обчісаного вороху в її області. Це дозволило підвищити якість процесу збирання насіння льону олійного жнивarkою обчісувального типу, упровадити її у виробництво.

2. В результаті теоретичних досліджень процесу згинання рослини льону олійного під дією обтікача жнивarki, на основі теорії пружності, отримано рівняння його форми в декартовій системі координат у вигляді полінома другого ступеня залежно від біометричних параметрів рослин і густоти їх стояння.

3. Завдяки теоретичним дослідженням процесу взаємодії рослини льону олійного з обчісувальним барабаном на основі теорії коливань, одержано динамічну функцію зміни кривизни стебла залежно від його реологічних властивостей і встановлені конструктивні параметри барабана: значення радіусів  $R_{out} = 0,28$  м;  $R_{in} = 0,22$  м, координат центру  $y_c = 0,28$  м і  $x_c = 0,52$  м і кількості обчісувальних гребінок  $j = 8$  шт.

4. Моделюванням аеродинамічних процесів жнивarki обчісувального типу встановлено розподіл швидкостей потоку повітря в її області, визначено залежність максимальної швидкості повітря  $V_{max}$  від частоти обертання бітеравідбивача  $n_1$  і обчісувального барабана  $n_2$  та положення прозорої зони границі  $L$ . Апроксимована форма кожуха жнивarki обчісувального типу у вигляді півкола з

радіусом  $R_h = 0,53$  м і центром  $y_h = y_c = 0,28$  м і  $x_h = x_c + \Delta x_h = 0,64$  м.

5. Чисельним моделюванням процесу сепарації вороху в жниварці з криволінійною формою кожуха з урахуванням фізико-механічних властивостей його компонентів встановлено залежності масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з її області (показник якості очищення вороху від домішок)  $\delta_h$  та частки відходу насіння і коробочок із насінням (показник втрат насіння)  $\delta_s$  від частоти обертання бітера-відбивача  $n_1$  і обчісувального барабана  $n_2$ , положення прозорої зони границі  $L$  та її ширини  $B$ . Розв'язавши компромісну задачу максимізації масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жниварки  $\delta_h$  і мінімізації частки відходу насіння і коробочок з насінням з області жниварки  $\delta_s$ , отримали раціональні конструктивно-технологічні параметри: частота обертання бітера-відбивача  $n_1 = 782$  об/хв, частота обертання обчісувального барабана  $n_2 = 671$  об/хв, положення прозорої зони границь  $L = 0,82$  м і її ширина  $B = 0,45$  м. При цьому, масова частка відходу лушпиння і часточок стебла становила  $\delta_h = 42,4$  %, а частка втрат насіння і коробочок із насінням, відповідно,  $\delta_s = 2,5$  %.

6. Експериментальними дослідженнями процесу сепарації вороху в жниварці встановлено залежності масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з її області  $\delta_h$ , частки відходу насіння та коробочок з насінням  $\delta_s$  і потужності  $P$ , що споживається, від частоти обертання бітера-відбивача  $n_1$  і обчісувального барабана  $n_2$ , положення повітряної сітки  $L$  і її ширини  $B$ . Одержано такі раціональні конструктивно-режимні параметри жниварки обчісувального типу: частота обертання бітера-відбивача  $n_1 = 892$  об/хв, частота обертання обчісувального барабана  $n_2 = 652$  об/хв, положення повітряної сітки  $L = 0,62$  м і її ширина  $B = 0,56$  м. При цьому, масова частка відходу лушпиння і часточок стебла становила  $\delta_h = 47,5$  %, частка втрат насіння і коробочок із насінням з області жниварки, відповідно,  $\delta_s = 2,1$  %, а потужність, що споживається  $P = 2,7$  кВт.

7. Статистичний аналіз показав, що коефіцієнт кореляції між теоретичними й експериментальними даними становить  $0,88 - 0,95$ , відносна похибка оптимальних значень –  $4,6$  %. Наочне і статистичне порівняння теоретичних і експериментальних даних підтвердило адекватність математичної моделі, яка розроблена в результаті теоретичних досліджень, і можливість її використання для інженерних розрахунків.

8. Виробничі випробування розробленої жниварки обчісувального типу на збиранні насіння льону олійного в умовах ТОВ «ЮГРАН» Харківської області підтвердили, що її застосування забезпечує високу якість збирання врожаю при зменшенні витрат пального. Річний економічний ефект від використання жниварки обчісувального типу на збиранні насіння льону олійного становить  $104,5$  тис. грн. Результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень впроваджено в ТОВ «Укр.Агро-сервіс» м. Харків для проектування та виготовлення жниварок обчісувального типу.

## ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій, у яких опубліковано основні результати дисертації:

1. Пахучий А.М. Аналіз та напрямки підвищення ефективності жниварок обчисувального типу. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. №13. С. 55–61.

2. Козаченко О.В., Дьяконов С.О., Пахучий А.М. Обґрунтування форми обтікача обчисувальної жниварки для збирання льону олійного. *Механізація та автоматизація виробничих процесів*. Вип. 5 (33). Суми, 2018. С. 48–52.

3. Козаченко О.В., Дьяконов С.О., Гончаров В.В., Пахучий А.М. Дослідження режимних параметрів обчисувального барабана жниварки. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків: ХНТУСГ, 2019. Вип.199. С.388-396.

4. Козаченко О.В., Пахучий А.М., Дьяконов С.О., Гончаров В.В. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обчисувального барабана жниварки. *Інженерія природокористування*. 2019. Вип. 1 (11). С. 75–85.

5. Kozachenko O., Pahuchiy A. Modeling of interaction with plants linseed occurance drum. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin-Rzeszow, 2019. Vol. 19. No 1. P. 59–64.

6. Kozachenko O. Results of numerical modeling of the process of harvesting the seeds of flax by a harvester of the stripping type Kozachenko O., Pakhuchiy A., Shkregal O., Dyakonov S., Bleznyuk O., Kadenko V. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019 3(1–99). – P. 66–74.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Пахучий А.М. Збирання льону олійного обчисувальним методом. *Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Харків, ХНТУСГ, 2017. С. 261–264.

8. Пахучий А.М. До обґрунтування параметрів обчисувального пристрою для збиранні сільськогосподарських культур. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*: матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції. Житомир: ЖНАУ, 2018. С. 315–318.

9. Пахучий А.М. Обґрунтування технологічних параметрів обчисувального барабана жниварки для збирання льону олійного. *Інноваційні розробки в аграрній сфері*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Харків: ХНТУСГ, Том 1. 2018 С. 125–226.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

10. Лабораторна установка для дослідження параметрів і режимів процесу обчисування сільськогосподарських культур: пат. 135514 U Україна: МПК А01Д 41/00. № u201811954; заявл. 03.12.18. опубл. 10.07.2019, Бюл. № 13.

## АНОТАЦІЯ

**Пахучий А.М.** Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів жниварки обчісувального типу для збирання насіння льону олійного. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України, Харків, 2020.

У дисертації вирішене наукове завдання, яке направлене на підвищення ефективності процесу збирання насіння льону олійного шляхом обґрунтування конструктивно-режимних параметрів жниварки обчісувального типу. Розроблено математичні моделі взаємодії стеблової маси з обтікачем і обчісувальним барабаном жниварки, аеродинамічних процесів та процесів сепарації в її області, в яких враховано вплив конструктивно-режимних параметрів, фізико-механічних властивостей рослин льону олійного та компонентів обчісаного вороху. Обґрунтовано раціональні конструктивно-режимні параметри жниварки для збирання насіння льону олійного для отримання заданої якості процесу. Розроблена жниварка пройшла виробничу апробацію, яка підтвердила її ефективність для збирання рослин на корені та доцільність її впровадження у виробництво.

**Ключові слова:** процес збирання, жниварка обчісувального типу, льон олійний, конструктивно-режимні параметри, ефективність.

## АННОТАЦИЯ

**Пахучий А.Н.** Обоснование конструктивно-режимных параметров жатки очесывающего типа для уборки семян льна масличного. – 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 Василенко Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2020.

В диссертации решено научное задание, которое направлено на повышение эффективности процесса уборки семян льна масличного путем обоснования конструктивно-режимных параметров жатки очесывающего типа. Разработаны математические модели взаимодействия стеблевой массы с обтекателем и очесывающим барабаном жатки, аэродинамических процессов и процессов в ее области, в которых учтено влияние конструктивно-режимных параметров, физико-механических свойств растений льна масличного и компонентов очесанного вороха. Обоснованы рациональные конструктивно-режимные параметры жатки для уборки семян льна масличного для получения заданного качества процесса. Разработанная жатка прошла производственную апробацию, которая подтвердила ее эффективность для уборки методом очеса растений на корню и целесообразность ее внедрения в производство.

**Ключевые слова:** процесс уборки, жатка очесывающего типа, лен масличный, конструктивно-режимные параметры, эффективность.

## ABSTRACT

**Pakhuchyi A.M.** Substantiation of the design and regime parameters of the stripping harvester for the collection of oilseed flax seeds.

Thesis for the degree of candidate of technical science by specialty 05.05.11 – machines and means of mechanization of agricultural production – Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The thesis is devoted to the solution of the actual scientific and practical task of increasing the efficiency of the process of collecting oilseed flax seeds by substantiating the design and regime parameters of the stripping harvester. Mathematical models of the interaction of stem mass with the fairing and the stripping rotor of the harvester, aerodynamic processes and processes of separation in its field have been developed, which takes into account the influence of structural-mode parameters, physical and mechanical properties of oilseed flax plants and components of stripped heap. The rational design and regime parameters of the harvester for the collection of oilseed flax seeds to obtain the desired process quality are substantiated. The developed harvester has undergone production testing, which confirmed its effectiveness for harvesting plants on the roots and the feasibility of its introduction into production.

An analysis of the methods and means of harvesting flaxseed oilseeds found that the existing harvesters do not meet the requirements for the quality of the process and have low performance. For this purpose it is proposed to use the developed stripping harvester, which realizes additional aerodynamic effect for the separation of the stripped heap in its area. This made it possible to improve the quality of the process of harvesting flax seed oil from the stripping harvester, to introduce it into production.

As a result of theoretical studies of the process of bending a plant of linseed oil under the action of the flower of the reaper on the basis of the theory of elasticity, the equation of its shape in the Cartesian coordinate system in the form of a polynomial of the second stage, depending on the biometric parameters of the plants and the density of their standing, is obtained. Investigations of the process of interaction of an oilseed flax plant with a stripping rotor on the basis of the theory of oscillations, obtained a dynamic function of changing the curvature of the stem depending on its rheological properties and set the design parameters of the rotor: radius values  $R_{out} = 0.28$  m,  $R_{in} = 0.22$  m, center coordinates  $y_c = 0.28$  m and  $x_c = 0.52$  m and the number of stripping combs  $j = 8$  pcs.

Modeling of the aerodynamic processes of the stripping harvester determined the distribution of air flow velocities in its region, determined the dependence of the maximum air velocity  $V_{max}$  on the speed of rotation of the bit reflector  $n_1$  and the stripping rotor  $n_2$  and the position of the transparent zone of the circumflex type  $R_h = 0.53$  m and center  $y_h = y_c = 0.28$  m and  $x_h = x_c + \Delta x_h = 0.64$  m.

The mass fraction of waste husks and lobes of the stem is  $\delta_h = 47.5\%$ , the share of losses of seeds and boxes with seeds from the harvester area, respectively,  $\delta_s = 2.1\%$ .

**Keywords:** harvesting process, stripping harvester, oilseed flax, structural and mode parameters, efficiency.

Підписано до друку 09.01.2020р. Формат 60x80/16.  
Папір офсетний №1. Гарнітура Times.  
Ум. друк. арк. Тираж 100 прим. Зам. №