

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Пахучий Андрій Миколайович

УДК 631.354.3:633.521

ДИСЕРТАЦІЯ

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

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



А.М.Пахучий

Науковий керівник: **Козаченко Олексій Васильович**,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2020

АНОТАЦІЯ

Пахучий А.М. Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів жнивarki обчісувального типу для збирання насіння льону олійного. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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

Дисертацію присвячено вирішенню актуального науково-практичного завдання підвищення ефективності процесу збирання насіння льону олійного шляхом обґрунтування конструктивно-режимних параметрів жнивarki обчісувального типу. Розроблено математичні моделі взаємодії стеблової маси з обтікачем і обчісувальним барабаном жнивarki, 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 жнивarki для збирання насіння льону олійного для отримання заданої якості процесу. Розроблена жнивarka пройшла виробничу апробацію, яка підтвердила її ефективність для збирання рослин на корені та доцільність її впровадження у виробництво.

Аналізом методів і засобів комбайнового збирання насіння льону олійного встановлено, що існуючі жнивarki не задовольняють вимоги щодо 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 дало можливість підвищити якість процесу збирання насіння льону олійного жнивarkою обчісувального типу, впровадити її у виробництво.

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 ступання в залежності від біометричних параметрів рослин і густоти їх стояння. Дослідженнями процесу взаємодії рослини льону олійного з обчісувальним барабаном на основі теорії коливань, отримано динамічну функцію зміни кривизни стебла в залежності 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.

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

Чисельним моделюванням процесу сепарації вороху в жниварці з криволінійною формою кожуха із врахуванням фізико-механічних властивостей його компонентів встановлено залежності масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з її області (показник якості очищення вороху від домішок) δ_h і частки відходу насіння і коробочок із насінням (показник втрат насіння) δ_s від частоти обертання бітера-відбивача n_1 і обчісувального барабана n_2 , положення прозорої зони границі L і її ширини B . Вирішуючи компромісну задачу максимізації масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki δ_h і мінімізації частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s , отримані 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 складає $\delta_h = 42,4\%$, а частка втрат насіння і коробочок із насінням, відповідно, $\delta_s = 2,5\%$.

Експериментальними дослідженнями процесу сепарації вороху в жниварці встановлено залежності масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з її

області δ_h , частки відходу насіння і коробочок із насінням δ_s і потужності P , що споживається, від частоти обертання бітера-відбивача n_1 і обчисувального барабана n_2 , положення повітряної сітки L і її ширини B . Отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри жнивarki обчисувального типу: частота обертання бітера-відбивача $n_1 = 892$ об/хв., частота обертання обчисувального 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 лущиння і часточок стебла складає $\delta_h = 47,5\%$, частка втрат насіння і коробочок із насінням з області жнивarki відповідно $\delta_h = 2,1\%$, а споживаєма потужність $P = 2,7$ кВт.

Статистичний аналіз показав, що коефіцієнт кореляції між теоретичними і експериментальними даними складає $0,88-0,95$, 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.

Виробничими випробуваннями розробленої жнивarki обчисувального типу встановлено високі показники якості виконання процесу збирання насіння льону олійного. Результати досліджень передані на машинобудівне підприємство «Укр.Агро-сервіс» (м. Харків) для використання при створенні жниварок обчисувального типу.

Ключові слова: процес збирання, жнивarka обчисувального типу, льон олійний, конструктивно-режимні параметри, ефективність.

Список публікацій здобувача:

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові 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 жнивarki 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 барабану 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. pp. 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). – С. 66–74.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Пахучий А.М. Збирання льону олійного обчисуючим 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 збирання 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 обчісування сільськогосподарських культур: пат. 135514 У Україна: МПК А01Д 41/00. № 201811954; заявл. 03.12.18. опубл 10.07.2019, Бюл № 13.

ABSTRACT

Pakhuchyi A.M. Substantiation of the design and regime parameters of the stripping harvester for the collection of oilseed flax seeds. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

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.

Numerical modeling of the process of separation of pile in the harvester with a curvilinear form of the casing, taking into account the physical and mechanical properties of its components, determined the dependence of the mass fraction of the husk and particle stem from its area (the index of quality of purification of heap from impurities) δ_h and the fraction of seed drift seed loss) δ_s from the speed of rotation of the bit reflector n_1 and the stripping rotor n_2 , the position of the transparent zone of the boundary L and its width B . Solving the compromise problem of maximizing the mass fraction of waste husks and stem segments from the harvester area δ_h and minimizing the share of waste seeds and boxes with seeds from the harvester area δ_s , obtained rational structural and technological parameters: rotation speed $n_1 = 782$ rpm, frequency the rotation of the stripping rotor $n_2 = 671$ rpm, the position of the transparent zone of the boundaries $L = 0.82$ m and its width $B = 0.45$ m. seeds and boxes with seeds, respectively, $\delta_s = 2.5\%$.

Experimental studies of the process of separation of heap in the harvester determined the dependence of the mass fraction of the husk and stem segments from

its region δ_h , the fraction of seed and boxes with the seeds δ_s and power consumed P from the rotation speed of the bit reflector n_1 , by grid L and its width B . The rational design and technological parameters of the harvester of the combining type are obtained: the speed of rotation of the bit reflector $n_1 = 892$ rpm, the speed of rotation of the stripping rotor $n_2 = 652$ rpm, the position of the air grid $L = 0.62$ m and its width $B = 0.56$ 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, $\delta_s = 2.1\%$, and power consumption $P = 2.7$ kW.

Statistical analysis showed that the correlation coefficient between theoretical and experimental data is 0.88–0.95, a relative error of optimal values of 4.6%. The visual and statistical comparison of theoretical and experimental data confirmed the adequacy of the mathematical model developed as a result of theoretical studies and the possibility of its use for engineering calculations.

Production tests of the developed combiner of the combining type have established high performance indicators of the process of collecting flaxseed oilseeds. The results of the research were transferred to the engineering company "Ukr.Agro-service» (Kharkov) for use when creating stripping harvesters.

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

List of publications of the applicant:

List of publications in which the main scientific results of the thesis are published:

1. Pakhuchyi A.M. Analysis and directions of increasing efficiency of stripping harvesters. *Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes*. 2018. No. 13. P. 55–61.

2. Kozachenko O.V., Dyakonov S.O., Pakhuchyi A.M. Substantiation of the form of a fairing of a stripping harvester for oilseed flax harvesting. *Mechanization and automation of production processes*. Vol. 5 (33). Sumy. 2018. P. 48–52.

3. Kozachenko O.V., Dyakonov S.O., Honcharov V.V., Pakhuchyi A.M. Investigation of the mode parameters of the stripping rotor. *Bulletin of the Kharkiv*

National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko. Kharkiv: KhNTUA. 2019. Vol.199. P.388–396.

4. Kozachenko O.V., Pakhuchyi A.M., Dyakonov S.O., Honcharov V.V. Substantiation of structural and technological parameters of the stripping rotor of the harvester. *Environmental Engineering*. 2019. Vol. 1 (11). P. 75–85.

5. Kozachenko O., Pahuchiy A. Modeling of interaction with plants linseed occupancy drum. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin-Rzeszow, 2019. Vol. 19. No 1. pp. 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., Pakhuchyi A., Shkregal O., Dyakonov S., Bleznyuk O., Kadenko V. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019 – 3(1-99). – p. 66–74.

Works certifying the approbation of dissertation materials:

7. Pakhuchyi A.M. Collection of oilseed flax by stripping method. *Scientific principles of increasing the efficiency of agricultural production: materials of the international scientific-practical conference*. Kharkiv, KhNTUA, 2017. P. 261-264.

8. Pakhuchyi A.M. Prior to substantiation of the parameters of the stripping harvester. *Prospects and tendencies of development of structures and technical service of agricultural machines and implements: materials of the All-Ukrainian scientific-practical conference*. Zhytomyr, ZhNAU, 2018. P. 315–318.

9. Pakhuchyi A.M. Substantiation of technological parameters of the stripping rotor of the harvester for harvesting oilseed flax. *Innovative developments in agrarian sphere: materials of the international scientific-practical conference*. Kharkiv, KhNTUA, Vol 1. 2018. P. 125–226.

Works that further reflect the scientific results of the thesis:

10. Laboratory installation for the study of parameters and modes of the process of stripping crops: pat. 135514 U Ukraine: МПК А01Д 41/00. No. 201811954; appl. 03.12.18. publ. 10.07.2019, Bul. No. 13.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБИРАННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО	18
1.1 Сучасний стан та перспективи виробництва льону олійного.....	18
1.2 Загальна характеристика льону олійного.....	20
1.3 Анатомічна будова та властивості насіння і стебел льону олійного....	23
1.4 Технологічні аспекти збирання льону олійного.....	25
1.5 Аналіз досліджень процесів, способів обчісування рослин на корені і конструкцій обчісувальних пристроїв.....	26
1.6 Аналіз математичних моделей процесу обчісування рослин на корені	38
1.7 Математичні моделі функціонування жниварок обчісувального типу, що враховують вплив на процес повітряного потоку.....	47
1.8 Висновки за розділом, мета та завдання дослідження.....	53
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ЖНИВАРКОЮ ОБЧІСУВАЛЬНОГО ТИПУ.	55
2.1 Фізико-математична модель взаємодії обтікача жниварки обчісувального типу зі стебловою масою льону олійного.....	55
2.2 Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обчісувального барабана.....	63
2.3 Дослідження режимних параметрів обчісувального барабана.....	73
2.4 Чисельне моделювання аеродинамічних процесів жниварки обчісувального типу.....	77
2.5 Чисельне моделювання процесу сепарації вороху.....	83
2.6 Висновки за розділом.....	90
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ЖНИВАРКОЮ ОБЧІСУВАЛЬНОГО ТИПУ	92
3.1 Об'єкт, предмет і програма експериментальних досліджень.....	92

3.2 Експериментальна установка для обчісування рослин льону олійного	93
3.3 Методика лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей стебла льону олійного.....	95
3.4 Методика лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей компонентів обчісаного вороху льону олійного.....	103
3.4.1 Визначення характеристик обчісаного вороху.....	103
3.4.2 Методика визначення пружних властивостей компонентів обчісаного вороху льону олійного.....	106
3.4.3 Методика визначення якісних показників роботи обчісувального пристрою.....	110
3.4.4 Методика планування і проведення багатофакторного експерименту.....	111
3.5 Методика проведення виробничих випробувань жнивarki.....	119
3.6 Висновки за розділом.....	122
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ	
ЗБИРАННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ЖНИВАРКОЮ	
ОБЧІСУВАЛЬНОГО ТИПУ.....	123
4.1. Результати дослідження фізико-механічних властивостей рослин та компонентів обчісаного вороху льону олійного.....	123
4.1.1 Фізико-механічні властивості стебла льону олійного.....	123
4.1.2 Дослідження зусилля витягування з ґрунту стебел льону олійного	125
4.1.3 Фізико-механічні властивості компонентів обчісаного вороху льону олійного.....	126
4.1.4 Аеродинамічні властивості компонентів обчісаного вороху.....	127
4.2 Дослідження конструктивно-режимних параметрів жнивarki обчісувального типу.....	128
4.3 Порівняльний аналіз результатів теоретичних й експериментальних досліджень.....	136
4.4 Висновки за розділом.....	147

РОЗДІЛ 5. РЕЗУЛЬТАТИ ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЖНИВАРКИ ОБЧІСУВАЛЬНОГО ТИПУ ДЛЯ ЗБИРАННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО.....	139
5.1 Результати виробничих випробувань жнивarki обчисувального типу для збирання насіння льону олійного.....	139
5.2 Економічна ефективність результатів дослідження.....	142
5.3 Висновки за розділом.....	152
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	152
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	155
ДОДАТКИ.....	172
Додаток А – Розрахунок інтегралу в програмному пакеті Wolfram Mathematica.....	173
Додаток Б – Визначення раціональної форми обтікача жнивarki в програмному пакеті Wolfram Mathematica.....	174
Додаток В – Вирішення системи рівнянь в програмного пакету Wolfram Mathematica.....	177
Додаток Г – Визначення максимальної швидкості повітря в програмного пакету Wolfram Mathematica.....	178
Додаток Д – Визначення масової частки відходу компонентів вороху з області жнивarki в програмного пакету Wolfram Mathematica...	181
Додаток Е – Матриця плану експериментальних досліджень режимних параметрів жнивarki обчисувального типу.....	188
Додаток Ж – Результати експериментальних досліджень режимних параметрів жнивarki обчисувального типу.....	189
Додаток З – Вихідні данні для визначення економічних показників нової машини.....	195
Додаток К – Акт впровадження.....	196
Додаток Л – Акт виробничих випробувань жнивarki	197
Додаток М – Патент України на корисну модель.....	199

ВСТУП

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

Основними причинами стримування виробництва льону олійного є недосконалість техніки для збирання та невідповідність показників якості роботи встановленим вимогам. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є технологія збирання методом обчісування рослин на корені. Від застосованих робочих органів та компоновальних схем жниварок обчісувального 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 обчісаного вороху – одна із важливих наукових задач удосконалення збиральної техніки. Підвищення ефективності збирання насіння льону олійного і, як наслідок, підвищення якості продукції вимагає 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 шляхом застосування удосконаленої жниварки, яка реалізує додатковий аеродинамічний ефект для сепарації обчісаного вороху в її області.

У зв'язку з цим, удосконалення жниварки обчісувального типу для збирання льону олійного і дослідження впливу її конструктивно-режимних параметрів для 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 жнивarki обчісувального типу.

Завдання дослідження:

- провести оцінку та аналіз існуючих підходів до розв’язання проблеми підвищення ефективності процесів збирання методом обчісування 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 жниварки.

Предмет дослідження: обґрунтування конструктивно-режимних параметрів жниварки 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 жниварки від реологічних властивостей стебла і геометричної форми обтікача;

– одержано залежності зміни масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жниварки 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 урахуванням 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 жнивваркою обчісувального типу. Одержані результати досліджень передано ТОВ «Укр.Агро-сервіс» (м. Харків) для використання під час проектування та виготовлення жнивварок 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 жнивварки обчісувального типу у ТОВ «ЮГРАН» Харківської області, він становить 104,5 тис. грн.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи здобувачем отримано самостійно, та викладені 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 жнивварки [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 жнивваркою 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.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека людини у сучасних умовах» (Харків, ХНТУ «ХПІ», 12 грудня 2015р.); 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 199 сторінок, у тому числі 11 додатків на 28 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 154 сторінок, 78 рисунків, 24 таблиці. Список використаних джерел нараховує 164 найменувань на 17 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Сучасний стан та перспективи виробництва льону олійного

На сьогодні льон олійний займає близько 3,5 млн. га посівних площ у світі. Основними країнами, де його вирощують, є Канада, США, Китай, Індія, Росія, Казахстан. Нарощує виробництво льону Білорусь. На сьогодні цей ринок є досить перспективним для вітчизняних аграріїв. Починаючи з 2000-х років, в Україні спостерігається динаміка зростання його площ, що зумовлено зростанням попиту на насіння на внутрішньому й зовнішньому ринках [65].

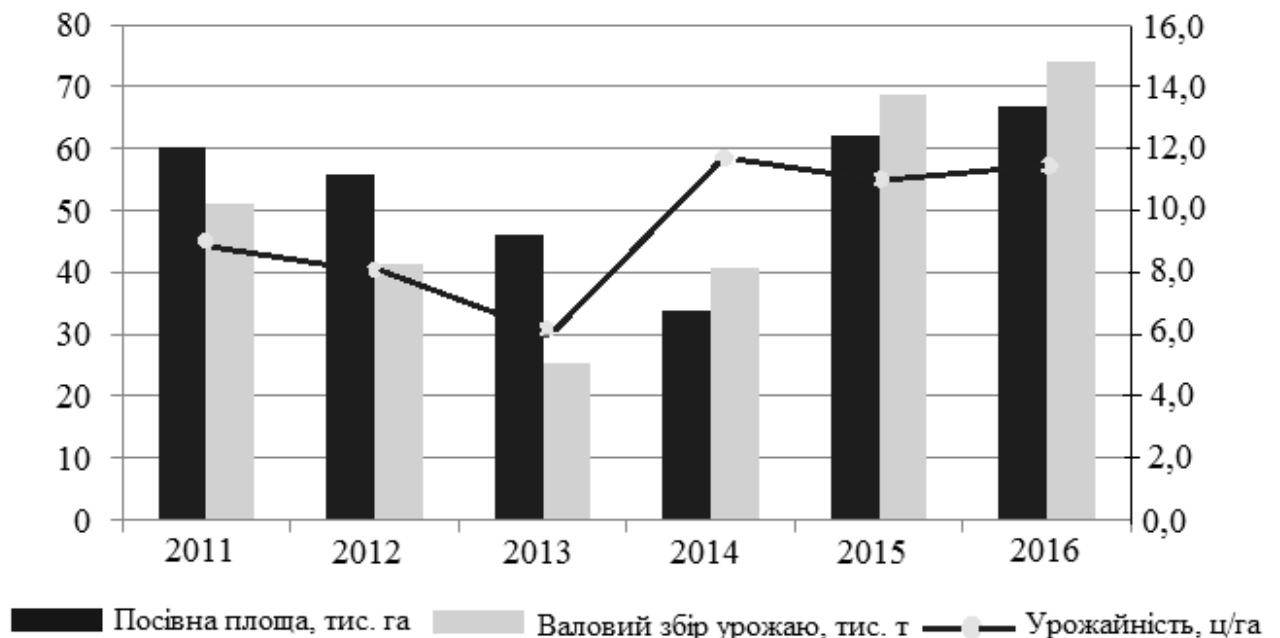


Рисунок 1.1 – Динаміка посівних площ льону олійного в Україні [65]

Льон олійний можна вирощувати в усіх ґрунтово-кліматичних зонах України завдяки біологічним властивостям та екологічній адаптованості. Основними регіонами вирощування льону олійного є південні області (Запорізька, Дніпропетровська, Миколаївська, Херсонська), хоча останніми роками площі під цією культурою збільшуються і в областях центрального й північного регіонів. На півночі України льон олійний у сівозмінах займає нішу льону-довгунця. Позитивна динаміка зростання площ спостерігається також у зоні Лісостепу, де площі посівів льону олійного зросли від 12 % у 2012-му році

до 29 % у 2014-му (рис. 1.2). У зоні Полісся частка посівів зросла від 3,3 % у 2012-му до 7,8 % у 2014-му році. Стрімкі темпи розширення посівів льону олійного протягом 2012–2014 рр. зафіксовано в Київській (із 8,9 до 388,3 га, або у 44 рази) та Львівській областях (із 47 до 603,1 га, або у 12 разів) [65].



Рисунок 1.2 – Посівні площі під льном олійним в Україні (2016 р.)

Незважаючи на стабільне зростання посівних площ льону олійного в Україні, ця культура займає невелику частку в сегменті внутрішнього ринку олійної сировини і є експортною – щорічний експорт сягає 30 тис. тонн насіння льону, або понад 65 % загального обсягу виробництва. Український льон купують 27 країн – члени ЄС, а також Єгипет, Туреччина, Росія, Китай. Щорічно з України експортують близько 2000 т лляної олії і понад 4000 т макухи. Зацікавленість льном з країн СНД зумовлена більшою екологічністю продукції. Також важливим є те, що наші природні умови дозволяють льону самостійно дозріти без застосування десикантів. Наразі в Україні льном олійним займаються переважно малі й середні агрофірми – південноукраїнські компанії: ПСП «Альфа-Агро», «Аграрник», «Росія СТОВ» (Херсонська обл.), СПК «Зеленоярське» і «Оазис» (Миколаївська область), ФГ «Сократ»,

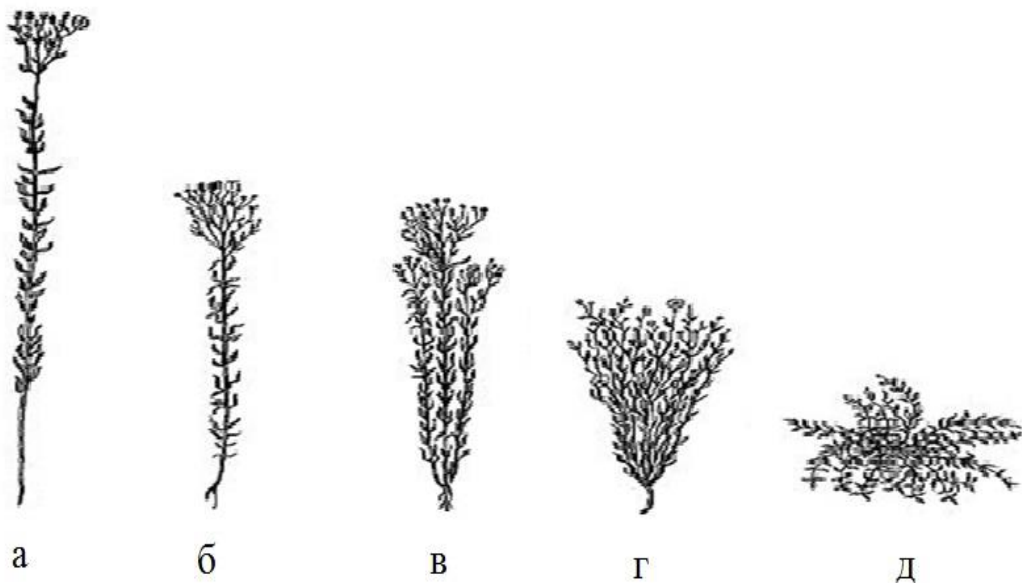
Товариство «Банівське», ДП «Ізвестія» (Запорізька обл.), ФГ «Анастасія», ТОВ «СП «Агропроммаш» і ТОВ «Агрофармакін» (Дніпропетровська обл.).

Проведення дослідження з встановлення способів підвищення ефективності збирання насіння льону олійного та розробка жнивarki обчісувального типу є актуальним та перспективним завданням, вирішення якого дозволить створити конкурентоздатну вітчизняну збиральну техніку.

Для дослідження процесу збирання льону олійного жнивarkою обчісувального типу необхідно провести аналіз його характеристик.

1.2 Загальна характеристика льону олійного

Льон звичайний належить до родини льонових *Linaceae* D., яка включає 22 роди, із них у практичних цілях використовують переважно один рід – *Linum* L. Він об'єднує понад 200 видів, серед яких є однорічні й багаторічні трав'янисті рослини. Господарське значення має тільки культурний або звичайний льон – *Linum usitatissimum* L.



а – льон-довгунець; б, в – льон межеумок; г – льон-кучерявець(олійний); д – сланкий напівозимий льон

Рисунок 1.3 – Підвиди льону

Культурний вид льону за ботанічною класифікацією поділяють на п'ять підвидів, серед яких найбільше господарське значення в Європі та Азії має

євразійський підвид. Він, у свою чергу, за висотою рослин, галузистістю та кількістю коробочок поділяється на такі групи: льон-довгунець (subsp. usitatissimum); льон-межеумок (subsp. intermedium Crer.); льон-кучерявець (олійний) (subsp. humile L.); великонасінневий (subsp. latifolium L.) і сланкий напівозимий льон (subsp. bienne (Mill.) Stankev.) (рис.1.1) [11, 41, 42, 64, 66, 98].

Льон олійний охоплює дві групи – льон-межеумок і льон кучерявець. В Україні для одержання насіння в основному вирощується льон-межеумок. Льон-кучерявець має і в 20 разів більше насінневих коробочок, ніж льон-довгунець. Розгалуженість стебла і кількість коробочок залежать від умов вирощування і дуже змінюються. При загущенні посіву рослини можуть бути одностебловими з малою кількістю коробочок. Льон-межеумок у порівнянні з кучерявцем має більший інтерес, який пояснюється можливістю двостороннього використання. Він має 1–3 стебел з більш розвинутим, ніж у льону-довгунця, суцвіттям та великою кількістю коробочок. Середня висота стебел становить 50–70 см, число коробочок – 5–25 штук. Льон-межеумок займає проміжне положення між льоном-довгунцем і кучерявцем. Основні ознаки груп льону олійного у порівнянні з льоном-довгунцем представлено у таблиці 1.1 [41, 64, 90].

Таблиця 1.1 – Основні ознаки груп льону олійного у порівнянні з льоном-довгунцем

Ознаки	Межеумок	Кучерявець (олійний льон)	Довгунець
Маса 1000 шт насінин, г	до 6	до 8	до 5,5
Вміст олії в насініні, %	до 42	до 45	до 39
Гілкування стебла	менше	сильне	не галузиться
Стебел на рослині, шт	15 – 20	30 – 60	5 – 10
Висота рослин, м	0,50 – 0,75	0,30 – 0,50	0,70 – 1,25

Величина насіння у льону коливається в таких межах: довжина – 3,2–4,8 мм, ширина – 1,5–2,8 мм, товщина – 0,5–1,2 мм. Воно містить до 45 % жирної

олії, яка відрізняється від інших рослин високим вмістом тригліцеридів та поліненасичених жирних кислот (73 %) [41, 66]. Стебло льону світло-зелене, а в спілому стані жовте, покрите восковим нальотом. Розрізняють його загальну і технічну довжину. Загальна довжина рослини вимірюється відстанню від окоренка до верхівкової коробочки суцвіття, а технічна – відстанню від окоренка до початку розгалуження суцвіття (рис. 1.4) [105].

Таблиця 1.2 – Морфологічні показники стеблестою льону олійного на час збирання, вирощеного у західному регіоні України

Показник	Значення показника		
	Лірина	Орфей	Дебют
Середня довжина стебел, м:			
– загальна	0,78	0,69	0,72
– технічна	0,56	0,47	0,51
Діаметр стебла на ½ висоти, мм	1,3 – 2,5	1,2 – 2,8	1,1 – 2,5
Вага одного стебла, г:			
– з коробочками	2,2 – 11,3	1,9 – 9,3	1,7 – 8,5
– без коробочок (з китицею)	1,5 – 5,6	1,3 – 5,3	1,2 – 5,1
– без китиці	1,1 – 2,8	0,8 – 2,6	0,7 – 2,2
Середня кількість на рослині коробочок, шт	35	24	21
Вага 1000 насінин, г	7,3	6,7	6,8
Урожайність, ц/га:			
– насіння	13,0	7,4	7,3
– соломи	40,5	26,5	32,5

Дозріває льон нерівномірно. Перші коробочки з'являються на верхівці, вони дозрівають раніше ніж ті, що утворюються на стеблі нижче. Пізніше дозрівають коробочки, які знаходяться далі від головного стебла, тобто в нижній частині суцвіття.

Із проведеного порівняльного аналізу морфологічних показників льону олійного, вирощеного у різних кліматичних умовах, видно, що він за висотою стеблостою поступається льону-довгунцю, але переважає його за урожайністю насіння. Найбільша висота стеблостою отримується в умовах Західного Полісся України.

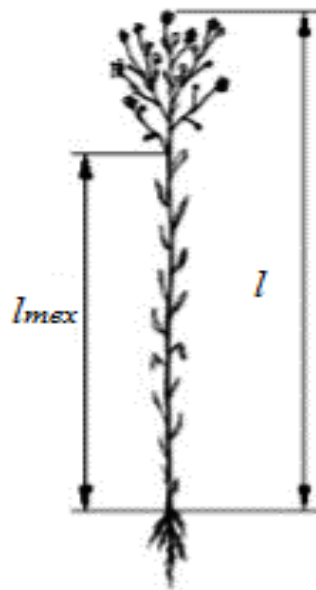


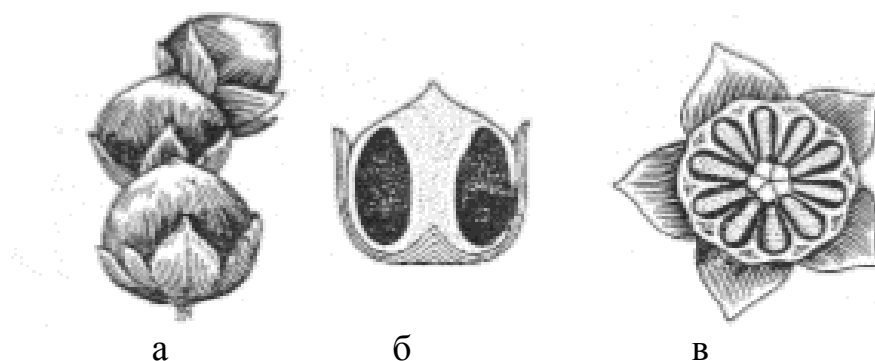
Рисунок 1.4 – Рослина льону

1.3 Анатомічна будова та властивості насіння і стебел льону олійного

Плід льону олійного – невелика, куляста коробочка. У кожній коробочці п'ять гнізд, які поділені неповною перегородкою на два півгнізда (рис.1.3). У кожному такому півгнізді міститься по одній насініні. Висота коробочки становить 6,1–11,0 мм, ширина – 5,7–8,5 мм. У виробничих посівах число нормально розвинутих насінін може бути менше десяти (залежно від умов вегетації льону). На одній рослині може утворюватися від 15 до 60 і більше коробочок. Дозрілі коробочки залишаються закритими і лише на перестояному стеблості відбувається їх розтріскування і висипання насіння. За тривалої вологої погоди воно може проростати в коробочках [41].

Насіння льону слизьке, плоске, яйцеподібної форми, з добре розвинутим, вузьким, трохи зігнутим носиком, покрите блискучою гладенькою шкіркою,

однокольорове або строкате. Колір насіння може бути від жовтого, коричневого, бурого до чорного. Вага 1000 насінин – 6–9 г. На вагу насіння впливають умови вирощування льону: на розріджених посівах вага 1000 насінин більша, ніж на звичайних та загущених посівах.



а – загальний вид; б – поздовжній переріз; в – поперечний переріз

Рисунок 1.5 – Коробочка льону

Значний вплив на формування насіння мають умови росту і розвитку рослин. Насіння льону олійного повинне відповідати показникам згідно ДСТУ 2240-93 (табл. 1.3) [81].

Таблиця 1.3 – Показники якості насіння льону олійного згідно з ДСТУ 2240-93

Репродукція	Сортова чистота,%, мінімум	Норма якості насіння		
		схожість,%, мінімум	вміст насіння шт/кг,	інших видів, максимум
ОН	99,7	90	20	120
ЕН	99,7	85	20	140
Ірепродукція	98,0	80	40	500
Товарний	97,0	80	60	1500

Основними компонентами, що визначають цінність лляного насіння, є білки (до 23 %) і олія (42–49 %). Для післязбирального обробітку, зберігання і особливо технологічної обробки насіння важливо знати його фізико-механічні властивості. Насіннєва маса льону олійного характеризується такими фізико-механічними властивостями (табл. 1.4) [113].

Таблиця 1.4 – Фізико-механічні властивості насіння льону

Показники	Значення показника
Середні розміри насіння, мм:	
– довжина	3,8
– ширина	1,8
– товщина	0,9
Вага 1000 насіння, г	6-9
Насипна густина, кг/м ³	580–680
Аеродинамічні властивості:	
– критична швидкість, м/с	3,3 – 6,0
– коефіцієнт парусності, 1/м	0,9

1.4 Технологічні аспекти збирання льону олійного

Під час збирання льону олійного основна увага приділяється насінневій частині врожаю. Збирання за традиційною технологією проводять двома способами: прямим комбайнуванням у фазі повної стиглості або роздільним збиранням у фазі біологічної стиглості рослин при значній засміченості посівів чи відростанні пагонів через дощову погоду. Фаза біологічної стиглості характеризується дозріванням 75 % коробочок, а абсолютна вага і олійність сягає максимуму. Вологість насіння в цей період складає 20–25 %, коробочок – 40–45%, стебел – понад 60 %. Збирання ведуть тими ж машинами, які застосовуються на зернових культурах або жниварками обчісувального типу. Враховуючи, що льон олійний – культура з незакінченим типом вегетації, для підсушування зерна і часткового подавлення бур'янів за 3-4 дні до збирання рекомендується проводити десикацію. Під час роздільного збирання найкраща конструкція валка отримується при середній висоті зрізу 15 см. Зрізана у валки маса за сприятливих погодних умов висихає за 6–8 днів. Для скошування льону у валки використовують начіпні (ЖВН–6, ЖНС–6–12, ЖЗК–7–2) та причіпні жниварки. Підбирають і обмолочують валки через 6–8 днів при вологості

насіння 12 %. Під час обмолоту валків з більшою вологістю спостерігаються великі втрати насіння від недомолоту та намотування стебел на обертових органах машин, що є недоліком традиційної технології збирання [41, 42, 107].

Для якісного зрізання стебел, які на відміну від зернових культур мають волокнисту структуру, робочі органи жаток потребують досконалої підготовки. Для запобігання захопленню граблинами мотовила скошених стебел до них прикріплюють додаткові дерев'яні планки або гумові паси. Ріжучий апарат не повинен мати вищерблених та зношених сегментів ножа та вкладишів пальців. Більш якісне зрізування забезпечується ножем із гладкими сегментами. Для поліпшення якості роботи жаток доцільно збільшити частоту коливань ножа до 647 кол/хв. шляхом зміни передаточного числа приводу робочих органів.

Головним недоліком існуючих технологій збирання льону олійного є те, що для обмолоту рослин стебло повинно зрізатися і подаватися в молотильний апарат, що зумовлює його перевантаження і це, як наслідок, зумовлює підвищення витрат енергії та зменшення продуктивності машин.

Одним із напрямків інтенсифікації пристроїв для збирання льону олійного є технологія збирання методом обчісування рослин на корені. Головна особливість даної технології – зниження стеблової частки в обчесаному воросі у порівнянні із стеблонасінною масою, яка подається на молотильно-сепаруючі пристрої традиційних комбайнів [1, 3, 5, 13, 32, 39].

Збирання врожаю льону олійного жнивваркою обчісувального типу має такі переваги у порівнянні із традиційною технологією: можливість якісного збирання прямим комбайнуванням; зниження втрат врожаю з 30% до 3%; зростання продуктивності у 1,7–2,0 рази; економія палива на 40–50% та додатковий прибуток від реалізації стеблестою [40, 55, 108, 110, 111, 126].

1.5 Аналіз досліджень процесів, способів обчісування рослин на корені і конструкцій обчісувальних пристроїв

Сучасний стан розвитку технічних засобів і впровадження перспективних технологій збирання врожаю сільськогосподарських культур доводить

ефективність застосування методу обчісування рослин на корені [14, 15, 21, 48, 57, 58, 61-63, 87, 89, 91, 100, 103]. Такий висновок можна стверджувати, виходячи із основних переваг при реалізації означеного процесу виділення зерна (насіння) з рослин при взаємодії з робочими органами збиральної техніки, що полягають у наступному:

- обчісування тільки зернової частини дозволяє не «обробляти» стебла рослин, які після проходу комбайна залишаються на полі. Це зумовлює економію 70–80 % енергії, яка витрачається на переробку соломистої частки за традиційною технологією, підвищення у 2 рази робочої швидкості, збільшення ширини захвату жнивarki до 10 м, підвищення майже у 3 рази продуктивності при одночасному зниженні витрат палива [122, 128];

- виключення з технологічного процесу зайвих операцій (зрізання стебла, подрібнення і розкидання по полю, повторний домолот і витрушування зернової частини з соломи) дозволяє значно зменшити вагу комбайну;

- використання обчісувальних пристроїв при збиранні, у порівнянні із традиційним комбайном, зменшує потрапляння вологого стебла бур'янів в потік зернового вороху, що погіршує його якість.

Вивченню процесів збирання рослин методом обчісування, розробки і удосконалення конструкцій обчісувальних пристроїв присвячено роботи: П.А. Шабанова [122, 126, 127], Л.В.Погорілого [87–89], О.М.Леженкіна [59–63], А.С.Кушнарєва [55, 57, 58], Н.П. Шабанова [123–127], Н.Н.Данченка [30–34], В.И.Кравчука [55, 58,], П.В.Сисоліна [100-103], А.И.Бурьянова [12–16, 19, 21], М.А.Бурьянова [12, 13, 16–21] та ін.

На сьогодні вивченням технології збирання методом обчісування в Україні займаються у УкрНДПВТ імені Леоніда Погорілого [55, 58, 63, 88, 89], Таврійському державному агротехнологічному університеті (ТДАТУ м. Мелітополь) [91], виготовлення жнивareк обчісувального типу здійснює компанія «Укр.Агро-сервіс (м. Харків) [83]. Провідні зарубіжні виробники однобарабанных обчісувальних жнивareк представлені британською фірмою Shelbourne Reynolds [153], Російським підприємством ОАО «Пензмаш» [82].

Жниварка «Слов'янка» (Україна) випускається у двобарабанному варіанті (рис. 1.1), а жниварки виробництва «Шелборн» (рис.1.2) та «Сибирь» і «Озон» (рис.1.3) – в однобарабанному варіантах. Конструкції жниварок адаптовані для експлуатації з усіма зернозбиральними комбайнами провідних світових фірм-виробників техніки [82, 83].

Експериментальні та теоретичні дослідження процесу обчісування рослин на корені, практика експлуатації зернозбиральних комбайнів із жниварками обчісувального типу визначили фактори, що впливають на ефективність процесу [6, 16, 25–28, 43, 44, 46, 47, 54–61, 69–71]: тип жниварки, конструктивні параметри робочих органів (обтікача, бітера-відбивача, обчісувального барабана), режимні характеристики пристрою.



Рисунок 1.6 – Двобарабанна обчісувальна жниварка «Слов'янка» (Україна)



Рисунок 1.7 – Обчісувальна жниварка «Шелборн» (Велика Британія)



а



б

а – «Сибирь»; б – «Озон» (Росія)

Рисунок 1.8 – Обчісувальні жнивварки

Ще одним з технологічних параметрів, що впливає на якість роботи обчісувальних пристроїв є швидкість та рівномірність повітряного потоку в робочій зоні [20, 69, 99, 115, 144]. Якість збирання врожаю суттєво залежить від властивостей компонентів обчісаного вороху, забезпечення певної швидкості повітряного потоку в області жнивварки, що утворюється при обертанні бітера-відбивача та обчісувального барабана.

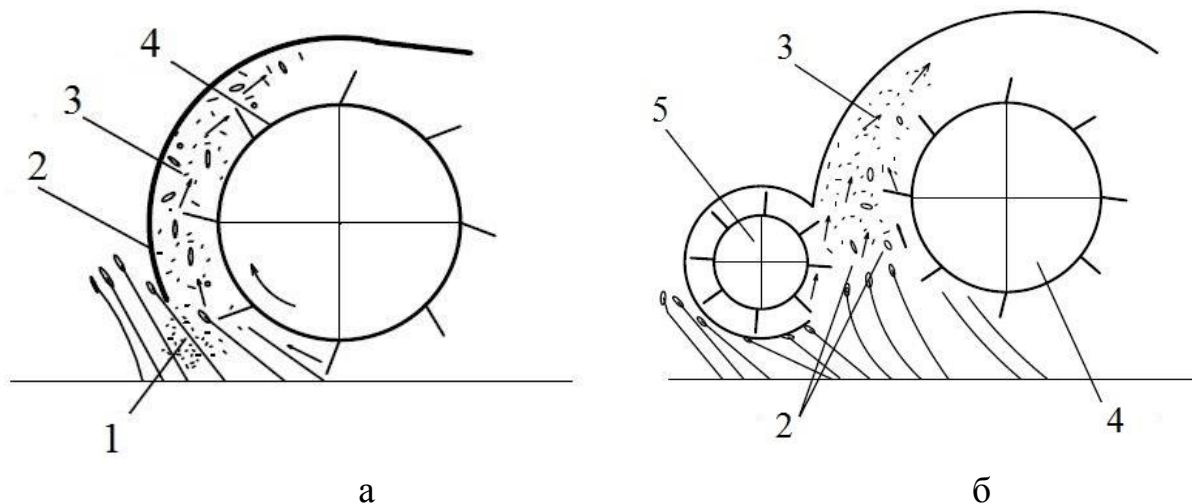
Таким чином, підвищити якість процесу збирання рослин сільськогосподарських культур можливо шляхом забезпечення оптимальних конструктивно-режимних параметрів жнивварки обчісувального типу.

Проведений огляд існуючих конструкцій та аналіз класифікації сучасних пристроїв для обчісування рослин виявив велику різноманітність як за будовою, способом агрегування і збирання, так і за принципом виконання технологічного процесу [17, 27, 68, 75, 79, 84, 108, 119, 121, 155 – 163, 164].

Процес обчісування одно- та двобарабанним пристроєм має свої особливості. В процесі обчісування основна маса обчісаного вороху переміщується в просторі, в заданому напрямку, а саме в напрямку розташування інтегрального шнеку жнивварки. Однак при цьому певна частка обчісаного вороху рухається в напрямку відмінному від основного потоку – за напрямком руху комбайна, що зумовлює можливість втрат зернової маси. Для запобігання цього явища в однобарабанній конструкції застосовують пасивну відбивну поверхню –

обтікач (рис.1.9,а), а у двобарабанної жнивarki – активний бітер-відбивач (рис.1.9,б) [75, 110]. При роботі двобарабанної жнивarki зазор між барабаном і бітером-відбивачем дозволяє розпрямитися стеблам рослин і вони обчісуються у відносно вільному просторі, а та частка обчісаного вороху, що полетіла вперед, направляється в основний потік в напрямку розташування інтегрального шнека бітером-відбивачем (рис.1.9,б).

В практиці конструювання пристроїв для збирання сільськогосподарських культур методом обчісування рослин на корені набули дві основні конструктивні схеми [4, 14, 16, 27, 55, 61, 63, 79, 87, 91 та ін.]: однобарабанні та двобарабанні жнивarki обчісувального типу.



а – однобарабанним пристроєм; б – двобарабанним пристроєм

1 – насіння, що летить вперед (на рисунку а – втрати); 2 – пасивна відбиваюча поверхня; 3 – обчісаний ворох; 4 – обчісувальний барабан, 5 – активний бітер-відбивач

Рисунок 1.9 – Схема процесу обчісування рослин на корені

Аналіз існуючих жниварок обчісувального типу провідних фірм-виробників вказує на певні загальні підходи до їх конструктивного виконання щодо робочих органів та допоміжних елементів, а також вибору режимних характеристик при виконанні технологічного процесу. Діаметр основного робочого органу, яким є барабан, зазвичай має діаметр, який не перевищує 0,7 м і має шість або вісім рядів обчісувальних гребінок. Діапазони регулювання частоти

обертання обчисувального барабана, що має шість рядів гребінок, обирають до 1000 об/хв. («Слов'янка»), для восьми рядів обчисувальних гребінок частота обертання барабана, зазвичай, не перевищує 700 об/хв. [3, 12, 28, 128].

Поряд з тим, у відомих дослідженнях є певні відмінності у наукових і технологічних підходах, твердженнях та отриманих результатах щодо впливу на процес конструктивного виконання жниварок обчисувального типу форми обтікача, кожуха жниварок, кількості і форми зубців обчисувальних гребінок, формування, впливу та керування повітряним потоком в області жниварки задля транспортування і сепарації обчисаного вороху [94, 102, 123].

В роботі [12] виконано класифікацію та запропоновано метод обґрунтування параметрів обтікача однобарабанної обчисувальної жниварки з урахуванням фізико-механічних властивостей рослин, що збираються. Авторами здійснено аналіз процесу взаємодії рослин з обтікачами різного конструктивного виконання та запропонована їх класифікація за двома групами: опуклі назустріч рослинам, що обчисуються, з різними радіусами кривизни та опуклі, що складаються з двох частин різної кривизни, які з'єднані між собою нахиленою або горизонтальною ділянкою. Ними отримано вираз для визначення раціональної довжини нижньої ділянки обтікача (рис.1.10).

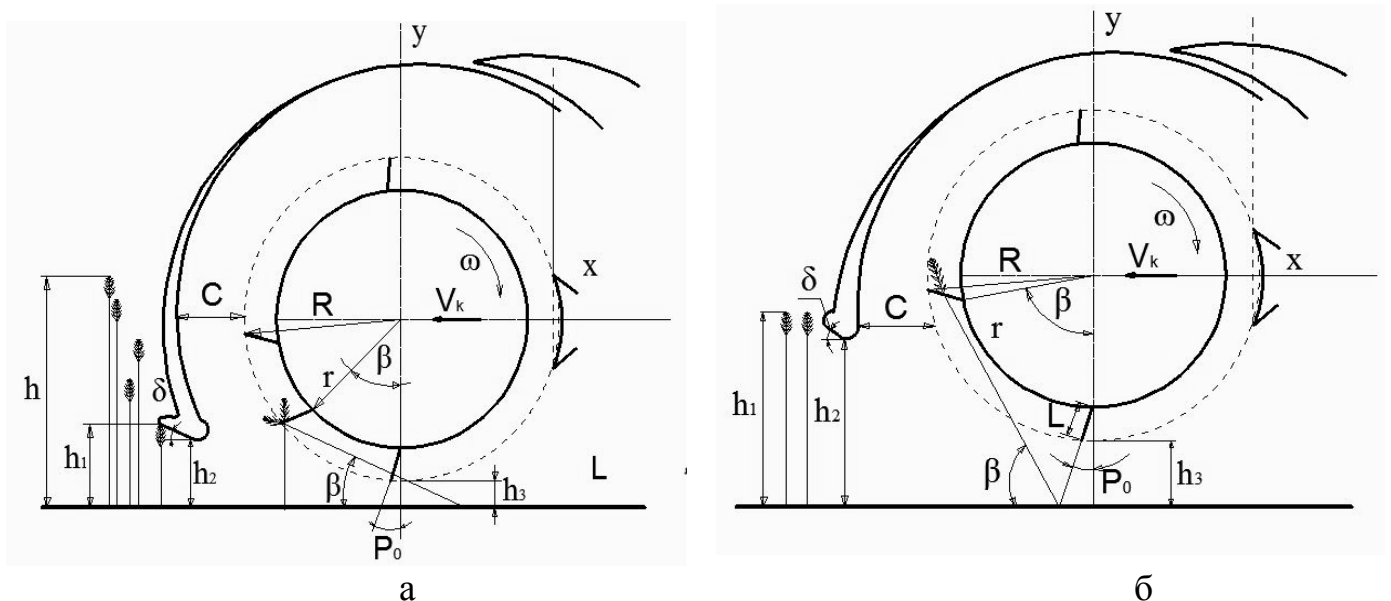


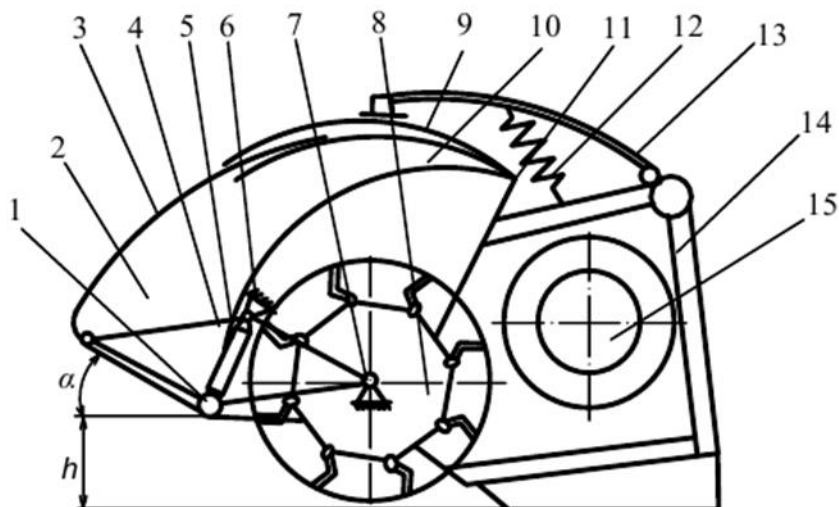
Рисунок 1.10 – Схема жниварки традиційної форми при обчисуванні вирівняних (а) і не вирівняних (б) рослин по висоті [12]

У виді: $L = (h - h_2)/\text{Sin}\delta$, де h , h_2 – відповідно, максимальна висота рослин на ділянці і мінімальна довжина стебел; δ – кут нахилу нижньої площини обтікача. Встановлено, що кут δ повинен варіюватися в межах 0,44–0,66 рад, а конструкція обтікача – забезпечувати можливість його регулювання.

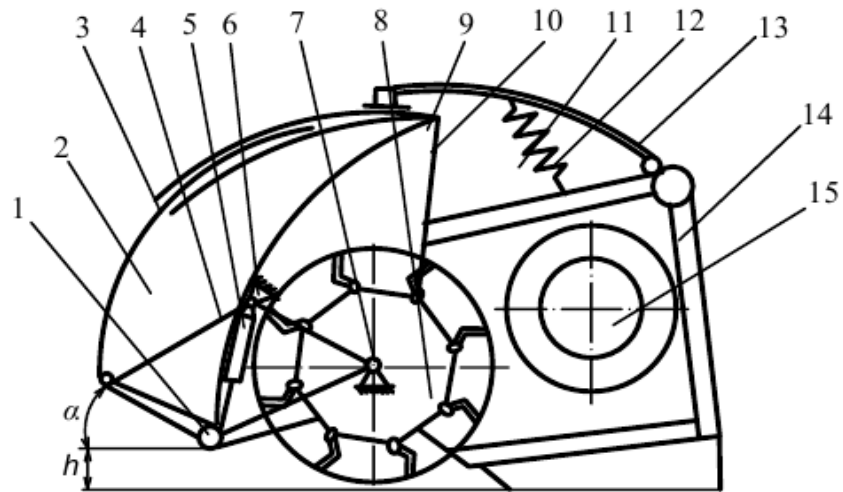
Найбільш досконало форму обтікача жнивarki для збирання зернових культур, який виконує функцію підготовки рослин до обчісування, досліджено О.Ю.Фусточенком в [116]. Автором запропоновано конструкцію жнивarki, що забезпечує збереження постійного кута нахилу нижньої поверхні обтікача при зміні положення його нижньої кромки по висоті (рис.1.11), що, на думку автора, зумовлює зниження втрат врожаю за жнивarkою за рахунок підготовки стебел до обчісувального барабану.

У двобарабannих жниварок функцію обтікача виконує корпус бітера-відбивача, який у більшості конструкцій має округлу форму (рис.1.12)

Недоліком даного пристрою є незадовільна робота при обчісуванні рослин, які суттєво відрізняються між собою по висоті. Це зумовлено фіксованим положенням бітера-відбивача 1 та барабану 2 на загальній рамі 5. Цей недолік враховано в [163] (рис.1.13) шляхом виконання поворотом бітера-відбивача з кожухом 6 за допомогою гідроциліндра 7, що зумовлює зміну технологічного зазору v між барабанами пристрою при різних характеристиках рослин по висоті.



а

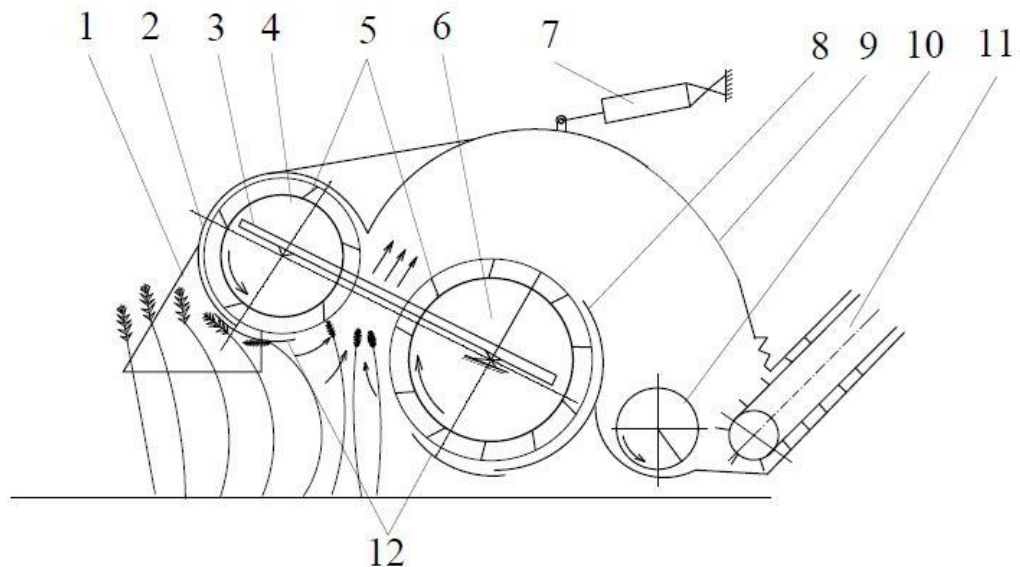


б

а – верхнє положення обтікача; б – нижнє положення обтікача

1 – шарнір; 2 – обтікач; 3 – зовнішня поверхня обтікача; 4 – паралелограмний механізм; 5 – гідросистема; 6 – опори паралелограмного механізму; 7 – шарнір барабана; 8 – обчислюючий барабан; 9 – кришка обікача; 10 – внутрішня поверхня обікача; 12 – пружина; 13 – кришка корпусу; 14 корпус; 15 – консольний шнек

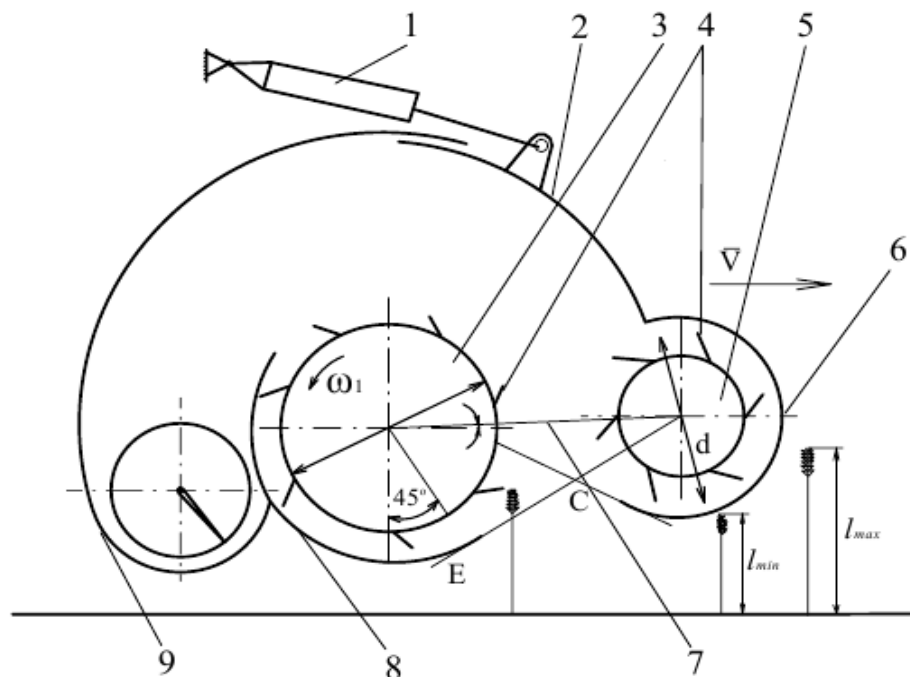
Рисунок 1.11 – Обчислюючий пристрій за [116]



1 – подільник; 2 – кожух бітер-відбивача; 3 – рама барабана; 4 – бітер-відбивач; 5 – гребінки; 6 – обчислюючий барабан; 7 – гідроциліндр; 9 – повітряна сітка; 10 – шнек; 11 – транспортер; 12 – регулювальні щитки

Рисунок 1.12 – Двобарабанний обчислюючий пристрій [158]

Недоліком даної конструкції обчисувального пристрою є відсутність сітки основного кожуха для вільного видалення повітряного потоку та пиловидних домішок із обчисаного вороху з області жниварки.



1 – гідроциліндр; 2 – верхній кожух; 3 – рама; 4 – гребінки; 5 – бітер-відбивач; 6 – кожух бітера-відбивача; 7 – рама; 8 – захисний кожух; 9 – збірник зерна

Рисунок 1.13 – Двобарабанний обчисувальний пристрій [163]

Невизначеність у літературних джерелах спостерігається також стосовно форми кожуха жниварок та форми обчисувальних гребінок [94, 123].

Зубці гребінок у більшості жниварок мають дещо схожу конструкцію: прямолінійні або виконані за певною кривизною пластини шириною біля 20 мм, довжиною – до 60 мм. В залежності від властивостей рослин культури зубці гребінок можуть бути складними і мати криволінійну форму (рис.1.14,а) [157] або специфічну конфігурацію (рис.1.14,б) [161].

Одним зі способів підвищення ефективності процесу обчисування рослин на корені є використання додаткових пристроїв для утворення повітряного потоку в області жниварок. Враховуючи значний вплив на процес збирання рослин методом їх обчисування повітряним потоком, що утворюється барабаном, конструкції жниварок передбачають застосування технічних елементів, які дозволяють керувати його характеристиками [9, 155, 156, 159].

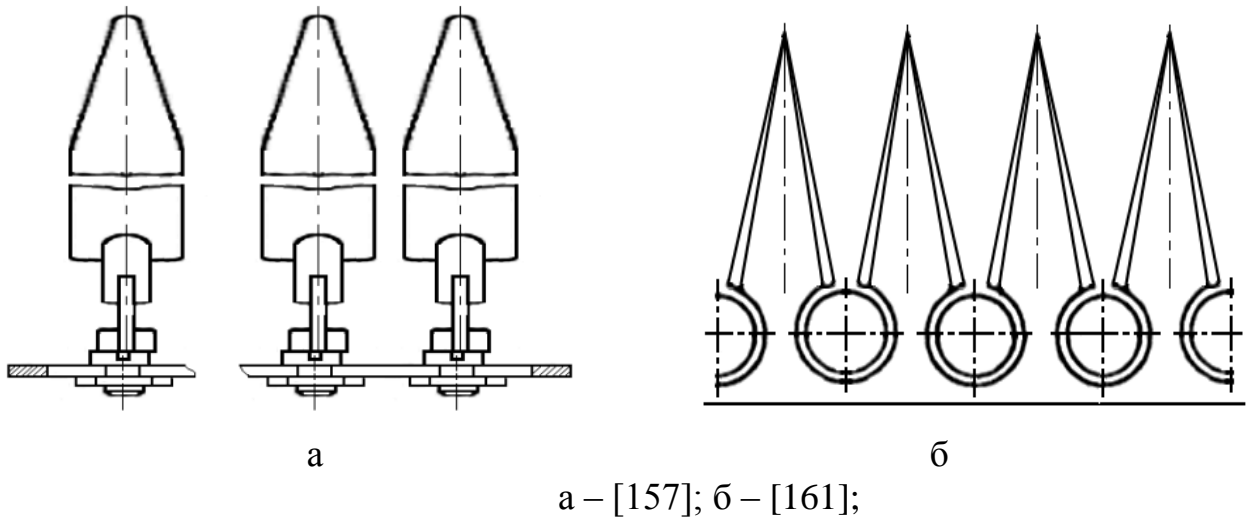
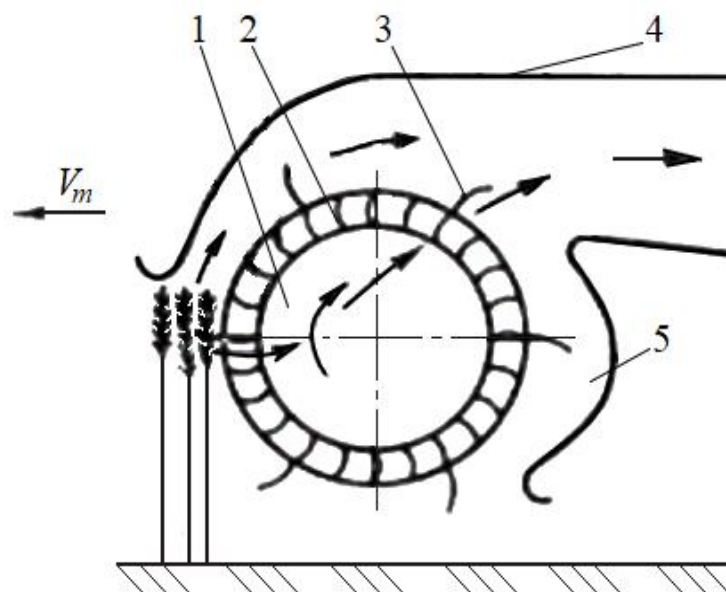


Рисунок 1.14 – Форма зубців обчісувальних гребінок

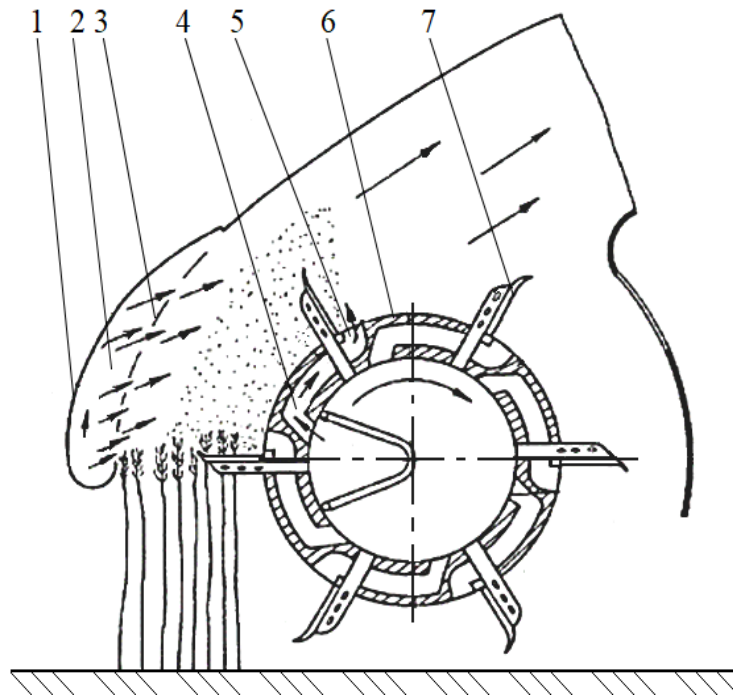
У [9] з метою підвищення якості обчісування рослин на корені, зменшення втрат, забезпечення подачі колосків всмоктуючим повітряним потоком на гребінки, обчісувачий барабан виконаний у вигляді діаметрального вентилятора з встановленими на ньому гребінками, загнутими в напрямку згину лопаток (рис.1.15).



1 – лопаточне колесо; 2 – криволінійні лопатки; 3 – обчісувальні гребінки; 4 – кожух; 5 – вихрова камера

Рисунок 1.15 Пристрій для обмолоту рослин на корені [9]

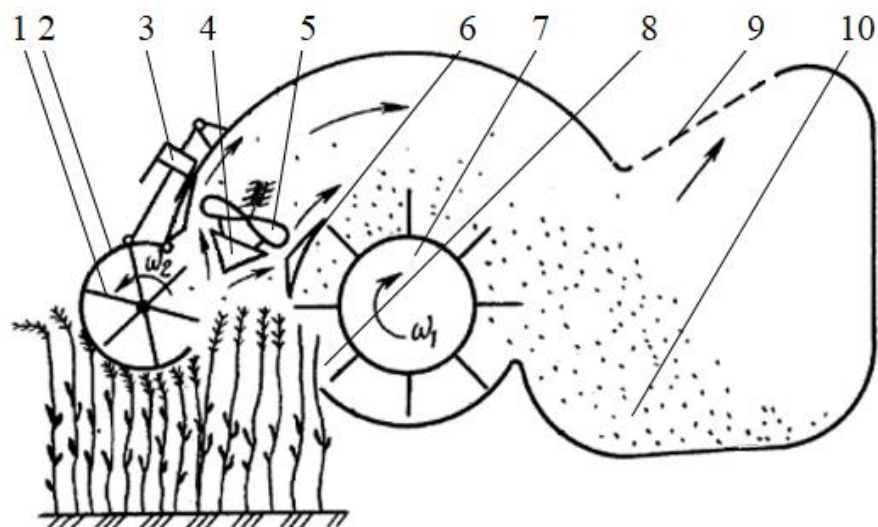
В [155] з метою утворення направленного повітряного потоку поза зоною обчісування рослин передня стінка виконана з щілинами і обладнана регульованими жалюзі (рис. 1.16).



1 – передня стінка; 2 – камера; 3 – жалюзі; 4 – канал; 5 – вихідні отвори;
6 – барабан; 7 – обчісувальні зубці

Рисунок 1.16 – Обчісувач для обмолоту рослин на корені [155]

Авторами в [156] з метою підвищення якості процесу обчісування рослин на корені запропоновано застосування в конструкції жнивarki додатково осьового вентилятора, що зумовлює підведення до обчісувального барабана полеглих рослин (рис.1.17).

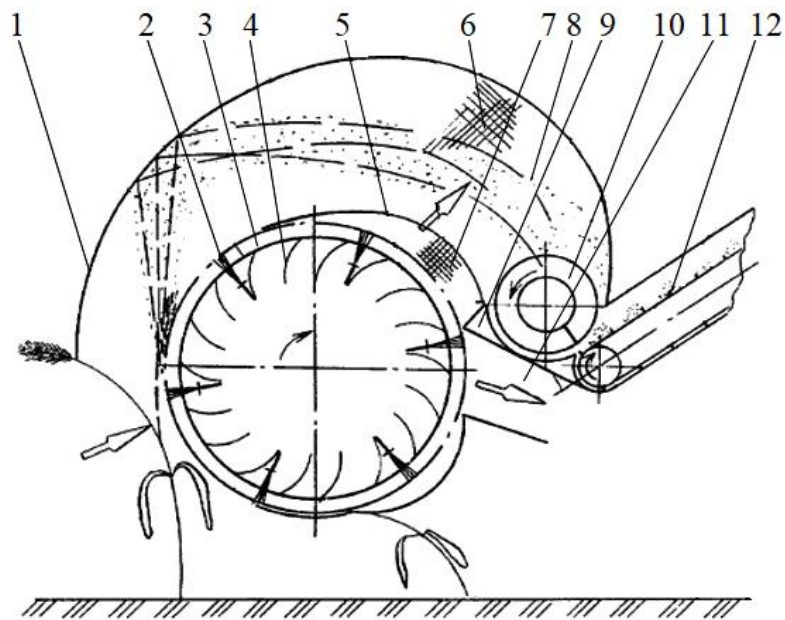


1 – бітер; 2 – обтікач; 3 – гідроциліндр; 4 – відбивний конус;
5 – вентилятор; 6 – розподільчий щиток; 7 – барабан; 8 – канал; 9 – жалюзі;
10 – конфузор; 11 – приймальний бункер

Рисунок 1.17 – Пристрій для обчісування рослин [156]

В [159] над обчісувальним барабаном (рис.1.18) встановлений відсікач 6 із сітчастим елементом 7, який закінчується подільником 9. Таке технічне рішення при роботі пристрою забезпечує розподіл повітряного потоку за двома напрямками – перший подається через сітчастий елемент 7 всередину обчісувальної камери, звідкіля він виходить через вікно 5, а другий – для подальшої подачі обчісаних рослин до зрізального апарату 12. За рахунок такого конструктивного рішення, на думку авторів, знижуються втрати вільним зерном, підвищується вміст вільного зерна в обчісаному вороху та покращуються умови зрізання обчісаних рослин.

Аналізом досліджень процесу обчісування рослин на корені та конструкцій пристроїв для реалізації даного способу збирання врожаю сільськогосподарських культур встановлено напрямок підвищення ефективності, що полягає у оптимізації конструктивно-режимних параметрів. Об'єктом дослідження обрано двобарабанну жниварку обчісувального типу «Слов'янка» виробництва підприємства «Укр.Агро-сервіс» м.Харків, що використовується для збирання зернових та метелкових культур.



1 – обтікач; 2 – щітки; 3 – обчісувальний барабан; 4 – вентилятор; 5 – відсікач; 6 – вікно; 7 – сітчастий елемент; 8 – нагнітальний канал; 9 – подільник; 10 – шнек; 11 – канал відводу повітря; 12 – транспортер

Рисунок 1.18 – Пристрій для обмолоту рослин на корені [159]

Одержані результати досліджень по аналогії можна використати для всіх жниварок обчісувального типу для збирання рослин на корені.

Таким чином, обґрунтування параметрів процесу обчісування рослин на корені підвищує ефективність збирання врожаю і зумовлює створення конкурентоздатних обчісувальних жниварок, що є актуальним завданням для розвитку аграрного сектору України.

1.6 Аналіз математичних моделей процесу обчісування рослин на корені

Основні положення теорії обчісування рослин на корені пристроями, що впливають на суцвіття зубцями, закріпленими у вигляді граблин на обертових барабанах, було запропоновано П.А.Шабановим [122,127] і в подальшому розвинуто в наукових роботах його учнів і послідовників [8, 77, 78, 86, 93,104, 124, 123].

Виконаний аналіз теоретичних досліджень процесу обчісування рослин вказує на відсутність математичних моделей, що присвячені повному опису процесу обчісування рослин жниваркою, починаючи з моменту взаємодії рослин з її обтікачем і до подачі обчісаного вороху до ложа інтегрованого шнека. Спроба створення такої комплексної моделі для однобарабанної жниварки здійснена в [16]. Узагальнена модель обчісування рослин представлена у вигляді сукупності математичних залежностей, у відповідності з послідовністю протікання процесу взаємодії рослин з робочими органами жниварки. При цьому, вихідні параметри оброблюваного матеріалу після його взаємодії з попереднім робочим органом є вхідними при взаємодії з наступним.

Аналіз відомих теоретичних досліджень процесу обчісування вказує на необхідність урахування фізико-механічних характеристик рослин для якісного протікання процесу, зокрема мінімальної деформації стебла при контакті з обчісувальною гребінкою. Так в роботі [77] при дослідженні обчісування зернових культур одержано рівняння руху стеблини при взаємодії з обчісувальною гребінкою (рис.1.19):

$$y(x, t) = r(h) \cos \varphi x^2 (x - h). \quad (1.1)$$

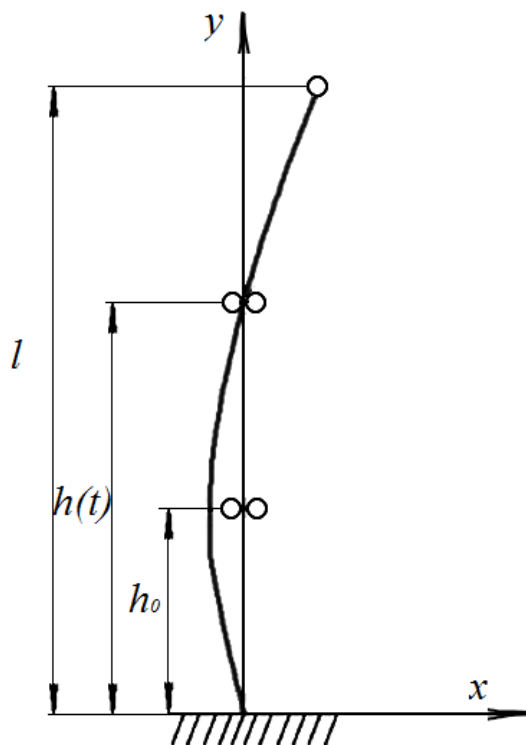


Рисунок 1.19 – Схема пружної лінії рослини [77]

Визначивши кінетичну і потенціальну енергії стебла рослини, що рухається:

$$T = \frac{1}{2} \int_0^l y^2(x, t) dm(x), \quad (1.2)$$

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_0^l (y'')^2 EJ(x) dx, \quad (1.3)$$

і виконавши деякі перетворення отримали диференціальне рівняння руху стебла:

$$(S_6 - 2hS_5 + h^2S_4) \frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\nu(hS_4 - S_5) \frac{d\theta}{dt} + 4(9C_2 - C_1h + h^2C_0) = 0. \quad (1.4)$$

Розв'язання даного рівняння дозволило отримати загальне рівняння руху вільного кінця стебла рослини:

$$y(l, t) = r(h)l^2 - (l - h) \cos\left(\omega_0 \frac{h - h_0}{\nu}\right), \quad (1.5)$$

і амплітуду руху вільного кінця стебла рослини визначити за формулою:

$$A(h) = r(h)l^2 (l - h), \quad (1.6)$$

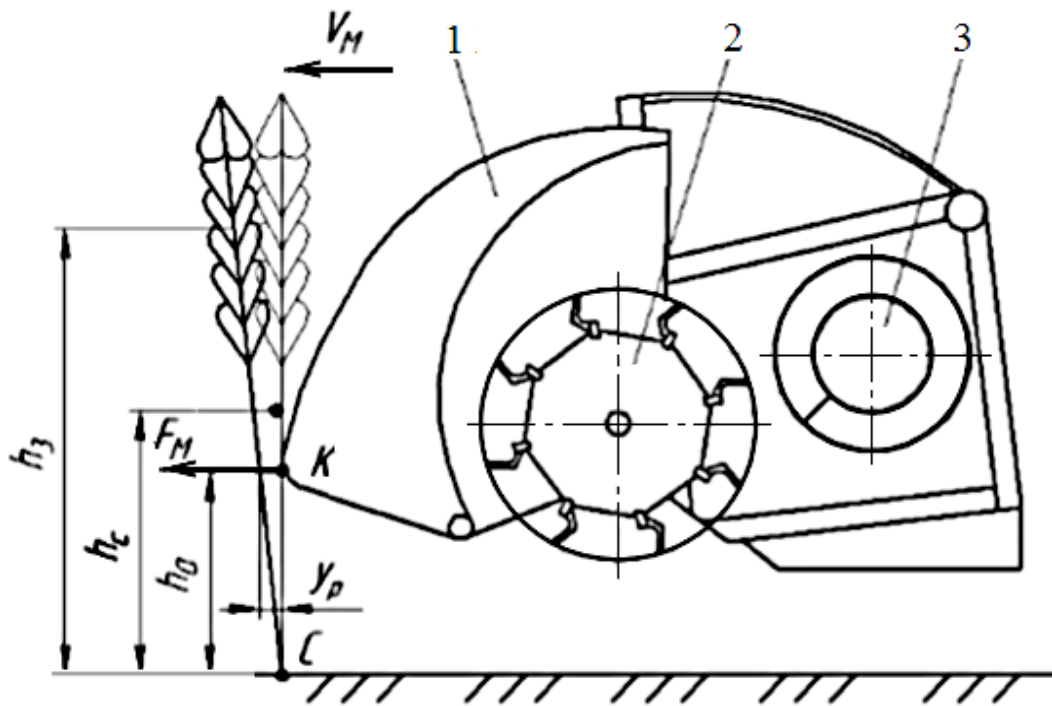
Враховуючи, що злом стеблини може відбуватися у випадку, коли згинаючий момент M , що виникає у точці стебла при його русі більше критичного моменту $M_{кр}$, запропоновано рівняння для визначення його максимального значення M_{max} :

$$M_{max} = \left\{ EJ_0 2(h) \frac{6kl}{\alpha} e(1 + ah/3l) \right\} \text{ при } h \leq 0,84 \frac{1}{\alpha}, \quad (1.7)$$

$$M_{max} = EJ_0 2hr(h) \text{ при } h \geq 0,84.$$

Однак припущення автора роботи про форму пружної лінії і подальше рішення не в повній мірі відповідають реальному згину стебла рослини. З теорії вигину відомо, що пружна лінія для консольно закріпленого стрижня є чверть синусоїди, а не лінія третього порядку, прийнята автором. Аналогічний висновок зроблений також в дослідженні [116].

В роботі А.Ю.Фусточенка [116] досліджено взаємодію рослини з обтікачем обчісувальної жниварки (рис.1.20). Одержана залежність для визначення зусилля, що діє на рослину з боку обтікача, та розглянуто умови стійкого стану зернівки в колосі і колоса на стеблі при впливі обтікача на рослину.



1 – обтікач; 2 – обчісувальний барабан; 3 – шнек

Рисунок 1.20 – Схема взаємодії рослини з обтікачем жниварки [116]

Процес взаємодії обтікача з рослиною розглянуто за трьома фазами: контакт рослини з обтікачем, нахил рослини обтікачем, рух стебла по обтікачу та подача рослини до обчісувального барабана. З урахуванням кінетичної:

$$T_p = \frac{m_p V_M^2}{2}, \quad (1.8)$$

та потенціальної енергії:

$$\Pi_p = \frac{F_M^2 h_0^3}{3EI_x}, \quad (1.9)$$

прийнятих припущень і положень теорії вигину, коли вигин балки в точці K прикладення зосередженої сили дорівнює:

$$y_0 = \frac{F_M \cdot h_0^3}{3E \cdot I_y}, \quad (1.10)$$

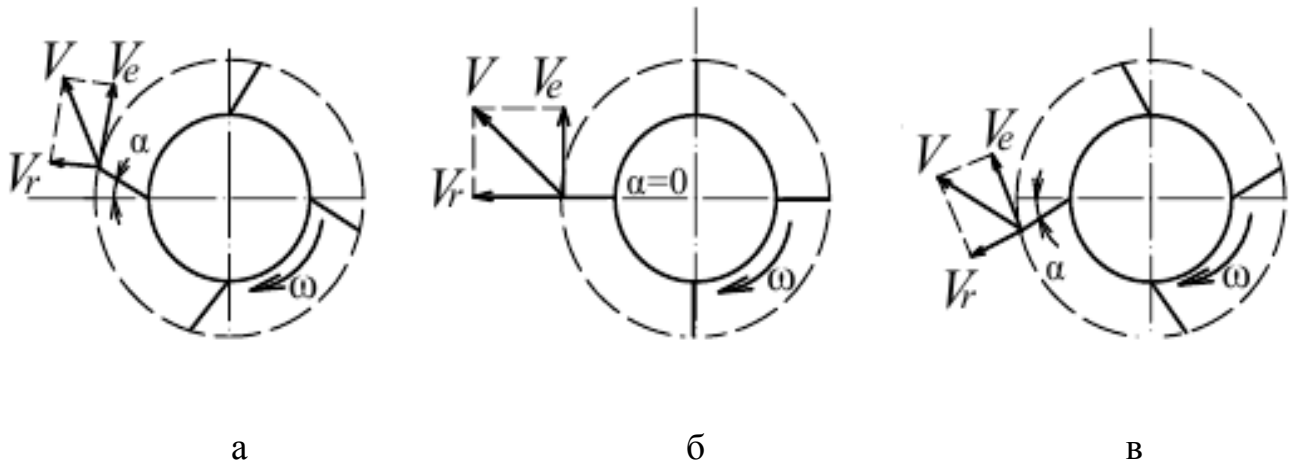
автором отримано залежність:

$$F_M = \sqrt{\frac{3m_p V_M^2 EI_x}{2h_0^3}}. \quad (1.11)$$

Аналіз отриманого виразу дозволяє стверджувати, що сила тиску F_M обтікача на стебло рослини залежить від поступальної швидкості руху V_M машини, маси m_p , висоти h_p рослини і жорсткості стебла EI_x в нижній частині.

Відомі дослідження в напрямку підвищення ефективності роботи обчісувальних пристроїв присвячені, в основному, вибору і обґрунтуванню оптимальних конструктивних параметрів основного робочого органу жниварок - обчісувального барабана, основними з яких є діаметр, кількість рядів обчісувальних гребінок, кут установки і форма гребінок [17–19, 56, 94, 96, 104]. При виборі діаметра обчісувального барабана рекомендовано керуватися певними умовами і обмеженнями, а саме: при зменшенні діаметра барабана до 300–350 мм зростає ймовірність намотування на нього стебел; інтервал між суміжними впливами обчісувальних гребінок на об'єкт, що визначається діаметром барабана, його коловою швидкістю, числом рядів гребінок, швидкістю руху комбайна, повинен бути достатнім для обчісування хлібної маси в повному

обсязі [93, 106]. В роботі [94] представлено три варіанти установки гребінок на обчисуючий барабан: з нахилом вперед; направлених радіально і з нахилом назад (рис.1.21).



а – з нахилом вперед; б – направлених радіально; в – з нахилом назад

Рисунок 1.21 – Схеми обчисувальних барабанів при встановленні гребінок

Автором детально розглянуто рух обчисаного вороху по гребінці, що відхилена назад на кут α (рис.1.21), і отримано диференціальне рівняння руху частинки по поверхні гребінки в залежності від колової швидкості, розмірів барабана, кута постановки гребінки у вигляді:

$$\frac{du^2}{dt^2} + 2f\omega \frac{du}{dt} - \omega^2 u - f\omega^2 R \sin \alpha = 0. \quad (1.12)$$

При цьому, автором не врахована сила тяжіння частинки вороху, яка, на думку автора, є незначною у порівнянні з іншими силами, що визначають динаміку взаємодії компонентів вороху із гребінкою обчисувального барабана.

Для випадку застосування обчисувального барабана з радіальним розташуванням гребінок П.А.Шабановим в [122] розглянуто процес обчисування пристроєм, що представлено на рисунку 1.22.

Беручи до уваги, що після сходу з зубів обчисувальної гребінки обчисаний ворох рухається по дотичній до абсолютної траєкторії кінця зуба, автором запропоновано рівняння її проекції на горизонтальну вісь x :

Кути початку і закінчення обчісування визначаються, відповідно:

$$\begin{aligned}\varphi_0 &\geq \arccos \frac{H-l}{R}, \\ \psi &= \varphi + \gamma - 90^0,\end{aligned}\tag{1.16}$$

де φ – кут тертя стебла по поверхні зуба;

γ – кут нахилу стебел до поверхні поля.

Для визначення радіуса обчісувального барабана запропоновано вираз:

$$R = \frac{m}{\cos \varphi_0 + \sin \psi},\tag{1.17}$$

де m – величина зони розташування колосків.

Довжина зуба обчісувальної гребінки:

$$a = R + \frac{Vt - R \sin \varphi_0}{\sin(\omega t + \varphi_0)},\tag{1.18}$$

де t – час переміщення зуба гребінки від кута початку обчісування до кута завершення процесу обчісування.

Досліджуючи кути початку і закінчення обчісування, а також величину зони розташування колосу, запропоновано розраховувати робочий радіус обчісувального барабана, що є необхідним для забезпечення умов подачі обчісаного вороху до інтегрального шнеку:

$$R_0 = \frac{H}{\cos \alpha_n + \cos \alpha_k},\tag{1.19}$$

де H – ширина зони розташування колосу, м;

α_n – кут початку обчісування, град;

α_k – кут закінчення обчісування, град.

При визначенні загальної довжини гребінки розглянуто її складний рух: обертовий разом з барабаном і поступальний із збиральним засобом (рис.1.23).

При поступальному русі гребінка занурюється в рослинну масу на величину:

$$l_1 = \frac{V_m t}{\sin \alpha_n},\tag{1.20}$$

де V_m – поступальна швидкість машини, м/с;

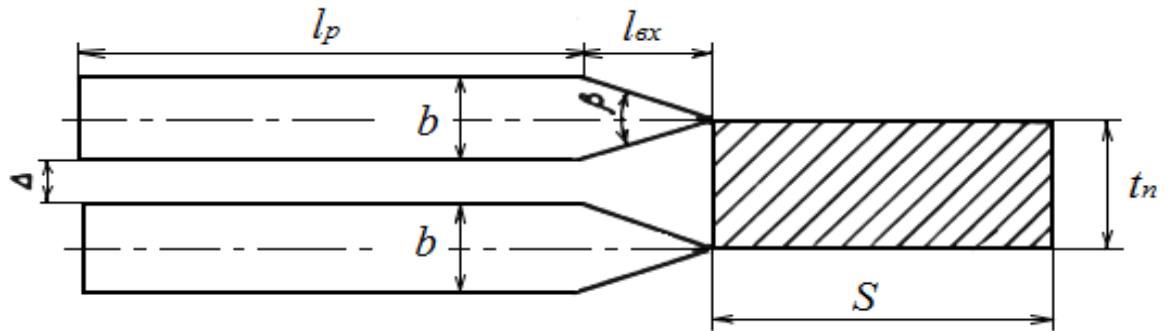


Рисунок 1.24 – Схема до визначення ширини обчісувальної гребінки [77]

Для визначення глибини занурювання барабана у стеблову масу запропоновано рівняння:

$$h_n = H + R(1 - \cos \alpha_n), \quad (1.24)$$

Для розрахунку кількості рядів гребінок на обчісувальному барабані в [71] запропоноване рівняння:

$$Z = \frac{2\pi \cdot V_M \cdot n_o}{l_p \cdot \omega}, \quad (1.25)$$

де V_M – швидкість комбайна, м/с;

n_o – частота обертання барабана, хв⁻¹;

l_p – робоча довжина гребінки, м;

ω – кутова швидкість барабана, с⁻¹.

Для фіксованих параметрів обчісувального пристрою: частоті обертання барабана $n_o = 45$ хв⁻¹; радіусі барабана $r = 0,35$ м; довжині гребінок $l = 0,08$ м; робочій довжині гребінки $l_p = 0,072$ м авторами встановлено, що повне обчісування забезпечується барабаном із 6 рядами гребінок.

В [124] теоретично обґрунтовано повздовжній профіль гребінки бітера-відбивача, що забезпечує раціональний напрям переміщення частинок вороху із врахуванням конструктивно-технологічних параметрів двобарабанного пристрою для збирання зернового сорго обмолотом на корені. При цьому поставлена умова, що профіль гребінки бітера-відбивача повинен забезпечити раціональний напрям польоту частинок – по дотичній до кола обчісувального барабана радіуса R_o . Авторами встановлені раціональні параметри: внутрішній

радіус барабана 0,2м; зовнішній – 0,35м; $\omega = \omega_6 = 40$ рад/с; $Z = Z_6 = 6$; швидкість руху жнивarki $V_m = 1,8$ м/с.

В [56] теоретично обґрунтовано конструктивні параметри обчісувального барабану, режими роботи установки та розміри гребінок для збирання сої. Радіус барабана прийнято $R_o = 0,23$ м; $Z = 8$; $n = 237,9 - 497,8$ об/хв; $V_m = 1,18 - 2,47$ м/с (прийнято за характеристикою трактора МТЗ). При цьому авторами роботи не враховано залежність максимальної швидкості частинок вороху від частоти обертання обчісувального барабана. В [38], з урахуванням сил, що діють на гребінку в момент обчісування рослини, обґрунтовано раціональний профіль гребінки обчісувального барабана, що зумовлює зменшення енергоємності процесу обчісування рослин. При цьому, як стверджують автори, отриманий профіль гребінки дозволяє зменшити витрати енергії при виконанні процесу обчісування рослин на 10%.

Виконаний теоретичний аналіз досліджень в напрямку визначення раціональних параметрів обчісувальних пристроїв вказує на те, що вони дещо відрізняються між собою стосовно одержаних результатів інших дослідників, що спонукає до більш детального розгляду процесу взаємодії компонентів рослин та компонентів вороху з робочими органами обчісувальної жнивarki.

1.7 Математичні моделі функціонування жниварок обчісувального типу, що враховують вплив на процес повітряного потоку

Аналіз наукових праць за обраним напрямком дослідження вказує на суттєвий вплив на роботу обчісувальних пристроїв повітряного потоку, що утворюється обчісувальним барабаном однобарабанної і двома барабанами, що обертаються назустріч один одному, двобарабанної жниварок [20, 69, 99, 115].

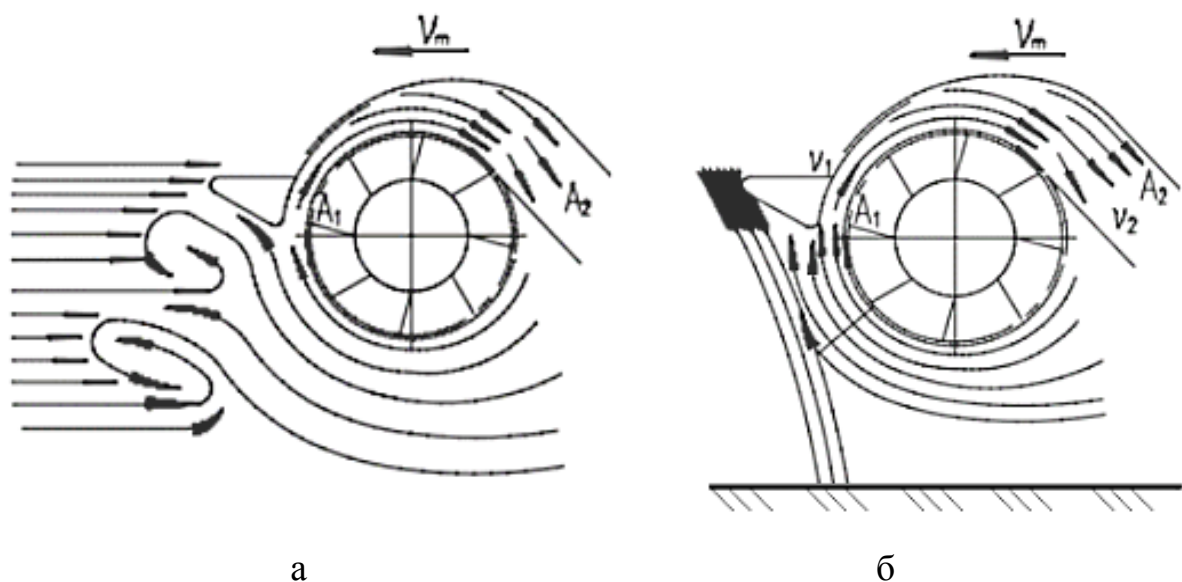
В [144] виконано аеродинамічний аналіз однобарабанного обчісувального пристрою, розглянуто розподіл поля повітряного потоку навколо барабана в режимі «холостого ходу» (рис.1.25,а) та під час роботи (рис.1.25,б). У першому випадку за рахунок асиметричного положення кожуха

повітряний потік потрапляє в область жнивarki через зазор A_1 між обтікачем і барабаном і виходить через отвір A_2 в напрямку розташування інтегрального шнека. Різниця тисків утворюють при зустрічі повітряних потоків з нижньої сторони обтікання барабана і лобового повітря, що створює повітряні вихори на зовнішній стороні входу A_1 . При роботі пристрою (рис.25,б) повітряний потік блокується «стіною» з рослин в передній частині пристрою. Рух повітря повинен зберігати свою безперервність, відповідно до принципу збереження маси. Тому можна отримати наступний вираз:

$$A_1 V_1 \approx A_2 V_2 = \text{Const}, \quad (1.26)$$

де A_1, V_1 – площа і середня швидкість повітря на вході у транспортуючий канал;
 A_2, V_2 – площа і середня швидкість повітря на виході.

Автор стверджує, що змінюючи конструктивно-режимні параметри пристрою можна керувати якістю процесу обчісування рослин на корені. За результатами досліджень встановлено, що мінімальна швидкість повітря на вході повинна бути не менше 5 м/с при зміні зазору між барабаном і кожухом в межах від 90 мм до 110 мм.



а – в режимі холостого ходу; б – при роботі

Рисунок 1.25 – Схематична діаграма обтікання повітря при роботі обчісувальної жнивarki.

Значна увага щодо формування повітряного потоку в транспортуючому каналі та його впливу на протікання процесів в області однобарабанної жнивarki обчисувального типу приділена в роботах М.А.Бурьянова [17–20]. В [18] досліджено два варіанти взаємодії зернівки з повітряним потоком в транспортуючому каналі після її сходу з гребінки обчисувального пристрою: потік розширюється (рис.1.26) та постійному по ширині каналу (рис.1.27).

Якщо точка сходу зернівки із зуба обчисувальної гребінки розташована нижче кромки переднього кожуха (обчисування полеглих і нерівномірних по висоті рослин), то зернівка починає рух в повітряному потоці, що розширюється (рис.1.26). Визначаючи прискорення зернівки в повітряному потоці, що розширюється:

$$\frac{d\bar{V}}{dt} = K_{\Pi} \cdot \bar{V}_{\text{отн}} \cdot |\bar{V}_{\text{отн}}| + \bar{g}, \quad (1.27)$$

де K_{Π} – коефіцієнт парусності, м^{-1} ;

$\bar{V}_{\text{отн}}$ – швидкість повітряного потоку, м/с ;

\bar{g} – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

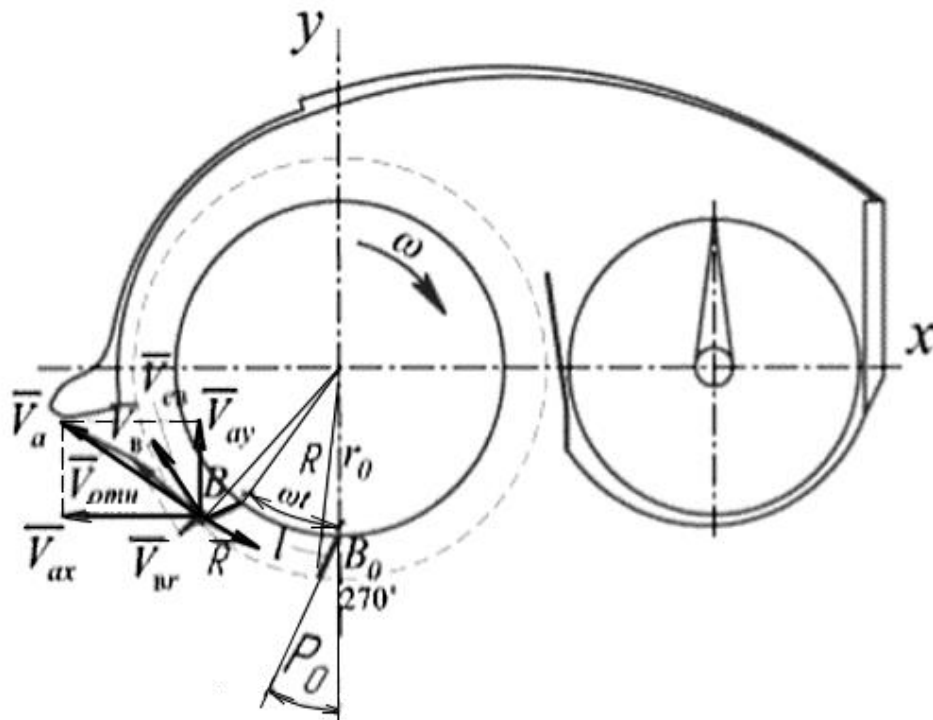


Рисунок 1.26 – Схема руху зернівки в каналі з урахуванням повітряного потоку, що розширюється

Швидкість повітряного потоку, що розширюється:

$$\bar{V}_B = \bar{V}_{EB} + \bar{V}_{BR}, \quad (1.28)$$

де \bar{V}_{EB} і \bar{V}_{BR} – швидкість повітряного потоку в тангенціальному і радіальному напрямках, м/с.

Проекції повітряного потоку на вісі X і Y :

$$\begin{cases} V_{Bx} = \omega_B \cdot y + V_{BR}(r) \sin(-\omega_B \cdot t), \\ V_{By} = -\omega_B \cdot x + V_{BR}(r) \cos(-\omega_B \cdot t). \end{cases} \quad (1.29)$$

Радіальну складову швидкості повітряного потоку:

$$V_{BR}(r) = \frac{k_1}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{Q}{2\pi \cdot B \cdot \sqrt{x^2 + y^2}}, \quad (1.30)$$

де Q – витрата повітря, м³/с;

B – ширина повітряного каналу, м;

k_1 – приведена витрата повітря, м²/с.

Після перетворень автором отримана наступна система рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} x(t) = & - \left(\frac{d}{dt} x(t) - \omega_B y - \frac{k_1}{\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2}} \cos(-\omega_B t) \right) \cdot K_{II} \cdot \\ & \cdot \sqrt{\left(\frac{d}{dt} y(t) + \omega_B x - \frac{k_1}{\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2}} \sin(-\omega_B t) \right)^2 + \left(\frac{d}{dt} x(t) + \omega_B y - \frac{k_1}{\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2}} \cos(-\omega_B t) \right)^2}, \end{aligned} \quad (1.31)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} y(t) = & -g - \left(\frac{d}{dt} y(t) - \omega_B x - \frac{k_1}{\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2}} \cos(-\omega_B t) \right) \cdot K_{II} \cdot \\ & \cdot \sqrt{\left(\frac{d}{dt} y(t) + \omega_B x - \frac{k_1}{\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2}} \sin(-\omega_B t) \right)^2 + \left(\frac{d}{dt} x(t) + \omega_B y - \frac{k_1}{\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2}} \cos(-\omega_B t) \right)^2}. \end{aligned}$$

Якщо точка сходу зернівки розташована на рівні або вище нижньої кромки переднього кожуха, то вона рухається в постійному по ширині повітряному каналу (рис.1.27).

При відсутності радіальної складової рух зернівки в постійному по ширині каналі автором одержано у вигляді наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} x(y) = -K_{II} \cdot \left[\left(\frac{d}{dt} x(t) \right)^2 - 2 \cdot \frac{d}{dt} x(t) \cdot \omega_B \cdot y(t) + (\omega_B \cdot y(t))^2 \right] \\ \frac{d}{dt} y(t) = -g - K_{II} \cdot \left[\left(\frac{d}{dt} y(t) \right)^2 - 2 \cdot \frac{d}{dt} y(t) \cdot \omega_B \cdot x(t) + (\omega_B \cdot x(t))^2 \right] \end{cases} \quad (1.32)$$

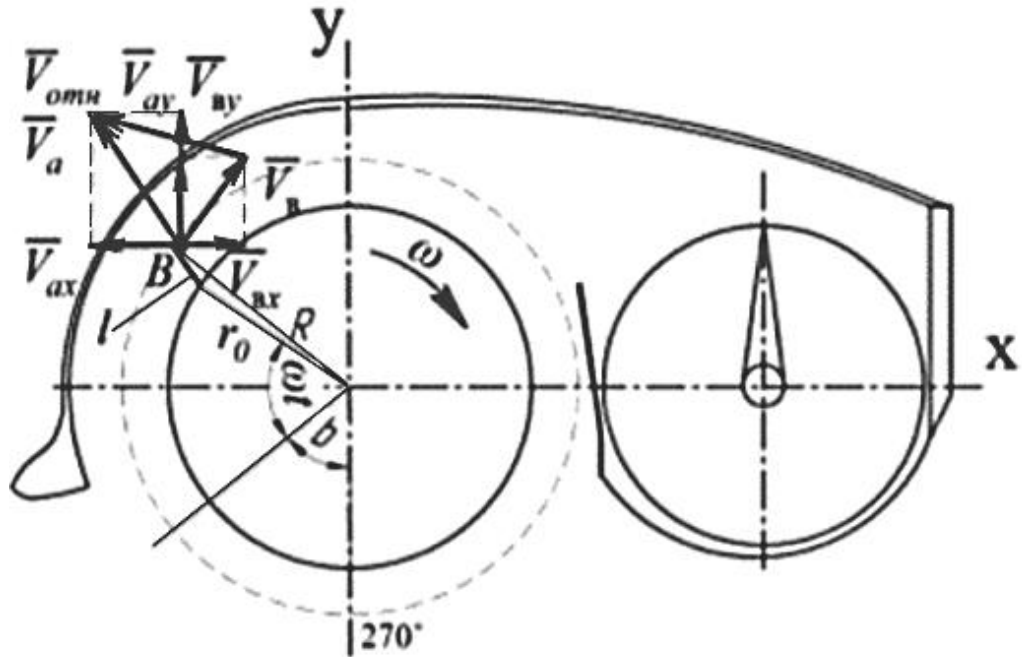


Рисунок 1.27 – Схема руху зернівки в повітряному потоці після сходу з зуба в постійному по ширині каналі

Автором встановлено, що при точці сходу зернівки в зоні закритого каналу, що розширюється, до верхньої кромки ложа шнека з боку обчисувального барабана, як показали вимірювання, швидкість повітряного потоку змінюється за лінійною залежністю, а рух зернівки для цього випадку відображається системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} x(y) = -K_{II} \cdot \left[\left(\frac{d}{dt} x(t) \right)^2 - 2 \cdot \frac{d}{dt} x(t) \cdot \omega_B \cdot (1 - 2,3 \cdot x(t)) \cdot y(t) + \right. \\ \left. + [\omega_B \cdot (1 - 2,3 \cdot x(t)) \cdot y(t)]^2 \right] \\ \frac{d}{dt} y(t) = -g - K_{II} \cdot \left[\left(\frac{d}{dt} y(t) \right)^2 - 2 \cdot \frac{d}{dt} y(t) \cdot \omega_B \cdot (1 - 2,3 \cdot x(t)) \cdot y(t) + \right. \\ \left. + [\omega_B \cdot (1 - 2,3 \cdot x(t)) \cdot y(t)]^2 \right] \end{cases}, \quad (1.33)$$

де 2,3 – емпіричний коефіцієнт, m^{-1}

В [70] досліджено вплив параметрів однобарабанного обчісувального пристрою на параметри утворюваного повітряного потоку у відповідності до значення критичної швидкості витання компонентів обчісаного вороху різних культур. Автором доведена доцільність використання всмоктуючого повітряного потоку, що утворюється обчісувальним барабаном жнивarki. Отримано рівняння регресії в наступному вигляді:

$$V_B = 11,55 - 1,0025H - 0,999S, \quad (1.34)$$

де V_B – швидкість повітряного потоку, м/с;

H – висота розташування колосків, м;

S – площа вхідного вікна обчісувального пристрою, м².

Стверджується, що параметри утворювані обчісувальним барабаном жнивarki відповідають умовам збирання різних культур, діапазон критичних швидкостей яких знаходиться в інтервалі від 2,5 м/с до 11,2 м/с. Теоретично отримана залежність відстані між барабаном і переднім кожухом від радіуса обчісувального барабана:

$$B = 0,4r_1. \quad (1.35)$$

Автором означений інтервал зміни цього показника в межах від 0,14 м до 0,4 м. Це не співпадає з поданими рекомендаціями дослідження [144].

А.Ю.Фусточенком [115] досліджено напрямок і величину повітряного потоку при різних положеннях жнивarki, обтікача (рис. 1.10) і частоти обертання обчісувального барабана. Отримані за результатами дослідження дані порівнювали, як і в попередній роботі, з критичними швидкостями витання компонентів обчісаного вороху. Автором виявлено ефект розшарування повітряного потоку в області жнивarki на всмоктуючий і нагнітальний при обертанні обчісувального барабана, що співпадає з результатами [144].

Встановлено, що точка розшарування повітряного потоку на верхній (всмоктуючий) і нижній знаходиться на висоті 272 мм від нижньої кромки обтікача. Зазначено, що такий ефект може негативно або позитивно впливати на протікання процесу. При цьому автором не конкретизовано і не досліджено

аспект такого впливу на протікання технологічного процесу обчісування на прикладі збирання рослин певної культури.

1.8 Висновки за розділом, мета та завдання дослідження

1. На підставі аналізу результатів досліджень підвищення ефективності процесу збирання сільськогосподарських культур методом обчісування рослин на корені обґрунтовано актуальність проблеми підвищення якості збирання насіння льону олійного обґрунтуванням конструктивно-режимних параметрів обчісувальної жнивarki.

2. Аналіз стану проблеми підвищення ефективності збирання рослин на корені методом обчісування та огляд існуючих конструкцій обчісувальних пристроїв виявили наступні недоліки: більшість досліджень проведена для окремих параметрів обчісувальних пристроїв, які підлягали оптимізації; експериментальна апробація приводиться частково або відсутня зовсім; одержані математичні вирази ускладнені або не мають подальшого практичного використання для створення нових ефективних технічних засобів. Перспективним напрямком підвищення якості збирання рослин на корені є створення жнивarki обчісувального типу, конструктивно-режимні параметри якої враховують властивості рослин льону олійного та компонентів обчісаного вороху.

3. В літературі не знайдено теоретичних досліджень процесу збирання насіння льону олійного жнивarkoю обчісувального типу з урахуванням властивостей рослин, фізико-механічних характеристик обчісаного вороху, аеродинамічних процесів та процесу сепарації компонентів вороху в області жнивarki обчісувального типу.

В результаті аналізу стану поставленого завдання підвищення ефективності збирання насіння льону олійного методом обчісування рослин на корені визначена тема дисертаційної роботи і сформульована її мета: метою роботи є підвищення якості збирання насіння льону олійного обґрунтуванням конструктивно-режимних параметрів жнивarki обчісувального типу.

Відповідно до поставленої мети, для вирішення проблеми намічені завдання: провести оцінку і аналіз існуючих підходів до розв'язання проблеми підвищення якості збирання насіння льону олійного жнивваркою обчісувального типу; визначити і обґрунтувати геометричну форму обтікача жнивварки обчісувального типу, виходячи з умови забезпечення періодичної подачі стеблової маси льону олійного до обчісувального барабана; визначити і обґрунтувати геометричну форму кожуха жнивварки обчісувального типу, виходячи з умови забезпечення необхідного градієнту швидкостей повітряного потоку для виконання технологічного процесу розділення вороху; розробити фізико-математичну модель технологічного процесу збирання насіння льону олійного жнивваркою обчісувального типу і обґрунтувати діапазони режимних параметрів її бітера-відбивача і обчісувального барабана, виходячи з технологічних параметрів роботи комбайна і фізико-механічних властивостей стеблової маси і вороху льону олійного; дослідити вплив конструктивно-режимних параметрів на якісні показники удосконаленої обчісувальної жнивварки; провести порівняльні із серійною випробування удосконаленої жнивварки обчісувального типу, визначити техніко-економічну ефективність її застосування.

Розв'язок цих завдань дасть можливість створити наукові положення та методи досліджень процесу обчісування рослин на корені, і сумісно з підприємствами сільськогосподарського машинобудування виготовити, випробувати і впровадити у виробництво удосконалену жнивварку обчісувального типу для збирання насіння льону олійного.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ЖНИВАРКОЮ ОБЧІСУВАЛЬНОГО ТИПУ

Технологічний процес збирання насіння льону олійного, що виконується комбайнами, повинен враховувати дані по врожайності, фізико-механічні властивості рослин (стебла та насіння), вимоги щодо кінцевого продукту за формою і якістю та продуктивність зазначеного процесу. Під час збирання комбайном рослини льону олійного піддаються різним механічним напруженням (розтягуванням, стисканням, згинанням, зсувам та ін.), що зумовлює їх урахування при вивченні процесів взаємодії з робочими органами машин [151].

Поведінка рослин під час виконання технологічного процесу збирання є результатом поєднання пружно-пластичних властивостей їх матеріалу, властивостей гранульованого матеріалу та неньютонівських характеристик потоку рідини. Така поведінка, що включає складні взаємодії та нелінійні зв'язки, ускладнює застосування або адаптацію відомих теорій однорідних матеріалів, а також розробку надійних теорій [144, 150]. Таким чином, складним процесом є математичне моделювання зазначених властивостей для подальшого використання їх в моделюванні процесів, комбінації, симуляції.

2.1 Фізико-математична модель взаємодії обтікача жниварки обчісувального типу зі стебловою масою льону олійного

Фізико-механічні властивості стебла льону олійного визначають їх поведінку під впливом механічних сил, що з'являються під час їх взаємодії з обтікачем жниварки обчісувального типу, з точки зору згинання рослини.

Стеблова маса льону олійного – це реологічний матеріал, властивості якого відповідають неньютонівським законам, які зумовлюють їх поведінку з точки зору пластичності та еластичності.

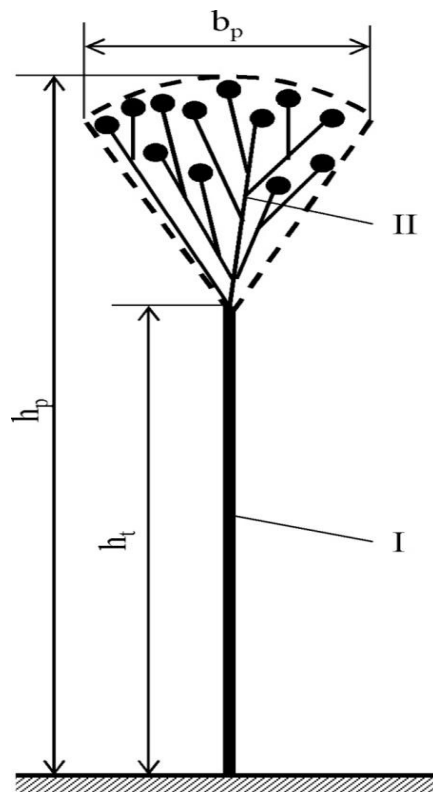
Для спрощення моделювання та оптимізації комбінованих процесів комбайнування необхідно враховувати біометричні показники рослин льону

олійного. Для сорту Орфей (селекція Інституту олійних культур НААН України) біометричні показники представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Біометричні показники сорту льону олійного Орфей

Значення	Висота рослини, см	Технічна довжина рослини, см	Ширина зони розгалуження рослини, см	Кількість стебел, шт.	Кількість коробочок, шт.	Кількість насіння, шт.	Маса 1000 насінин, г	Маса однієї рослини, г	Потенційна врожайність, т/га
Мін.	42,43	30,95	4,9	1,03	12,25	62,63	6,90	0,48	1,94
Макс.	49,68	40,25	8,3	1,05	13,80	77,10	7,74	0,53	2,12
Середнє	46,05	35,60	6,6	1,04	13,03	69,87	7,32	0,51	2,03

На рисунку 2.1 зображено структурну схему рослини льону олійного у вигляді двох ділянок: I – стеблова зона (циліндр); II – зона розгалуження (сектор кулі).



I – стеблова зона (циліндр); II – зона розгалуження (сектор кулі)

Рисунок 2.1 – Структурна схема рослини льону олійного.

Під час взаємодії обтікача жниварки обчисувального типу зі стебловою масою льону олійного відбувається процес згинання рослини, фізичну модель якого розглянемо на основі теорії пружності. Обтікач жниварки діє на стебло рослини із силою P , зона розгалуження рослини відхиляється від положення рівноваги під впливом сили тяжіння G . Розглянемо плоску задачу в площині перерізу рослини xOy (рисунок 2.2).

Диференціальне рівняння зміни форми стебла рослини під впливом сил P і G запишемо у вигляді [139]:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -Py - G_I x_{Ic} - G_{II} x_{IIc}, \quad (2.1)$$

де E – модуль пружності стеблової зони рослини, Па;

I – осьовий момент інерції рослини, м⁴;

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.

Перейдемо до більш точного диференціального рівняння зігнутої осі стеблової зони рослини. Позначаючи через θ кут, що складає дотичну до вигнутої осі стеблової зони рослини з віссю x , і через s довжину викривленою осі стеблової зони рослини, відлічувану від нижнього до верхнього кінців, напишемо це рівняння в такому вигляді:

$$EI \frac{d\theta}{ds} = -Py - G_I x_{Ic} - G_{II} x_{IIc}. \quad (2.2)$$

Взявши від (2.2) похідну по ds маємо:

$$EI \frac{d^2 \theta}{ds^2} = -P \frac{dy}{ds}. \quad (2.3)$$

Підставляючи $\frac{dy}{ds} = \sin \theta$ в (2.3) отримуємо диференціальне рівняння:

$$EI \frac{d^2 \theta}{ds^2} = -P \sin \theta. \quad (2.4)$$

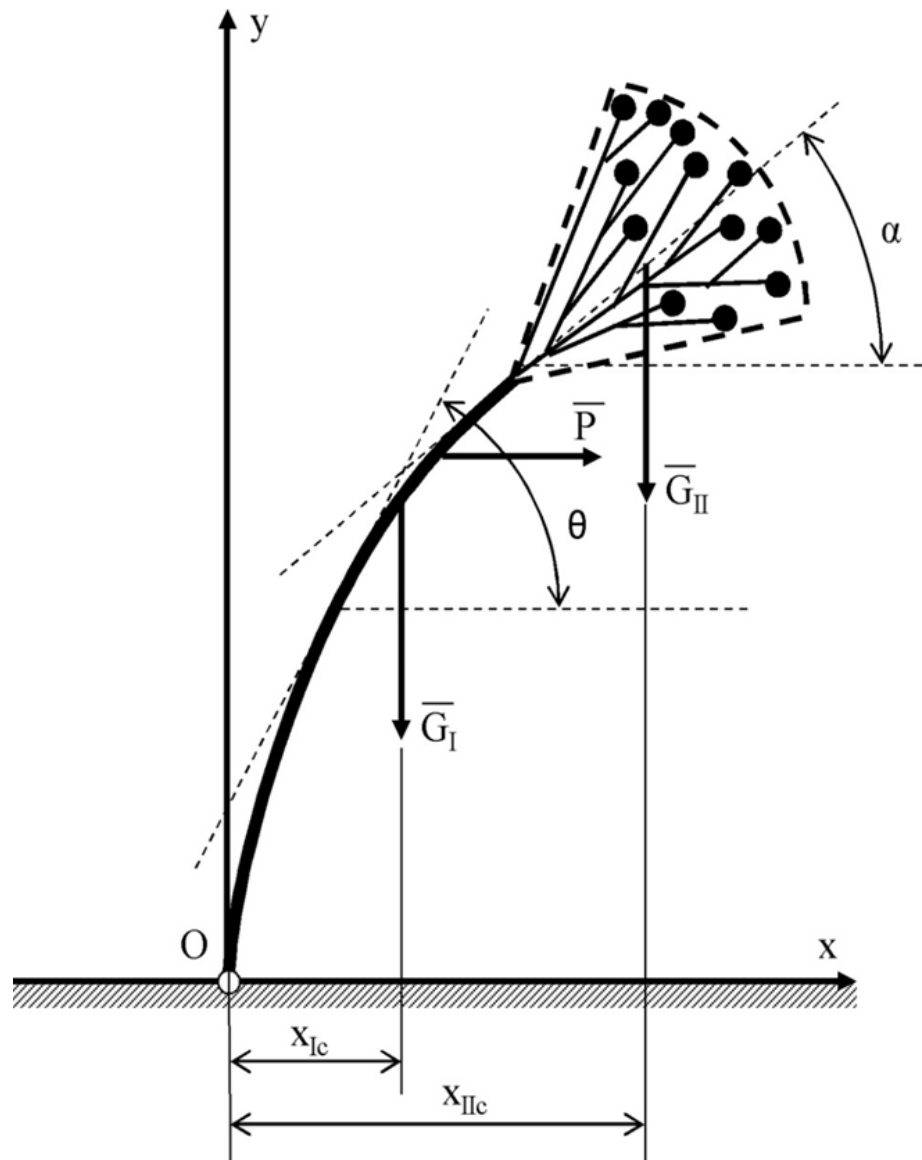


Рисунок 2.2 – Схема сил, що діють на рослину льону олійного

Помножимо обидві частини рівняння (2.4) на $\frac{d\theta}{ds}$:

$$EI \frac{d^2\theta}{ds^2} \frac{d\theta}{ds} = -P \sin \theta \frac{d\theta}{ds}. \quad (2.5)$$

Перетворюючи остаточно, маємо

$$\frac{EI}{2} \frac{d}{ds} \left(\left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2 \right) = P \frac{d}{ds} (\cos \theta). \quad (2.6)$$

Інтегруючи рівняння (2.6), отримуємо

$$\frac{EI}{2} \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2 = P \cos \theta + C. \quad (2.7)$$

Враховуючи граничні умови,

$$\left. \frac{d\theta}{ds} \right|_{\theta=\alpha} = 0, \quad (2.8)$$

отримуємо значення константи інтегрування

$$C = -P \cos \alpha. \quad (2.9)$$

Підставляючи (2.9) в (2.7) знаходимо

$$\frac{EI}{2} \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2 = P(\cos \theta - \cos \alpha), \quad (2.10)$$

$$\frac{d\theta}{ds} = \sqrt{\frac{2P}{EI} (\cos \theta - \cos \alpha)}, \quad (2.11)$$

$$ds = \sqrt{\frac{EI}{2P}} \frac{d\theta}{\sqrt{(\cos \theta - \cos \alpha)}}. \quad (2.12)$$

Інтегруючи (2.12) в діапазоні від 0 до α , отримуємо залежність для знаходження технічної довжини стеблової зони:

$$h_t = \sqrt{\frac{EI}{2P}} \int_0^\alpha \frac{d\theta}{\sqrt{(\cos \theta - \cos \alpha)}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{EI}{P}} \int_0^\alpha \frac{d\theta}{\sqrt{\left(\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\theta}{2} \right)}}. \quad (2.13)$$

Покладемо $\sin \frac{\alpha}{2} = p$. Тоді, приймаючи до уваги, що $\sin \frac{\theta}{2} < \sin \frac{\alpha}{2}$, можна ввести нову змінну φ , поклавши $\sin \frac{\theta}{2} = p \sin \varphi$. При зміні s від 0 до h_t значення θ

змінюється від $\frac{\pi}{2}$ до α , отже, φ змінюватиметься від $\frac{\pi}{2}$ до 0. Вставляючи в вираз

(2.13) замість θ нову змінну φ отримуємо:

$$h_t = \sqrt{\frac{EI}{P}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{(1 - p \sin^2 \varphi)}}. \quad (2.14)$$

Якщо покласти $p = \sin \frac{\alpha}{2} = 0$, то інтеграл у формулі (2.14) отримає значення $\frac{\pi}{2}$, і ми з цієї формули знайдемо значення P :

$$P = \frac{\pi^2 EI}{4h_t^2}. \quad (2.15)$$

Окрім цього, згідно із взаємозв'язком координат з відстанню ds отримуємо інтеграл, який вирішуємо з використанням програмного пакету Wolfram Mathematica (Додаток А):

$$\begin{aligned} \begin{cases} dy = \sin \theta ds, \\ dx = \cos \theta ds, \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} dy = \sqrt{\frac{EI}{2P}} \frac{\sin \theta d\theta}{\sqrt{(\cos \theta - \cos \alpha)}}, \\ dx = \sqrt{\frac{EI}{2P}} \frac{\cos \theta d\theta}{\sqrt{(\cos \theta - \cos \alpha)}}, \end{cases} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \begin{cases} y = \sqrt{\frac{EI}{2P}} \int_0^\alpha \frac{\sin \theta d\theta}{\sqrt{(\cos \theta - \cos \alpha)}}, \\ x = \sqrt{\frac{EI}{2P}} \int_0^\alpha \frac{\cos \theta d\theta}{\sqrt{(\cos \theta - \cos \alpha)}}, \end{cases} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \begin{cases} y = 2\sqrt{\frac{EI}{2P}}(1 - \cos \alpha), \\ x = 2\sqrt{\frac{EI}{2P}} \frac{(1 - \cos \alpha) F_2\left(\frac{\alpha}{2}, \cos ec^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right) + \cos \alpha F_1\left(\frac{\alpha}{2}, \cos ec^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)}{\sqrt{(1 - \cos \alpha)}}, \end{cases} \end{aligned} \quad (2.16)$$

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

інтеграл Лежандра 2-го роду [141];

$F_1\left(\frac{\alpha}{2}, \cos ec^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right) = \int_0^{\frac{\alpha}{2}} \frac{d\beta}{\sqrt{1 - \cos ec^4\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \sin \beta}$ – нормальний еліптичний

інтеграл Лежандра 1-го роду.

Підставляючи (2.15) в (2.16), остаточно маємо вирази для розрахунку координат кінцевої точки стеблової зони:

$$\begin{cases} y_{\kappa l} = \frac{2\sqrt{2}h_t}{\pi} \sqrt{(1 - \cos \alpha)}, \\ x_{\kappa l} = \frac{2\sqrt{2}h_t}{\pi} \frac{(1 - \cos \alpha) F_2\left(\frac{\alpha}{2}, \cos ec^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right) + \cos \alpha F_1\left(\frac{\alpha}{2}, \cos ec^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)}{\sqrt{(1 - \cos \alpha)}}. \end{cases} \quad (2.17)$$

Підставляючи в систему рівнянь (2.17) біометричні параметри рослини льону олійного, а саме його технічну висоту $h_t = 0,3-0,4$ м, і враховуючи густоту стояння рослин $N = 60-80$ шт/м на 1 м, отримуємо графічну інтерпретацію процесу їх згинання під дією обтікача жнивarki (рис. 2.3–2.4).

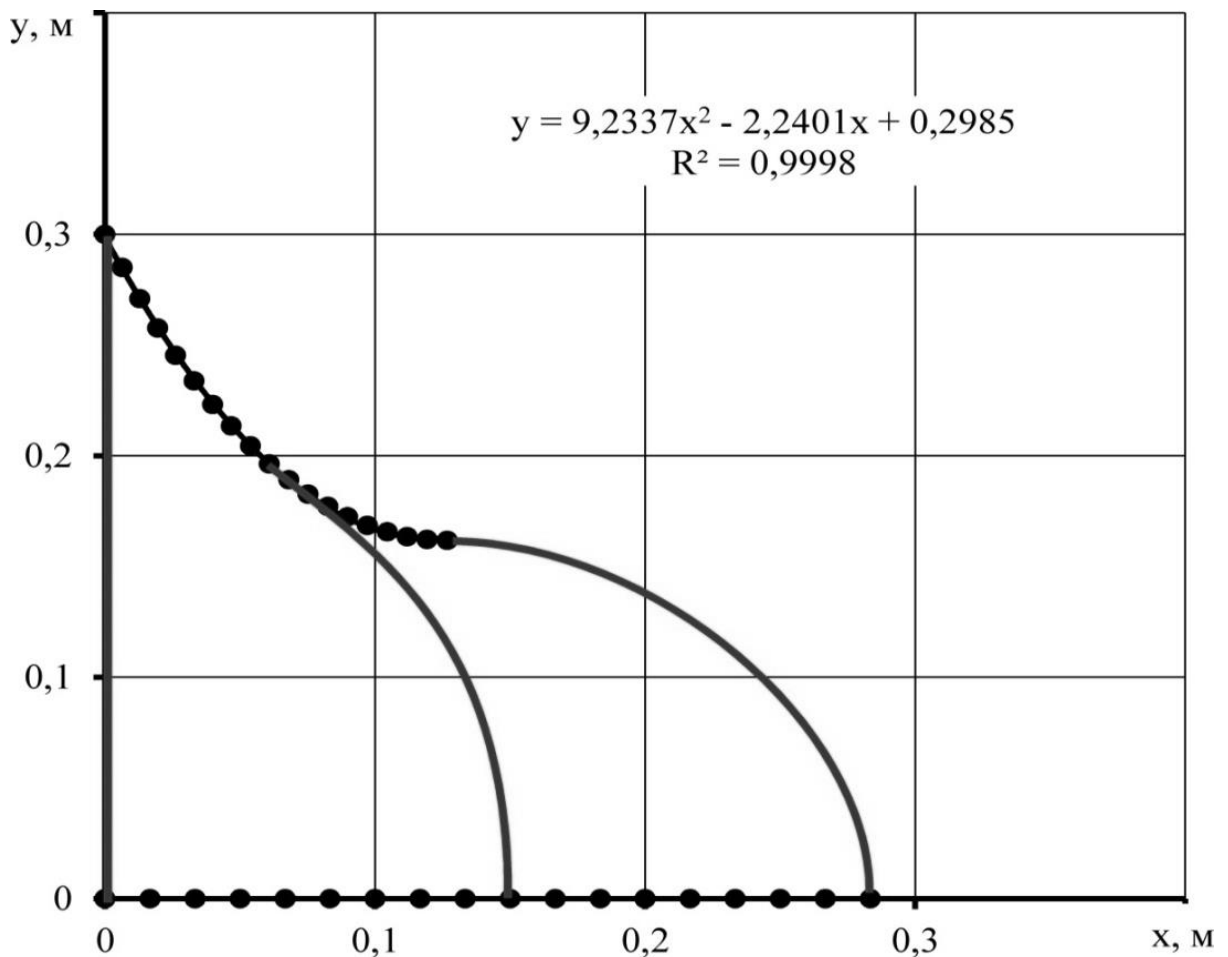


Рисунок 2.3 Вигин стебла рослини льону олійного під дією обтікача жнивarki при $h_t = 0,3$ м і $N = 60$ шт/м

Як видно з рис. 2.3–2.4 верхня крива описує раціональну форму обтікача жниварки із високим коефіцієнтом кореляції $R = 0,99$, рівняння якого можна представити у вигляді полінома другого ступеня:

$$y = ax^2 + by + c, \quad (2.18)$$

де a, b, c – коефіцієнти рівняння.

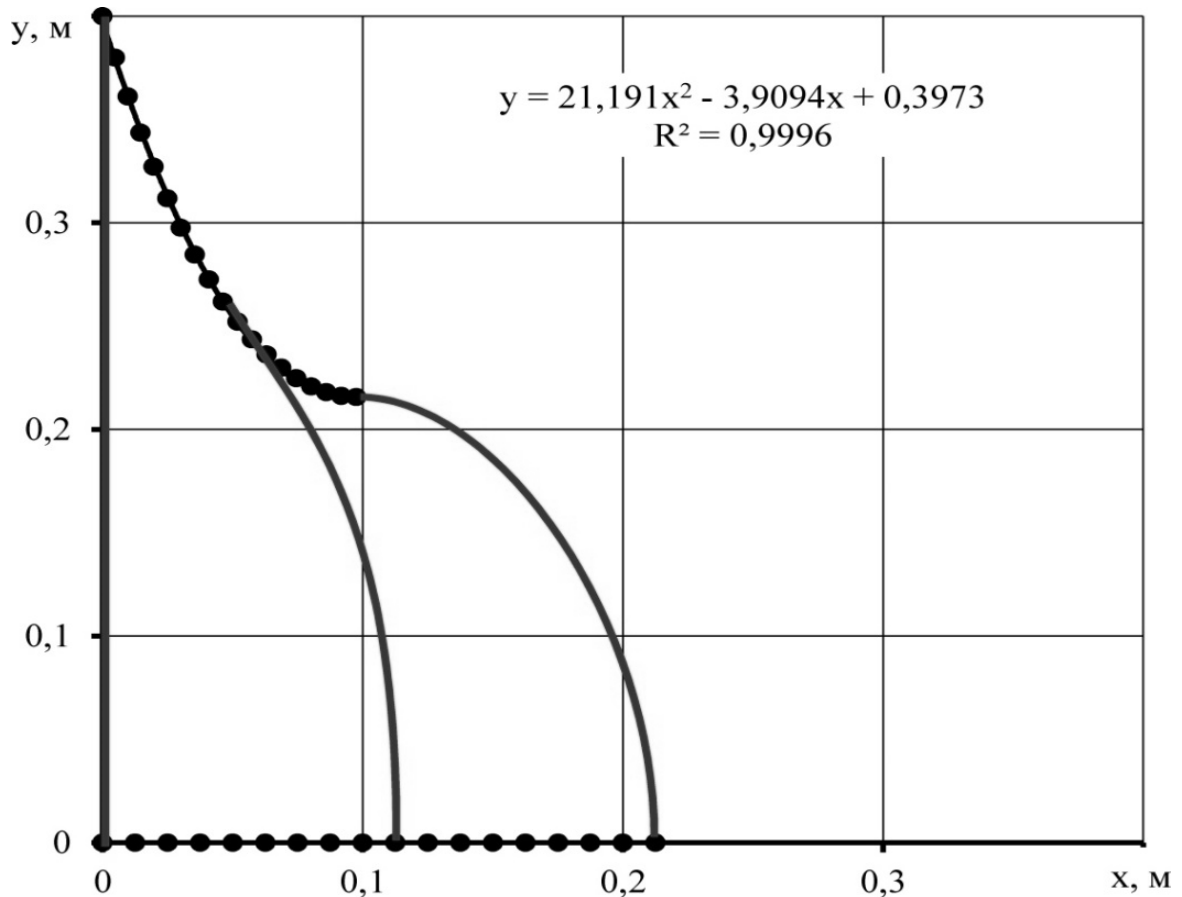


Рисунок 2.4 – Вигин стебла рослини льону олійного під дією обтікача жниварки при $h_t = 0,4$ м і $N = 80$ шт/м

З використанням програмного пакету Wolfram Mathematica (Додаток Б) встановлені залежності коефіцієнтів рівняння (2.18) від технічної висоти рослини h_t і густоти стояння рослин n :

$$a = -27,1478 + 80,611 h_t + 0,195972 N ; \quad (2.19)$$

$$b = 2,80374 - 12,6827 h_t - 0,0201917 N ; \quad (2.20)$$

$$c = -0,00199444 + 0,991333 h_t - 0,000015 N . \quad (2.21)$$

Узагальнюючи (2.18)–(2.21), остаточно маємо рівняння раціональної форми обтікача жнивarki у декартовій системі координат:

$$y = (-27,1478 + 80,611 h_t + 0,195972 N)x^2 + (2,80374 + 12,6827 h_t - 0,0201917 N)x - 0,00199444 + 0,991333 h_t - 0,000015 N. \quad (2.22)$$

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

2.2 Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обчісувального барабана

Розглянемо процес коливання рослини льону олійного після його взаємодії з обтікачем жнивarki обчісувального типу при виконанні технологічного процесу. В початковий момент часу стебло рослини відхилено від положення рівноваги згідно з системою рівнянь (2.17).

Будемо припускати, що коливання відбуваються в одній з головних площин стебла рослини льону олійного. В такому випадку матимемо справу з плоским вигином. Площину вигину приймемо за координатну площину xOy . При складанні диференціального рівняння руху будемо виходити з припущення, що поперечні розміри стебла малі в порівнянні з його довжиною. У такому випадку при вивченні перших (найбільш низьких) типів коливань можна користуватися наближеним рівнянням для зігнутої осі:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M, \quad (2.23)$$

звідки подвійним диференціюванням отримуємо:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = q, \quad (2.24)$$

де q – інтенсивність суцільного навантаження, Н/м.

Стебло рослини виконує затухаючі коливання, тому при складанні рівняння його руху необхідно взяти до уваги сили інерції і сили опору повітря:

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{1}{h_t} \left(-m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \eta \frac{\partial y}{\partial t} - P - G_I - G_{II} \right) = \\
 &= -\frac{G_I + G_{II}}{gh_t} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \frac{\eta}{h_t} \frac{\partial y}{\partial t} - \frac{\pi^2 EI}{4h_t^3} - \frac{G_I + G_{II}}{h_t} = \\
 &= -\frac{m}{h_t} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \frac{\eta}{h_t} \frac{\partial y}{\partial t} - \frac{\pi^2 EI}{4h_t^3} - \frac{mg}{h_t},
 \end{aligned} \tag{2.25}$$

де h_t – довжина стебла, м;

m – маса рослини, кг;

η – коефіцієнт опору повітря, Н·с/м;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Прирівнюючи (2.24) і (2.25), отримуємо диференціальне рівняння в часткових похідних:

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{m}{h_t EI} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{\eta}{h_t EI} \frac{\partial y}{\partial t} + \left(\frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) = 0. \tag{2.26}$$

Приймаючи до уваги початкові і граничні умови згідно з рисунком 2.5.

$$\begin{cases}
 y(x_1, 0) = 0, \\
 \frac{\partial}{\partial t} y(x_1, 0) = 0, \\
 y(x_s, 0) = y_s, \\
 \frac{\partial}{\partial x} y(x_s, 0) = 0,
 \end{cases} \tag{2.27}$$

рішення рівняння (2.26) представимо у вигляді ряду Фур'є:

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} T_i(t) \cdot \left(K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right), \tag{2.28}$$

де $T_i(t)$ – бажана функція часу;

K_1, K_2 – сталі інтегрування;

i – натуральне число.

$$f_n(t) = \frac{2}{h_t} \int_0^{h_t} \left(\frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) \left(K_1 \sin\left(\frac{\pi s}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi s}{h_t}\right) \right) ds = \frac{2}{h_t} \left(\frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) \times$$

$$\times \frac{h_t}{\pi i} \left(-K_1 \cos\left(\frac{\pi s}{h_t}\right) + K_2 \sin\left(\frac{\pi s}{h_t}\right) \right) \Big|_0^{h_t} = \frac{2K_1}{\pi i} \left(\frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) (1 - (-1)^i),$$

і підставивши отримані вирази у рівняння (2.26) отримуємо:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{\infty} T_i(t) \frac{\pi^4 i^4}{h_t^4} \cdot \left(K_1 \sin\left(\frac{\pi x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi x}{h_t}\right) \right) + \\ & + \frac{m}{h_t EI} \sum_{i=1}^{\infty} \ddot{T}_i(t) \cdot \left(K_1 \sin\left(\frac{\pi x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi x}{h_t}\right) \right) + \\ & + \frac{\eta}{h_t EI} \sum_{i=1}^{\infty} \dot{T}_i(t) \cdot \left(K_1 \sin\left(\frac{\pi x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi x}{h_t}\right) \right) + \\ & + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2K_1}{\pi i} \left(\frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) (1 - (-1)^i) \cdot \left(K_1 \sin\left(\frac{\pi x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi x}{h_t}\right) \right) = 0 \end{aligned} \quad (2.31)$$

Звідки після скорочення і перетворення отримаємо звичайне диференціальне рівняння другого порядку:

$$\begin{aligned} & \frac{m}{h_t EI} \ddot{T}_i(t) + \frac{\eta}{h_t EI} \dot{T}_i(t) + \frac{\pi^4 i^4}{h_t^4} T_i(t) + \\ & + \frac{2K_1}{\pi i} \left(\frac{\pi^2}{4h_t^3} + \frac{mg}{h_t EI} \right) (1 - (-1)^i) = 0, \end{aligned} \quad (2.32)$$

$$\ddot{T}_i(t) + \frac{\eta}{m} \dot{T}_i(t) + \frac{\pi^4 i^4 EI}{mh_t^3} T_i(t) + \frac{2K_1}{\pi i} \left(\frac{\pi^2 EI}{4mh_t^2} + g \right) (1 - (-1)^i) = 0. \quad (2.33)$$

Як відомо з [109], рішенням рівняння:

$$\ddot{T}_i(t) + A\dot{T}_i(t) + BT_i(t) + C = 0, \quad (2.34)$$

є складна експоненціальна функція:

$$T_i(t) = -\frac{C}{B} + D_1 \cdot e^{\frac{1}{2}(-A - \sqrt{A^2 - 4B})t} + D_2 \cdot e^{\frac{1}{2}(-A + \sqrt{A^2 - 4B})t}, \quad (2.35)$$

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

Тоді у загальному випадку функція зміни кривизни стебла рослини льону олійного під час його коливання має вигляд:

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} \left(-\frac{C}{B} + D_1 \cdot e^{\frac{1}{2}(-A-\sqrt{A^2-4B})t} + D_2 \cdot e^{\frac{1}{2}(-A+\sqrt{A^2-4B})t} \right) \times \left(K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right), \quad (2.36)$$

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

Підставляючи (2.36) у систему початкових і граничних умов (2.27), отримуємо систему рівнянь, з яких можна визначати значення констант інтегрування K_1 і K_2 :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{\infty} \left(-\frac{C}{B} + D_1 + D_2 \right) \left(K_1 \sin\left(\frac{\pi i x_1}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x_1}{h_t}\right) \right) = 0 \\ \sum_{i=1}^{\infty} \left(-\frac{C}{B} + D_1 + D_2 \right) \times \left(K_1 \sin\left(\frac{\pi i x_s}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x_s}{h_t}\right) \right) = y_s \\ \sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{D_1}{2} (-A - \sqrt{A^2 - 4B}) + \frac{D_2}{2} (-A + \sqrt{A^2 - 4B}) \right) \times \\ \times \left(K_1 \sin\left(\frac{\pi i x_1}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x_1}{h_t}\right) \right) = 0 \\ \sum_{i=1}^{\infty} \left(-\frac{C}{B} + D_1 + D_2 \right) \left(K_1 \frac{\pi i}{h_t} \cos\left(\frac{\pi i x_s}{h_t}\right) - K_2 \frac{\pi i x_s}{h_t} \sin\left(\frac{\pi i x_s}{h_t}\right) \right) = 0 \end{array} \right. \quad (2.37)$$

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

Проведемо розрахунок часу Δt_2 , який необхідний для зміщення стебла від початкового положення до максимально можливого відносно осі коливання. Для

цього будемо вирішувати рівняння $\frac{\partial y}{\partial t} = 0$:

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{D_1}{2} (-A - \sqrt{A^2 - 4B}) e^{\frac{1}{2}(-A - \sqrt{A^2 - 4B})\Delta t_2} + \frac{D_2}{2} (-A + \sqrt{A^2 - 4B}) e^{\frac{1}{2}(-A + \sqrt{A^2 - 4B})\Delta t_2} \right) \times \\
& \times \left(K_1 \sin\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) + K_2 \cos\left(\frac{\pi i x}{h_t}\right) \right) = 0 \Rightarrow \\
& \frac{D_1 \cdot (-A - \sqrt{A^2 - 4B})}{D_2 (A - \sqrt{A^2 - 4B})} = e^{\Delta t_2 \sqrt{A^2 - 4B}} \Rightarrow \\
& \Delta t_2 = \frac{1}{\sqrt{A^2 - 4B}} \ln \frac{D_1 \cdot (-A - \sqrt{A^2 - 4B})}{D_2 (A - \sqrt{A^2 - 4B})}, \tag{2.38}
\end{aligned}$$

$$A = \frac{\eta}{m}, \quad B = \frac{\pi^4 i^4 EI}{m h_t^3}, \quad C = \frac{2K_1}{\pi i} \left(\frac{\pi^2 EI}{4m h_t^2} + g \right) (1 - (-1)^i).$$

Підставляючи отримане рішення (2.38) у вираз (2.36) і вирішуючи рівняння $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$, остаточно маємо координати максимально відхиленого стебла від початкового положення:

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^{\infty} \left(-\frac{C}{B} + D_1 \cdot e^{\frac{1}{2}(-A - \sqrt{A^2 - 4B})\Delta t_2} + D_2 \cdot e^{\frac{1}{2}(-A + \sqrt{A^2 - 4B})\Delta t_2} \right) \times \\
& \times \left(\frac{K_1 \pi i}{h_t} \cos\left(\frac{\pi i x_e}{h_t}\right) + \frac{K_2 \pi i}{h_t} \sin\left(\frac{\pi i x_e}{h_t}\right) \right) = 0, \tag{2.39} \\
& y_e = y(x_e),
\end{aligned}$$

$$A = \frac{\eta}{m}, \quad B = \frac{\pi^4 i^4 EI}{m h_t^3}, \quad C = \frac{2K_1}{\pi i} \left(\frac{\pi^2 EI}{4m h_t^2} + g \right) (1 - (-1)^i).$$

У зв'язку із складністю аналітичного вирішення рівнянь (2.37) і (2.39), приймаючи відповідні значення констант з використанням програмного пакета Wolfram Mathematica, отримуємо графіки залежності часу Δt_2 , 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 (рисунки 2.6–2.8).

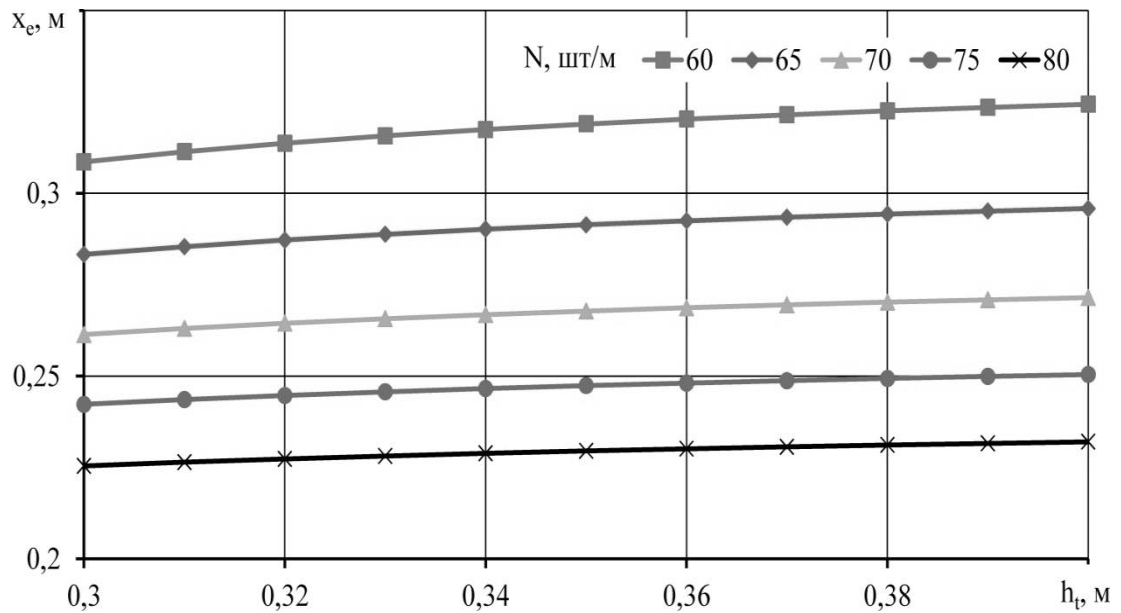


Рисунок 2.6 – Залежність значення координати верхньої частини стебла x_e від його технічної висоти h_t і густоти стояння рослин N

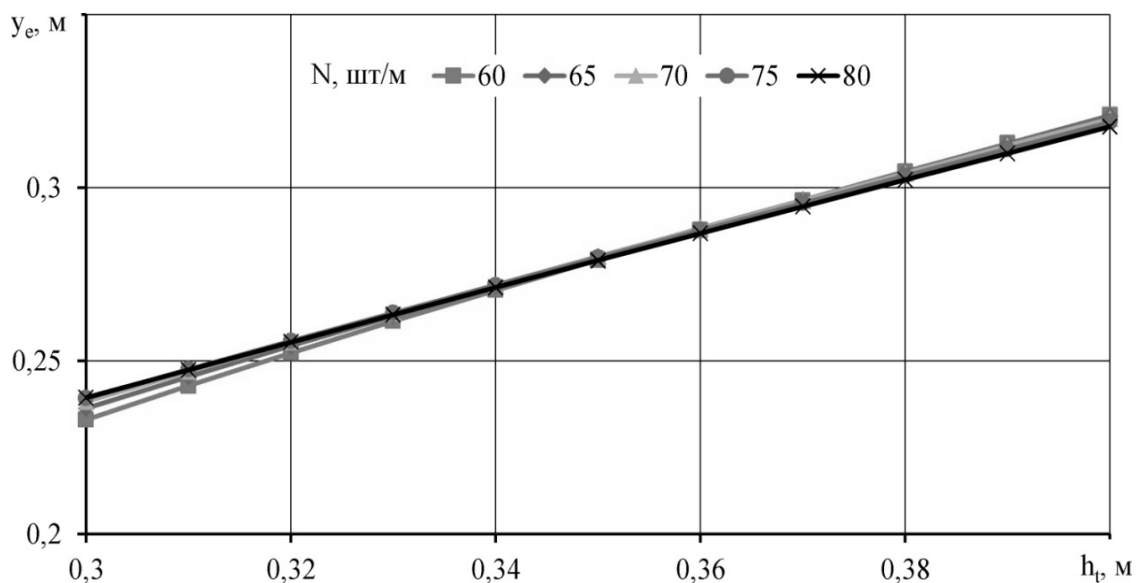


Рисунок 2.7 – Залежність значення координати верхньої частини стебла y_e від його технічної висоти h_t і густоти стояння рослин N

Аналіз графіків на рисунках 2.6–2.8 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 відповідно. Приймаючи середні значення $x_e = 0,27$ м і $y_e = 0,28$ м згідно з рисунком 2.5 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 центру $y_c = y_e = 0,28$ м і $x_c = x_e + R_m = 0,52$ м.

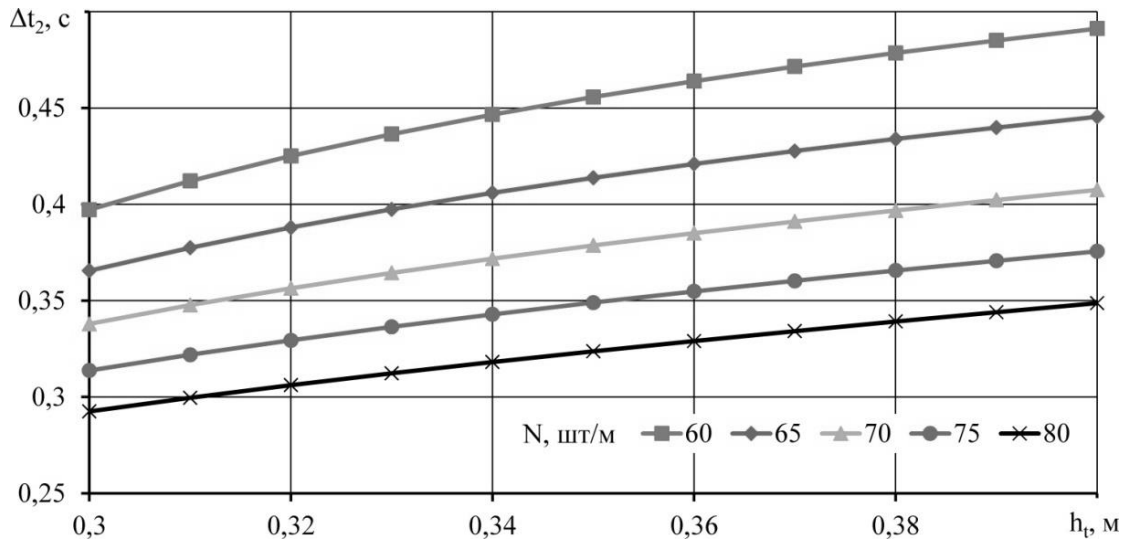


Рисунок 2.8 – Залежність значення часу Δt_2 від його технічної висоти h_t і густоти стояння рослин N

Розглянемо процес переміщення точки, яка знаходиться на радіусі R_{in} обчисувального барабана (рисунок 2.9).

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

$$\begin{cases} x = x_c - V_c t - R_{in} \cos \omega_2 t, \\ y = y_c + R_{in} \sin \omega_2 t, \end{cases} \quad (2.40)$$

де V_c – лінійна швидкість центру обчисувального барабана (комбайна), м/с;

ω_2 – кутова швидкість обертання обчисувального барабана, рад/с:

$$\omega_2 = \frac{\pi n_2}{30}, \quad (2.41)$$

де n_2 – частота обертання обчисувального барабана, об/хв.

Згідно з рисунком 2.5 між обчисуванням рослин проходить час Δt_1 , який характеризується відстанню між рослинами і лінійною швидкістю центру обчисувального барабана:

$$\Delta t_1 = \frac{1}{N \cdot V_c}, \quad (2.42)$$

і час Δt_2 , який є вже визначеним (2.38) і характеризує час згинання стебла рослини в результаті його коливання:

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = \frac{1}{N \cdot V_c} + \frac{1}{\sqrt{A^2 - 4B}} \ln \frac{D_1 \cdot (-A - \sqrt{A^2 - 4B})}{D_2 (A - \sqrt{A^2 - 4B})}, \quad (2.43)$$

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

За час Δt обчислювача гребінка повертається на кут (рад):

$$\beta = \Delta t \cdot \omega_2 = \frac{\pi n_2}{30} \left(\frac{1}{N \cdot V_c} + \frac{1}{\sqrt{A^2 - 4B}} \ln \frac{D_1 \cdot (-A - \sqrt{A^2 - 4B})}{D_2 (A - \sqrt{A^2 - 4B})} \right), \quad (2.44)$$

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

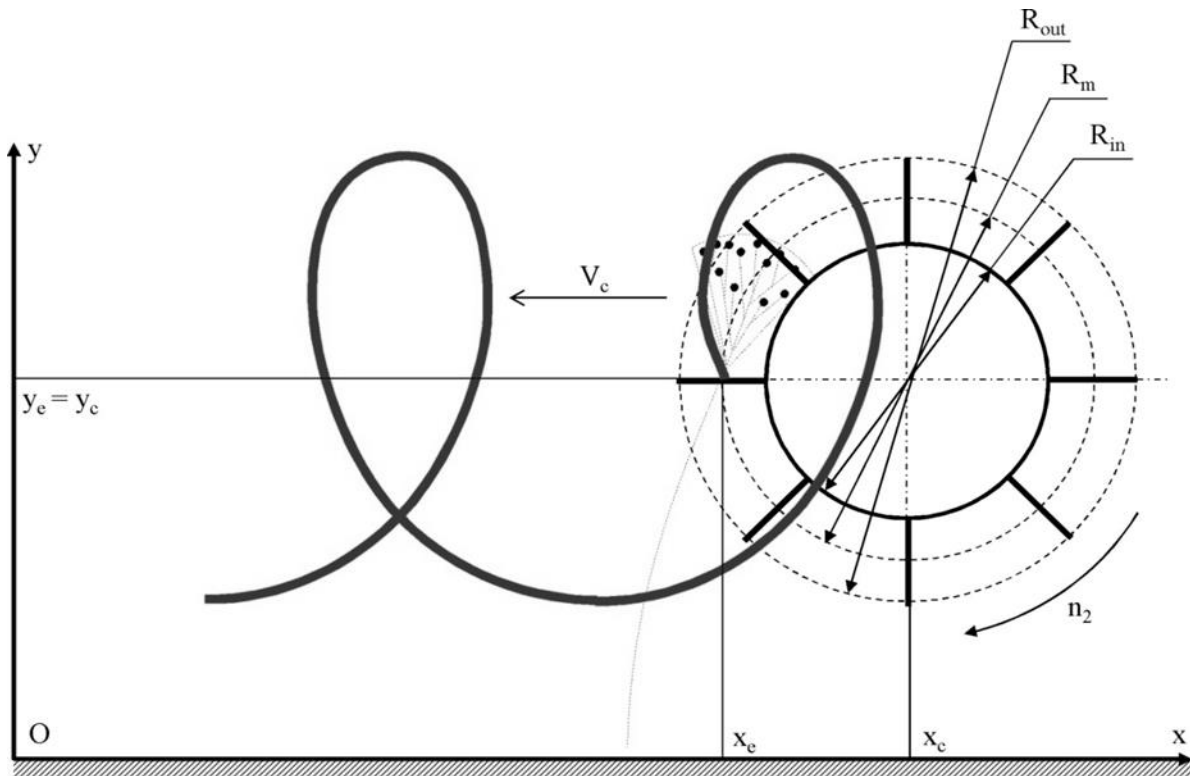


Рисунок 2.9 – Розрахункова схема процесу переміщення обчисувального барабана

Графічна інтерпретація залежності (2.44) представлена на рисунку 2.10.

Кількість обчисувальних гребінок на барабані можна визначити за наступною формулою:

$$j = \frac{360}{\beta}. \quad (2.45)$$

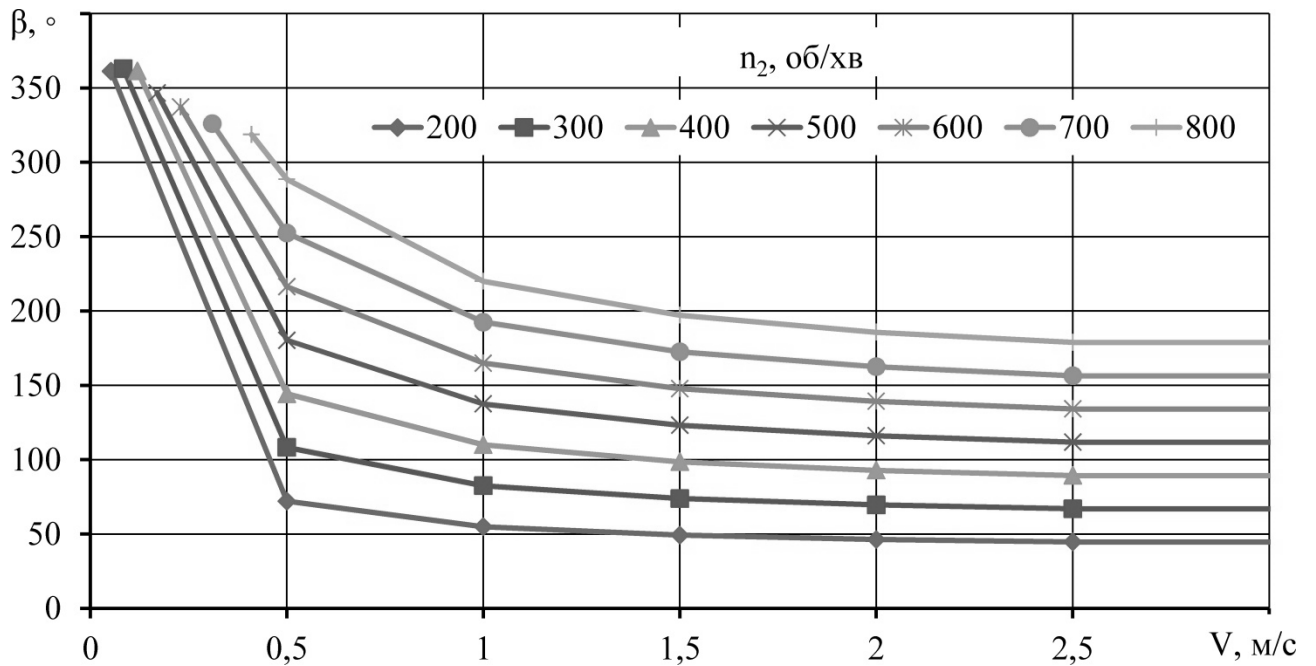


Рисунок 2.10 – Залежність кута повертання обчисувальної гребінки β від частоти обертання обчисувального барабана n_2 і його лінійної швидкості V_c

На рисунку 2.11 зображено залежність кількості обчисувальних гребінок на барабані від кінематичного коефіцієнту, який визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{\omega_2}{V_c} = \frac{\pi n_2 R_{in}}{30 V_c}. \quad (2.46)$$

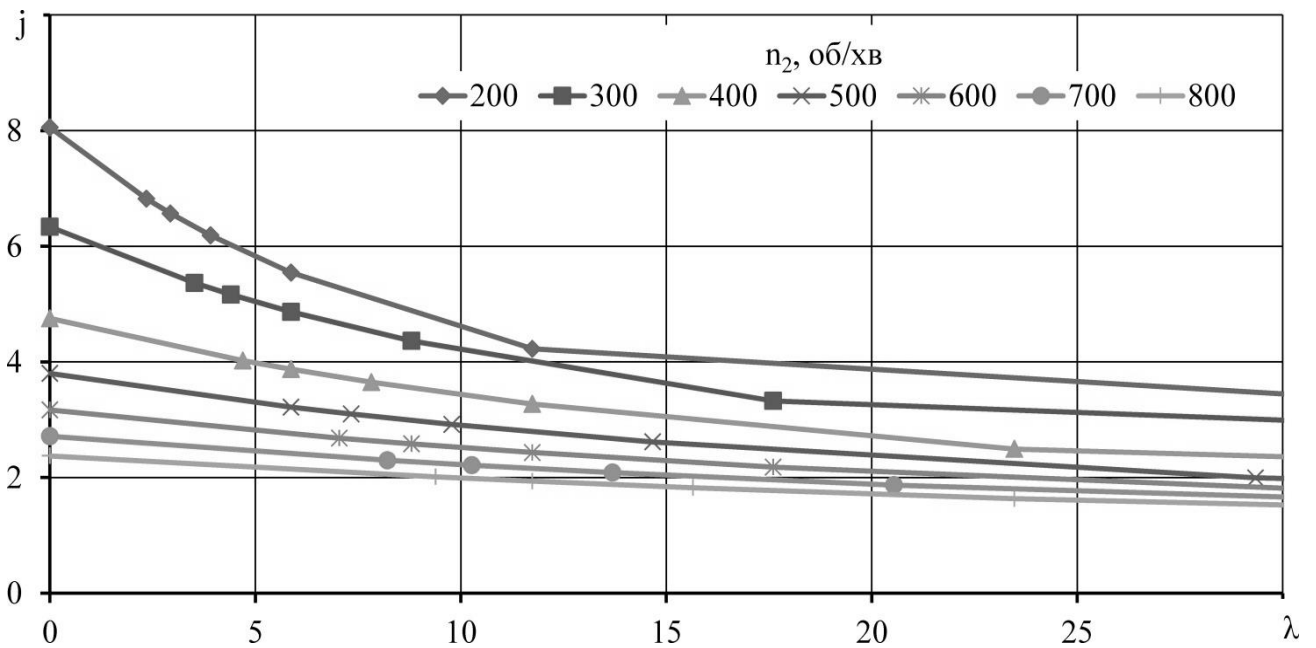


Рисунок 2.11 – Залежність кількості обчисувальних гребінок j на барабані від кінематичного коефіцієнту λ

На основі рисунків 2.10–2.11 можна стверджувати, що найбільша кількість обчисувальних гребінок в заданому діапазоні варіювання режимними параметрами обчисувального барабана складає $j = 8$ шт.

В результаті теоретичних досліджень процесу взаємодії рослини льону олійного з обчисувальним барабаном на основі теорії коливань отримано динамічну функцію зміни кривизни її стебла і встановлено конструктивні параметри барабана, а саме 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 обчисуючих гребінок $j = 8$ шт.

2.3 Дослідження режимних параметрів обчисувального барабана

В процесі виконання технологічної операції обчисування рослини льону олійного, на обчисувальній гребінці з'являються окремі незв'язані частинки, які складають ворох: насіння, коробочки із насінням, лушпиння коробочок, часточки стебла і пил.

Тому розглянемо динаміку взаємодії вищезгаданих частинок із обчисувальною гребінкою. Для цього складемо розрахункову схему (рисунок 2.12).

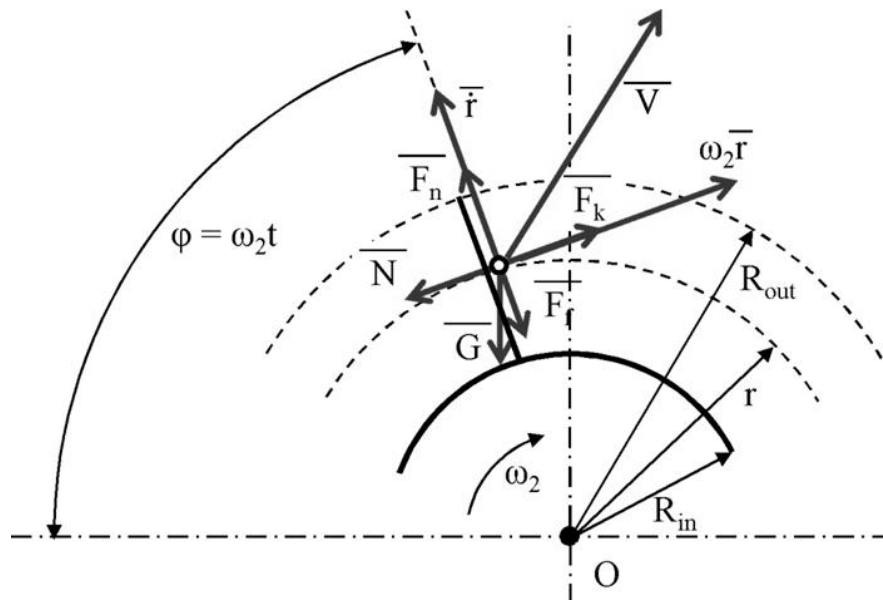


Рисунок 2.12 – Взаємодія частинки з обчисувальною гребінкою

Диференціальне рівняння руху частинки по поверхні обчисувальної гребінки в загальному вигляді має вид [45]:

$$m_p \ddot{r} = F_i, \quad (2.47)$$

де \ddot{r} – координата частинки на гребінці, м.

На частинку діють наступні сили:

1) Сила тяжіння:

$$G = m_p g, \quad (2.48)$$

де m_p – маса частинки, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Проекція цієї сили на гребінку:

$$G_n = m_p g \sin(\varphi + \varphi_0), \quad (2.49)$$

де φ – поточний кут повороту гребінки, рад;

φ_0 – початковий кут нахилу гребінки, рад.

2) Відцентрова сила:

$$F_n = m_p \omega_2^2 r, \quad (2.50)$$

де ω_2 – кутова швидкість обчисувального барабана, рад/с;

3) сила Коріоліса:

$$F_k = 2m_p \omega_2 \dot{r}, \quad (2.51)$$

де \dot{r} – відносна швидкість частинки м/с;

4) сила тертя:

$$F_f = fN, \quad (2.52)$$

де f – коефіцієнт тертя частинки об гребінку;

N – нормальна реакція поверхні лопаті, Н;

$$N = F_k + G \cos(\varphi + \varphi_0). \quad (2.53)$$

Підставивши в (2.53) вирази (2.51) і (2.49), а отриманий результат в (2.52), маємо:

$$F_f = f(2m_p \omega_2 \dot{r} + m_p g \cos(\varphi + \varphi_0)). \quad (2.54)$$

Підставивши вирази сил з (2.49), (2.60) і (2.53) в (2.47), замінивши φ на $\omega_2 t$, після перетворень отримаємо диференціальне рівняння руху частинки по

поверхні гребінки:

$$\ddot{r} + 2f\omega_2\dot{r} - \omega_2^2 r = -g(\sin(\omega_2 t + \varphi_0) + f \cos(\omega_2 t + \varphi_0)). \quad (2.55)$$

Загальне рішення цього рівняння:

$$r = (C_1 + C_2 e^{2\omega_2 t \sqrt{1+f^2}}) e^{-\omega_2 t (f + \sqrt{1+f^2})} + \frac{g}{\omega_2^2} \frac{f \cos(\omega_2 t + \varphi_0) + \frac{1}{2}(1-f^2) \sin(\omega_2 t + \varphi_0)}{(1+f^2)}. \quad (2.56)$$

Узявши похідну за часом від останнього виразу, визначаємо швидкість руху частинки по гребінці:

$$\dot{r} = \omega_2 ((C_2 e^{2\omega_2 t \sqrt{1+f^2}} - C_1) \sqrt{1+f^2} - (C_1 + C_2 e^{2\omega_2 t \sqrt{1+f^2}}) f) e^{-\omega_2 t (f + \sqrt{1+f^2})} + \frac{g}{\omega_2} \frac{f \sin(\omega_2 t + \varphi_0) - \frac{1}{2}(1-f^2) \cos(\omega_2 t + \varphi_0)}{(1+f^2)}. \quad (2.57)$$

Початковими умовами (при $t = 0$) будуть:

$$\xi_0 = R_{in}; \quad \xi'_0 = 0. \quad (2.58)$$

Використовуючи початкові умови, визначаємо сталі інтегрування:

$$C_1 = \frac{1}{2\sqrt{1+f^2}} \left[\left(R_{in} - \frac{g}{\omega_2^2} \frac{f \cos \varphi_0 + \frac{1}{2}(1-f^2) \sin \varphi_0}{1+f^2} \right) (\sqrt{1+f^2} - f) - \frac{g}{\omega_2^2} \frac{f \sin \varphi_0 - \frac{1}{2}(1-f^2) \cos \varphi_0}{1+f^2} \right]; \quad (2.59)$$

$$C_2 = \frac{1}{4(1+f^2)} \left[2R_{in} (f\sqrt{1+f^2} + f^2 + 1) - \frac{g}{\omega_2^2} \left((\sqrt{1+f^2} + 2f) \cos \varphi_0 - (f\sqrt{1+f^2} + f^2 - 1) \sin \varphi_0 \right) \right]. \quad (2.60)$$

Як видно з рис. 2.12, загальну швидкість частинки можна визначити за формулою:

$$V = \sqrt{\dot{r}^2 + (\omega_2 r)^2}, \quad (2.61)$$

при цьому кут її нахилу до горизонтальної осі складає:

$$\delta = \frac{\pi}{2} - \omega_2 t + \operatorname{arctg} \frac{\dot{r}}{\omega_2 r}. \quad (2.62)$$

Час вильоту частинки з області обчисувального барабана знайдемо з рівняння $r = R_{out}$ (при цьому початковий кут згідно з рис. 2.5 складає $\varphi_0 = 0$):

$$R_{out} = (C_1 + C_2 e^{2\omega_2 t \sqrt{1+f^2}}) e^{-\omega_2 t (f + \sqrt{1+f^2})} + \frac{g}{\omega_2^2} \frac{f \cos \omega_2 t + \frac{1}{2}(1-f^2) \sin \omega_2 t}{(1+f^2)},$$

$$C_1 = \frac{1}{2\sqrt{1+f^2}} \left[\left(R_{in} - \frac{g}{\omega_2^2} \frac{f}{1+f^2} \right) (\sqrt{1+f^2} - f) + \frac{g}{2\omega_2^2} \frac{(1-f^2)}{1+f^2} \right], \quad (2.63)$$

$$C_2 = \frac{1}{4(1+f^2)} \left[2R_{in} (f\sqrt{1+f^2} + f^2 + 1) - \frac{g}{\omega_2^2} (\sqrt{1+f^2} + 2f) \right].$$

Вирішуючи спільно рівняння (2.41), (2.63), (2.61), (2.62), (2.56), (2.57) з використання програмного пакета Wolfram Mathematica (Додаток В), отримуємо залежність загальної швидкості частинки від частоти обертання обчисувального барабана (рисунок 2.13).

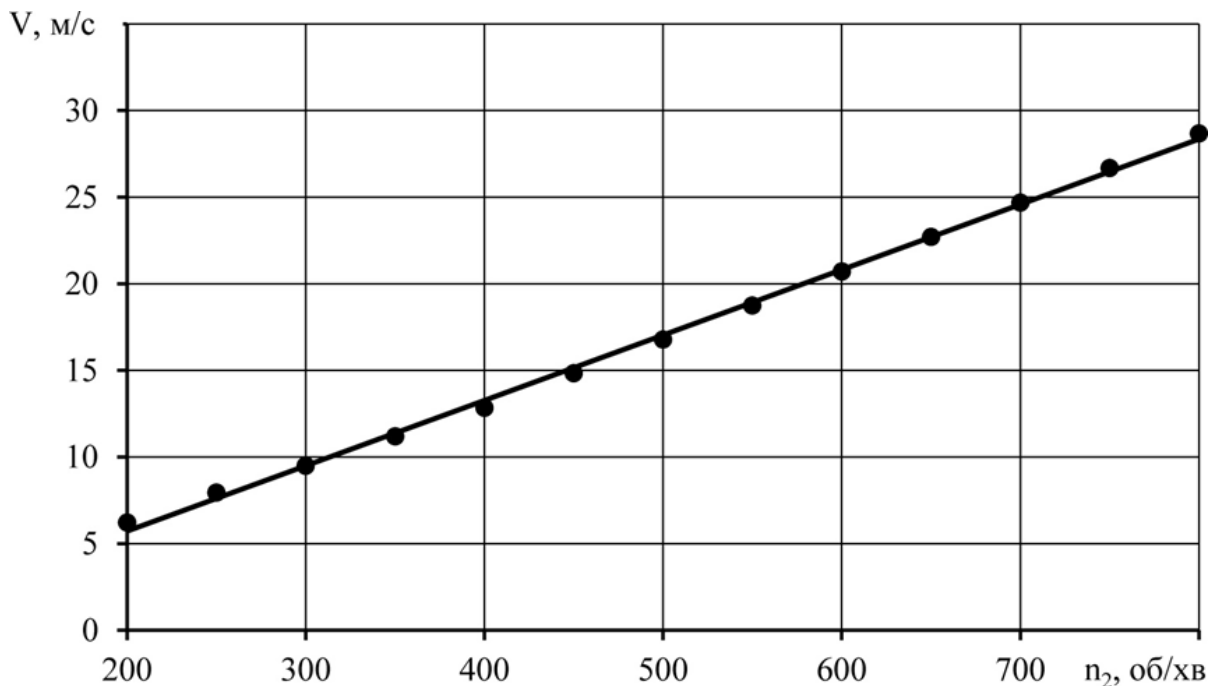


Рисунок 2.13 – Залежність загальної швидкості частинки V від частоти обертання обчисувального барабана n_2

В результаті теоретичних досліджень процесу взаємодії незв'язаних частинок вороху льону олійного з гребінкою обчісувального барабана жнивarki на основі законів динаміки, вирішено диференціальне рівняння їх руху по поверхні гребінки та отримано залежність їх загальної швидкості V від частоти обертання обчісувального барабана n_2 .

2.4 Чисельне моделювання аеродинамічних процесів жнивarki обчісувального типу

Визначення швидкісного режиму переміщення повітря в області жнивarki обчісувального типу дозволить в подальшому обґрунтувати геометричну форму кожуха жатки, розмір і розміщення повітряної сітки в залежності від режимних параметрів обчісувального барабана і бітера-відбивача.

Для визначення векторного поля швидкостей в області жнивarki обчісувального типу розглянемо процес руху повітря для плоскої задачі чисельного моделювання в координатах XOY . Розрахункова схема жнивarki обчісувального типу представлена на рисунку 2.14.

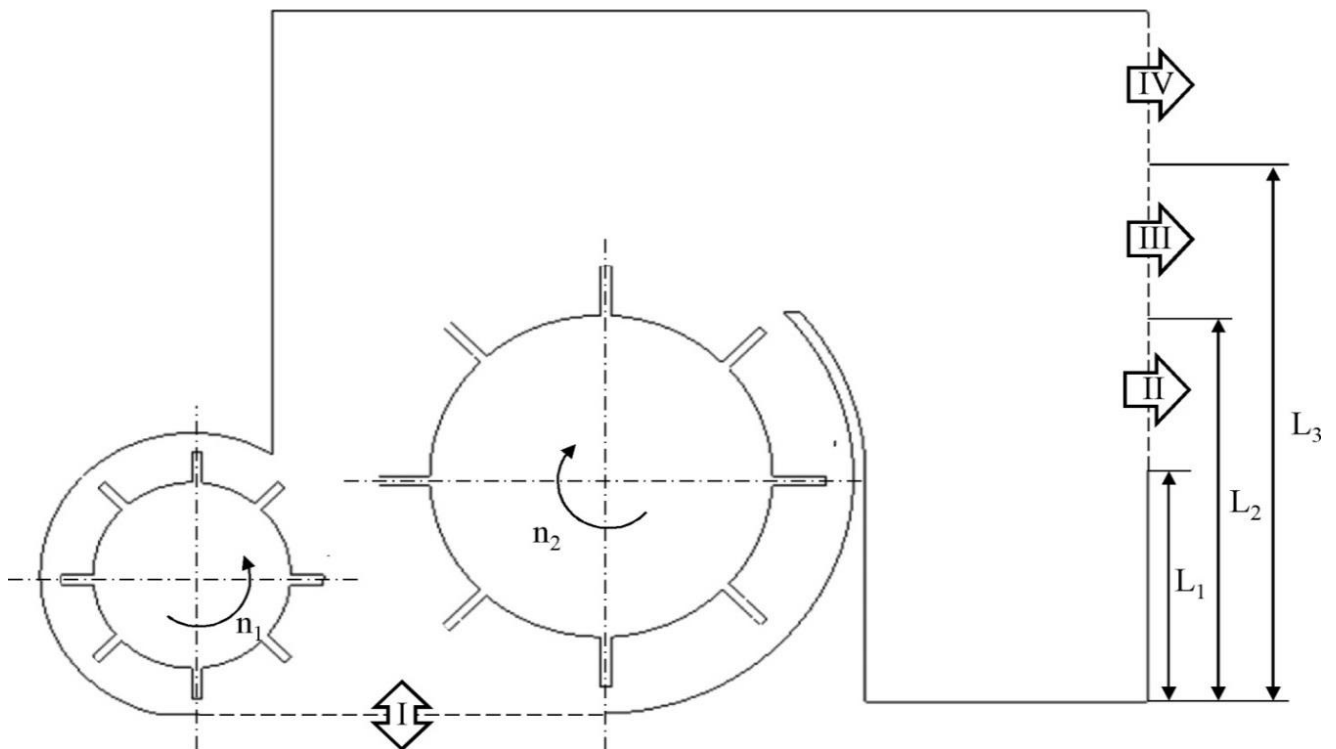


Рисунок 2.14 – Розрахункова схема жнивarki обчісувального типу

Розрахунок режимів течії в області жнивварки обчисувального типу при наступних граничних умовах:

1. Границі представляють собою жорсткі стінки, які не проникні для потоку повітря. При цьому швидкість повітря на їх поверхні дорівнює 0 м/с.
2. Зона границі I є прозорою із заданим постійним атмосферним тиском.
3. Зони границь II–IV можуть бути прозорими із заданим постійним атмосферним тиском або жорсткими стінками в залежності від досліджуваного варіанту чисельного досліду.

Бітер-відбивач обертається проти годинникової стрілки з частотою n_1 , а обчисувальний барабан із частотою обертання n_2 .

Дослідження течії повітря проводилося з використанням програмного пакету STAR-CCM+, який реалізовано на основі методу кінцевих елементів [141]. При цьому використовувалися адаптивні регулярні розрахункові сітки із змінним розміром комірки. Базовий розмір комірки прийнятий 0,001 м. В якості моделі сітки було обрано генератор призматичного шару, генератор багатограничних комірок та генератор поверхневої сітки. Через те, що результати чисельного моделювання течії реального газу Ван-дер-Ваальса (повітря) істотно залежать від використовуваної моделі турбулентності, вибору розрахункової сітки, числа її вузлів, граничних умов і обчислювального алгоритму, було проведено верифікацію, яка забезпечила збіжність результатів. В якості фізичних моделей для чисельного моделювання були обрані наступні: $k-\varepsilon$ модель турбулентності сполученої течії, поле сили тяжіння, модель реального газу Ван-дер-Ваальса, осереднене по Рейнольдсу рівняння Нов'є-Стокса [135, 154].

Для чисельного моделювання процесу переміщення повітря в області жнивварки обчисувального типу були прийняті вже знайдені конструктивно-технологічні параметри в підрозділах 2.1–2.3.

За фактори чисельного моделювання були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри: частота обертання бітера-відбивача n_1 , частота обертання обчисувального барабана n_2 і положення прозорої зони границь L (межі варіювання представлені в таблиці 2.2).

Таблиця 2.2 – Рівні варіацій факторами чисельного моделювання

Рівні варіацій факторів	Фактори		
	Частота обертання бітера-відбивача n_1 , об/хв	Частота обертання обчисувального барабана n_2 , об/хв	Положення прозорої зони границі L , м
Верхній рівень (+)	800	800	0,35
Основний рівень (0)	600	600	0,60
Нижній рівень (-)	400	400	0,85
Інтервал варіацій факторів	200	200	0,25

Чисельне моделювання було проведено за повним факторним дослідом із загальною їх кількістю – $3^3 = 27$.

В результаті моделювання було отримано візуалізацію розподілу швидкостей потоку повітря в області жнивварки обчисувального типу (рис. 2.15).

Для кожного варіанту чисельного дослідження було розраховано максимальну швидкість повітря та з використанням програмного пакету Wolfram Mathematica (Додаток Г) проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено залежність від факторів досліджень у закодованому вигляді:

$$\begin{aligned}
 V_{\max} = & 21,1293 + 0,0677778x_1 + 0,0177778x_1^2 + 1,72333x_2 + \\
 & + 0,1375x_1x_2 + 1,21222x_2^2 + 6,4111x_3 + 0,2125x_1x_2 + \\
 & + 1,8025x_2x_3 + 0,845556x_3^2
 \end{aligned} \quad (2.64)$$

Проведена статистична обробка отриманого рівняння (2.64) зведена в табл. 2.3.

Аналіз табл. 2.3 дозволяє скоротити незначущі коефіцієнти в рівнянні (2.64) і представити його у вигляді:

$$\begin{aligned}
 V_{\max} = & 21,1293 + 1,72333x_2 + 1,21222x_2^2 + 6,4111x_3 + \\
 & + 0,2125x_1x_2 + 1,8025x_2x_3 + 0,845556x_3^2
 \end{aligned} \quad (2.65)$$

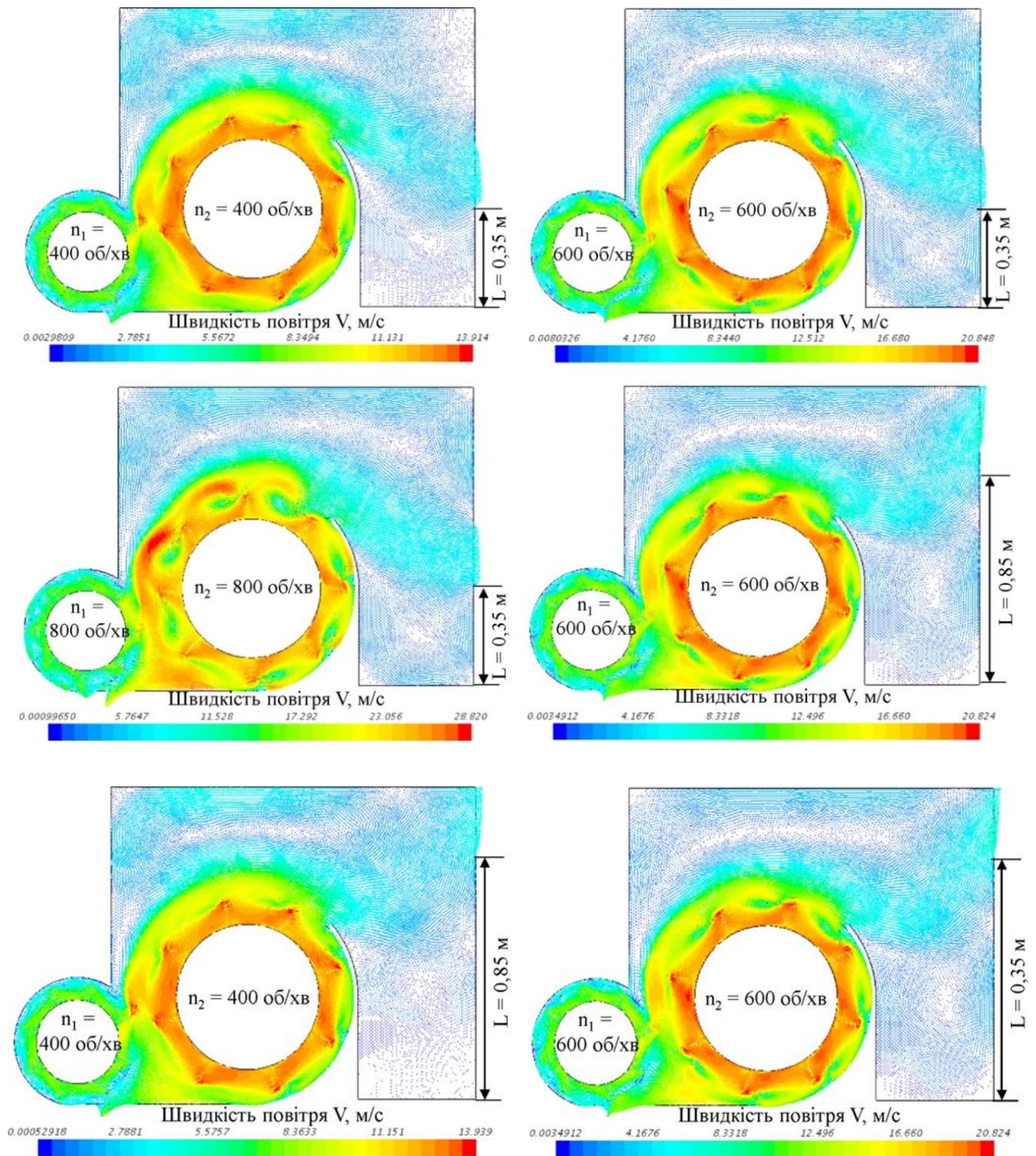


Рисунок 2.15 – Візуалізація розподілу швидкостей потоку повітря в області жниварки обчисувального типу

Після перетворення рівняння (2.65) у розкодований вигляд маємо вираз:

$$\begin{aligned}
 V_{\max} = & -2,53657 + 2,55L - 0,0007125n_1 + 0,0000303056n_1^2 + \\
 & + 0,0363264n_2 - 0,00425Ln_2 - 0,0000450625n_1n_2 + \\
 & + 0,0000211389n_2^2
 \end{aligned} \quad (2.66)$$

Таблиця 2.3 – Статистична обробка рівняння (2.64)

Коефіцієнт	Стандартна похибка	t-Критерій Стьюдента	Ймовірність помилки при відхиленні
a_{00}	0,636742	33,1834	$6,75942 \cdot 10^{-17}$
a_{10}	0,294754	0,229947	0,820877
a_{20}	0,294754	5,84668	0,0000194275
a_{30}	0,294754	21,7846	$7,37049 \cdot 10^{-14}$
a_{12}	0,360999	0,380888	0,708004
a_{13}	0,360999	- 0,588645	0,56384
a_{23}	0,360999	- 4,99309	0,000111173
a_{11}	0,510529	- 0,0348223	0,972627
a_{22}	0,510529	2,37444	0,0296162
a_{33}	0,510529	1,65623	0,116015

Зафіксовані почергово фактори досліджень на певному рівні побудовані на рисунку 2.16 графічні інтерпретації залежності (2.66).

Як видно з рис. 2.16, із збільшенням частот обертання n_1 і n_2 збільшується і максимальна швидкість повітря V_{max} за параболічним законом. В свою чергу положення прозорої зони границь L практично не впливає на значення максимальної швидкості повітря V_{max} , а згідно з рисунком 2.15 характеризує тільки його напрямок.

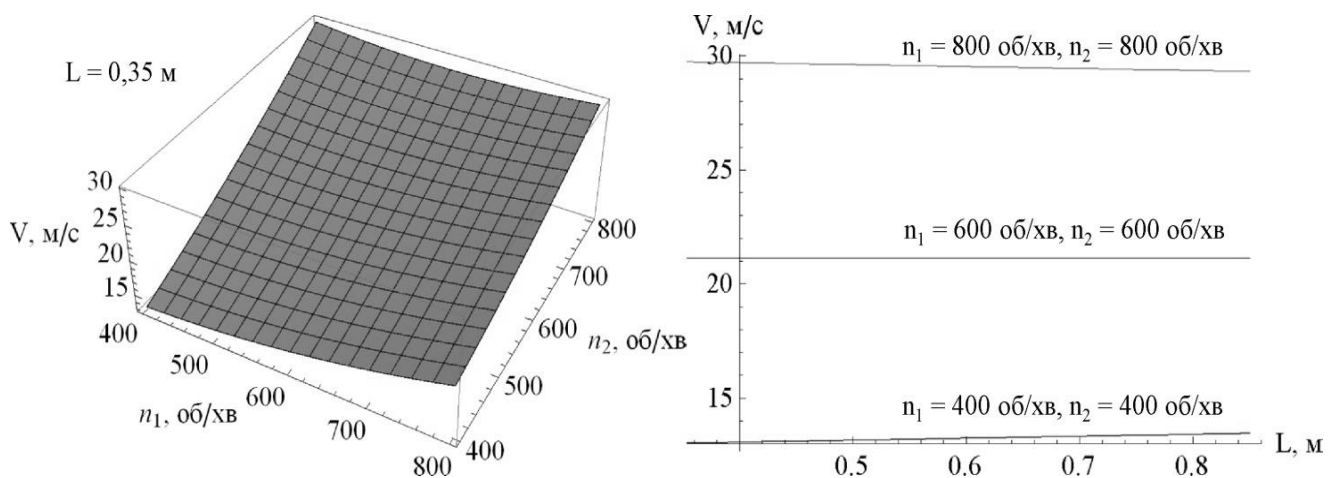


Рисунок 2.16 – Залежність максимальної швидкості повітря від факторів досліджень

Накладаючи рисунки розподілу швидкостей потоку повітря в області жниварки обчисувального типу в діапазоні 0 м/с до 2 м/с, чітко бачимо граничну зону, де спостерігається швидкість 0 м/с (рисунок 2.17).

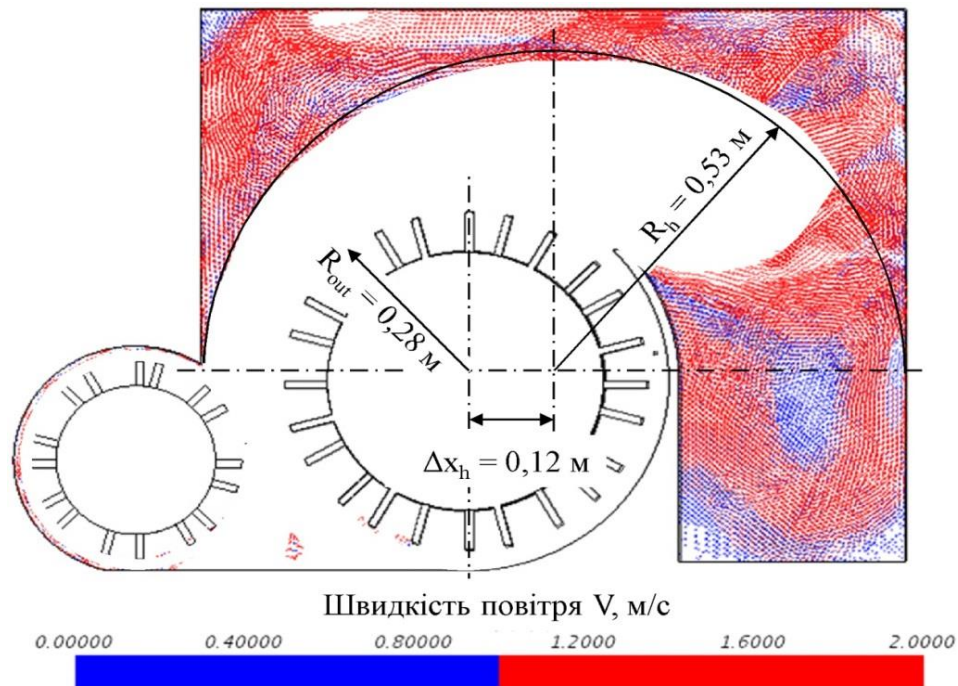


Рисунок 2.17 – Гранична зона нульової швидкості повітря в області жниварки обчисувального типу

Апроксимуючи граничну зону нульової швидкості повітря в області жниварки обчисувального типу у вигляді півкола із 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.

З використанням програмного пакету STAR-CCM+ побудуємо розподіл швидкостей потоку повітря в області жниварки обчисувального типу із отриманою формою кожуха жатки, візуалізація якого представлена на рисунку 2.18.

В результаті чисельного моделювання аеродинамічних процесів жниварки обчисувального типу встановлено розподіл швидкостей потоку повітря в її області, визначено залежність максимальної швидкості повітря V_{max} від частоти обертання бітера-відбивача n_1 і обчисувального барабана n_2 та положення прозорої зони границі L . Апроксимована форма кожуха жниварки обчисувального типу у вигляді півкола із 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.

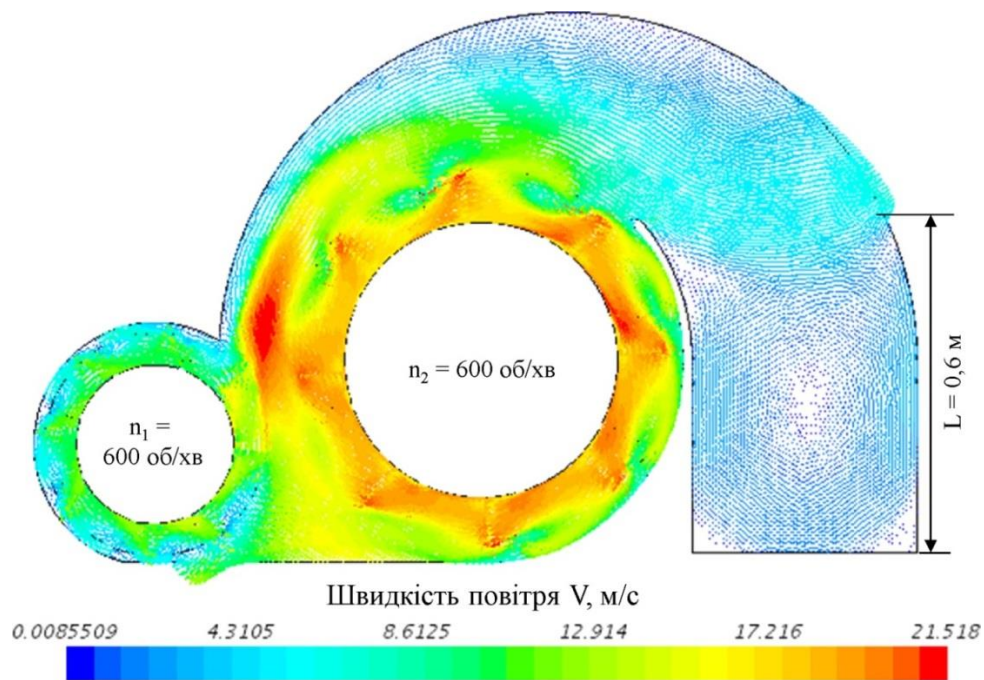


Рисунок 2.18 – Візуалізація розподілу швидкостей потоку повітря в області жнивarki обчісувального типу із криволінійною формою кожуха жатки

2.5 Чисельне моделювання процесу сепарації вороху

Для дослідження процесу переміщення вороху в області жнивarki обчісувального типу із криволінійною формою кожуха жатки і обґрунтування її конструктивно-технологічних параметрів проведено чисельне моделювання в програмному пакеті STAR-CCM+. Були використані наступні фізичні моделі: $k-\epsilon$ модель турбулентності сполученої течії, поле сили тяжіння, модель реального газу Ван-дер-Ваальса, осереднене по Рейнольдсу рівняння Нав'є-Стокса; модель логранжевої багатофазності і модель дискретних елементів.

Імітація подачі матеріалу відбувалася в зоні обчісування гребінкою обчісувального барабана. Початкова орієнтація всіх компонентів вороху в просторі є випадкова, а початкова швидкість дорівнювала 0 м/с. Згідно з літературним оглядом (розділ 1) і попередніми лабораторними дослідженнями прийняті наступні фізико-механічні властивості компонентів вороху, які наведені в таблиці 2.4.

Розрахункова схема жнивarki обчісувального типу із криволінійною формою кожуха представлена на рисунку 2.19. Область I є прозорою для всіх

компонентів вороху (насіння, коробочки із насінням, лушпиння коробочок, часточки стебла). Через область II може проходити тільки лушпиння коробочок, що обумовлюється наявністю повітряної сітки із діаметром круглих отворів 1,5 мм.

Таблиця 2.4 – Фізико-механічні властивості компонентів вороху

Властивості	Насіння	Коробочки із насінням	Лушпиння коробочок	Часточки стебла
Об'ємна маса, кг/м ³	710	90	60	30
Модуль пружності Юнга, МПа	0,2	0,3	0,1	0,1
Коефіцієнт Пуассона	0,5	0,8	0,6	0,5
Масова частка у вороху, %	40	10	40	10

За фактори чисельного моделювання були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри: частота обертання бітера-відбивача n_1 , частота обертання обчисувального барабана n_2 , положення прозорої зони границь L і її ширина B (межі варіювання представлені в таблиці 2.5).

Чисельне моделювання було проведено за повним факторним дослідом із загальною кількістю дослідів – $3^4 = 81$.

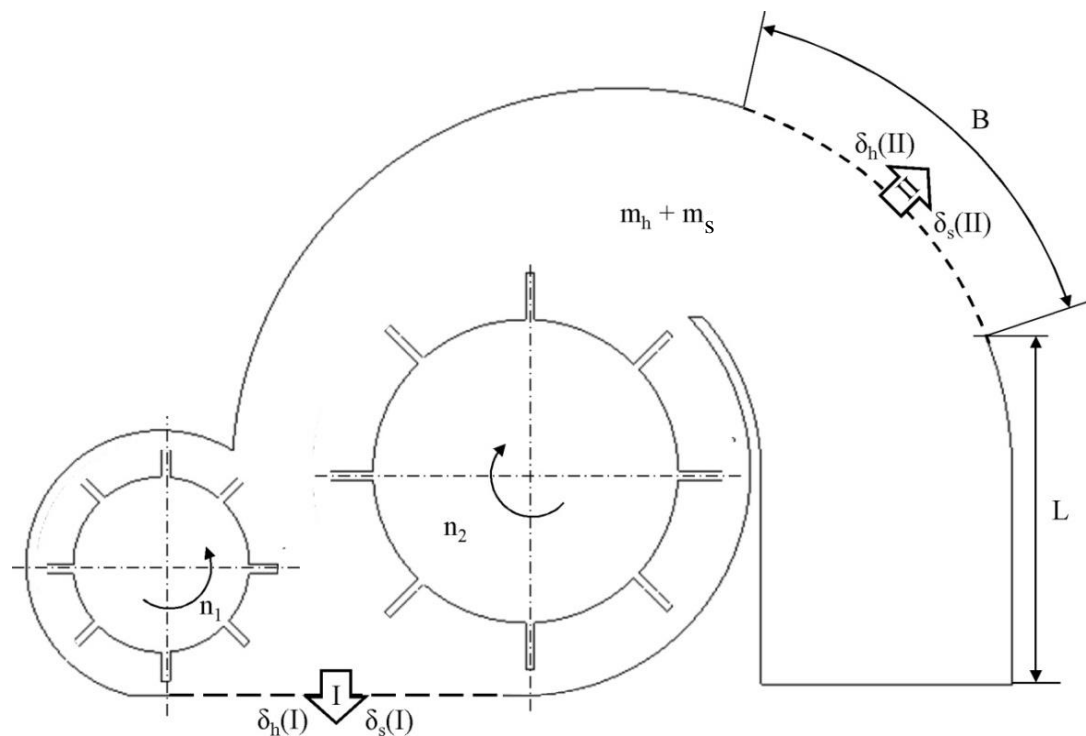


Рисунок 2.19 – Розрахункова схема жнивarki обчисувального типу із криволінійною формою кожуха

Критеріями оцінки процесу сепарації вороху в жниварці обчисувального типу є масова частка відходу компонентів з області жниварки. Так, масова частка відходу лушпиння і часточок стебла δ_h з області жниварки є показником якості очищення вороху від неліквідних компонентів. Чим більше значення δ_h , тим менше органічних домішок потрапить до транспортуючого шнека і як наслідок до комбайна, що зменшить його навантаження. Масова частка відходу лушпиння і часточок стебла δ_h з області жниварки розраховується за формулою:

$$\delta_h(I) + \delta_h(II) = 100(1 - m_h / (m_h + m_s)) \quad (2.67)$$

де m_h – маса лушпиння і часточок стебла в області жниварки, кг;

m_s – маса насіння і коробочок із насінням в області жниварки, кг;

I, II – області відповідно до рисунку 2.19.

Таблиця 2.5 – Рівні варіацій факторами чисельного моделювання

Рівні варіацій факторів	Фактори			
	Частота обертання бітера-відбивача n_1 , об/хв. (x_1)	Частота обертання обчисувального барабана n_2 , об/хв. (x_2)	Положення прозорої зони границі L , м (x_3)	Ширина прозорої зони границь B , м (x_4)
Верхній рівень (+)	800	800	0,85	0,45
Основний рівень (0)	600	600	0,60	0,30
Нижній рівень (-)	400	400	0,35	0,15
Інтервал варіацій факторів	200	200	0,25	0,15

Масова частка відходу насіння і коробочок із насінням δ_s з області жниварки є показником втрат ліквідних компонентів. Чим менше значення δ_s , тим менше втрат насіння і коробочок, які не потрапляють до транспортуючого шнека і, як наслідок, до комбайна. Масова частка відходу насіння і коробочок із насінням δ_s з області жниварки розраховується за формулою:

$$\delta_s(I) + \delta_s(II) = 100(1 - m_s / (m_h + m_s)) \quad (2.68)$$

В результаті моделювання було отримано візуалізацію розподілу компонентів вороху в області жнивварки обчисувального типу (рисунок 2.20).

Для кожного варіанту чисельного досліду було розраховано масову частку відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивварки δ_h та з використанням програмного пакету Wolfram Mathematica (додаток Д) проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено залежність від факторів досліджень у закодованому вигляді:

$$\begin{aligned} \delta_h = & 33,8704 + 0,687037x_1^2 - 2,87407x_2 - 0,236111x_1x_2 - \\ & - 1,16667x_2^2x_2^2 + 3,87222x_3 + 0,216667x_1x_3 + 0,108333x_2x_3 - \\ & - 0,172222x_3^2 + 5,40926x_4 - 0,125x_1x_4 - 0,811111x_2x_4 + \\ & + 0,0194444x_3x_4 + 0,15x_4^2. \end{aligned} \quad (2.69)$$

Проведена статистична обробка отриманого рівняння (2.69) зведена в табл. 2.6.

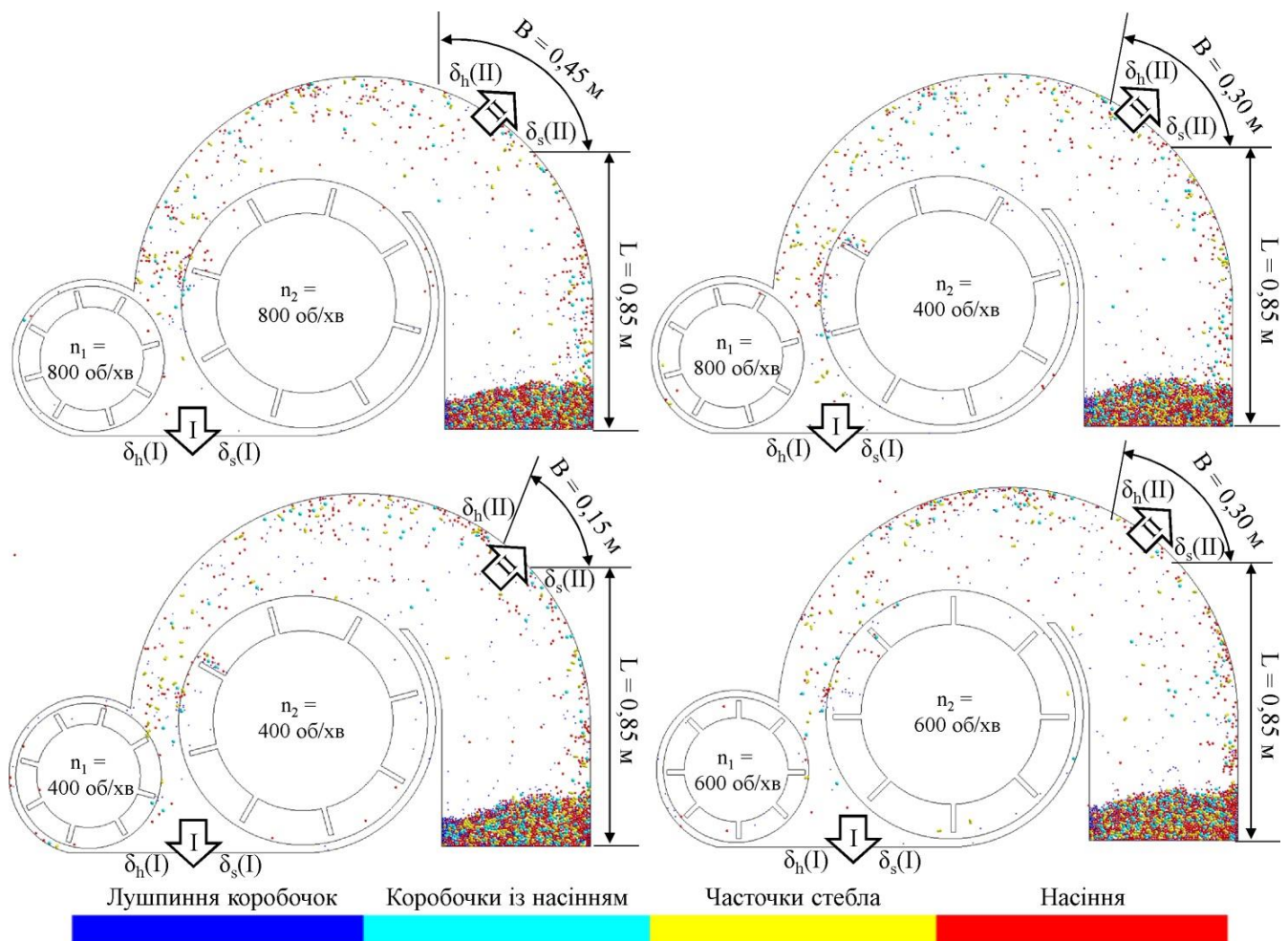


Рисунок 2.20 – Візуалізація розподілу компонентів вороху в області жнивварки обчисувального типу

Аналіз табл. 2.6 дозволяє скоротити незначущі коефіцієнти в рівнянні (2.69) і представити його у розкодованому вигляді:

$$\begin{aligned} \delta_h = & 9,4796 + 50,784B + 6,6666B^2 + 14,8956L - 2,75556L^2 - \\ & - 0,0125398n_1 - 0,00416667Bn_1 + 0,00433333Ln_1 + \\ & + 0,000015189n_1^2 + 0,0309824n_2 - 0,00216667Ln_2 - \\ & - 5,90278 \cdot 10^{-6} n_1n_2 - 0,0000291667n_2^2. \end{aligned} \quad (2.70)$$

Таблиця 2.6 – Статистична обробка рівняння (2.69)

Коефіцієнт	Стандартна похибка	t-Критерій Стьюдента	Ймовірність помилки при відхиленні
a ₀₀	0,855337	39,5989	1,01444 · 10 ⁻⁴⁷
a ₁₀	0,34919	1,96752	0,0533285
a ₂₀	0,34919	-8,23069	1,02346 · 10 ⁻¹¹
a ₃₀	0,34919	11,0892	1,01037 · 10 ⁻¹⁶
a ₄₀	0,34919	15,4909	1,14607 · 10 ⁻²³
a ₁₂	0,427668	-0,552089	0,582752
a ₁₃	0,427668	0,506623	0,614108
a ₁₄	0,427668	-0,292282	0,770987
a ₂₃	0,427668	0,253311	0,800815
a ₂₄	0,427668	-1,89659	0,06226
a ₃₄	0,427668	0,0454662	0,963873
a ₁₁	0,604815	1,00123	0,320375
a ₂₂	0,604815	-1,92897	0,0580369
a ₃₃	0,604815	-0,284752	0,776726
a ₄₄	0,604815	0,24801	0,804897

Фіксуючи почергово фактори досліджень на певному рівні побудовані на рисунку 2.21 графічні інтерпретації залежності (2.70).

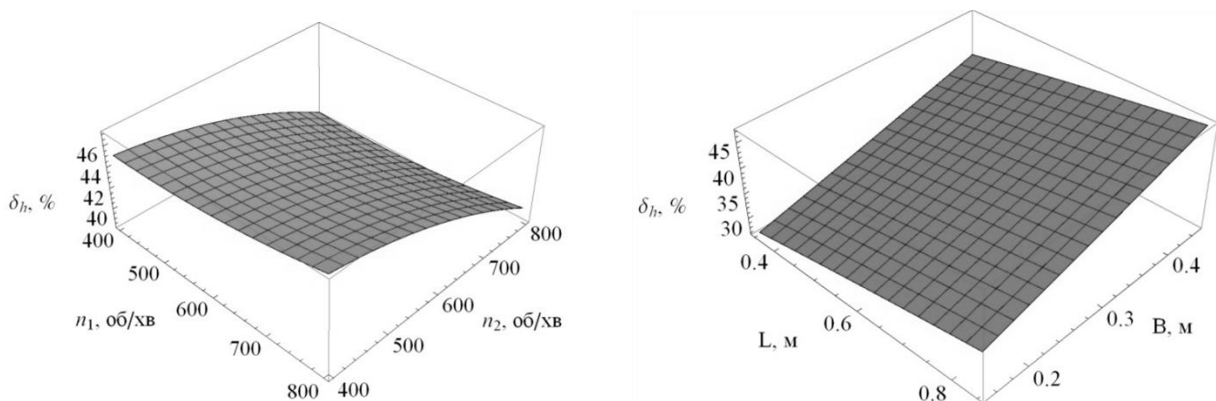


Рисунок 2.21 – Залежність масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki δ_h від факторів досліджень

Для кожного варіанту чисельного дослідження було розраховано масову частку відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s та з використанням програмного пакета Wolfram Mathematica (Додаток Д) проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено залежність від факторів досліджень у закодованому вигляді:

$$\begin{aligned} \delta_s = & 4,09892 - 1,23483x_1 + 0,755854x_1^2 - 4,39665x^2 + \\ & + 0,167115x_1x_2 + 5,49008x_2^2 + 0,266667x_3 + 0,0638889x_1x_3 + \\ & + 0,0055555x_2x_3 + 0,337037x_3^2 + 0,275627x_4 - 0,752957x_1x_4 - \\ & - 0,836738x_2x_4 - 0,0138889x_3x_4 + 0,212664x_4^2. \end{aligned} \quad (2.71)$$

Проведена статистична обробка отриманого рівняння (2.71) зведена в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Статистична обробка рівняння (2.71)

Коефіцієнт	Стандартна похибка	t-Критерій Стьюдента	Ймовірність помилки при відхиленні
a ₀₀	0,600928	6,82099	3,36731 · 10 ⁻⁹
a ₁₀	0,245328	-5,03337	3,95925 · 10 ⁻⁶
a ₂₀	0,245328	-17,9215	4,71598 · 10 ⁻²⁷
a ₃₀	0,245328	1,08698	0,280999
a ₄₀	0,245328	1,1235	0,265293
a ₁₂	0,300464	0,556188	0,579963
a ₁₃	0,300464	0,212634	0,832268
a ₁₄	0,300464	-2,50598	0,0146845
a ₂₃	0,300464	0,0184899	0,985304
a ₂₄	0,300464	-2,78482	0,00698207
a ₃₄	0,300464	-0,0462248	0,963271
a ₁₁	0,424921	1,77881	0,0798755
a ₂₂	0,424921	12,9203	9,69836 · 10 ⁻²⁰
a ₃₃	0,424921	0,793177	0,430517
a ₄₄	0,424921	0,50048	0,618402

Аналіз табл. 2.7 дозволяє скоротити незначущі коефіцієнти в рівнянні (2.71) і представити його у розкодованому вигляді:

$$\begin{aligned} \delta_s = & 68,4187 + 33,6314B - 5,40444L + 5,39259L_2 - 0,0213202n_1 - \\ & - 0,0250986Bn_1 + 0,0000188964n_1^2 - 0,178318n_2 - \\ & - 0,0278913Bn_2 + 0,000137252n_2^2 \end{aligned} \quad (2.72)$$

Фіксуючи по чергово фактори досліджень на певному рівні побудовані на рисунку 2.22 графічні інтерпретації залежності (2.72).

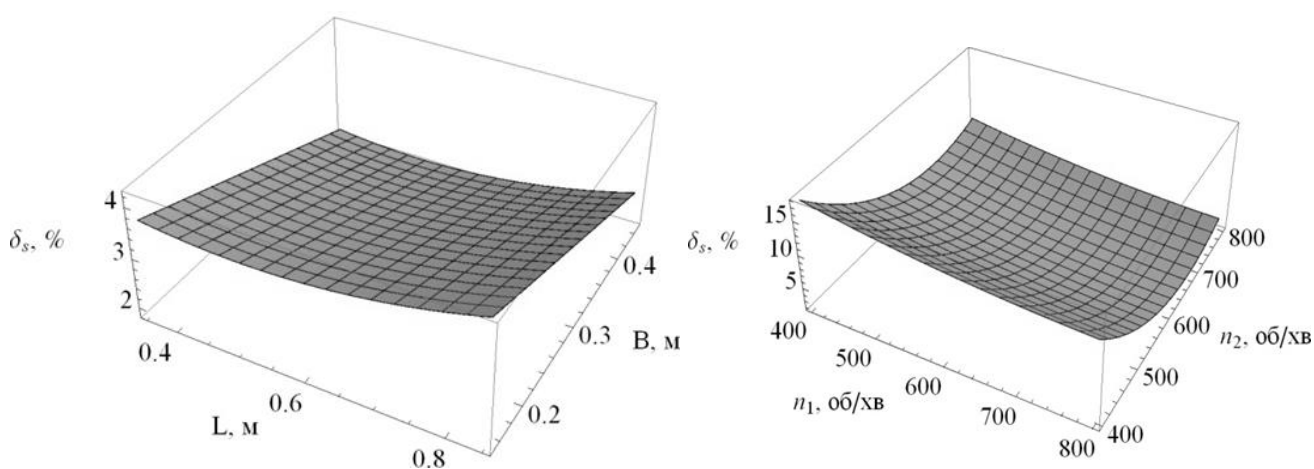


Рисунок 2.22 – Залежність масової частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s від факторів досліджень

Як видно з рис. 2.22, із збільшенням частоти обертання n_1 і ширини прозорої зони границь B зменшується масова частка відходу δ_s . В свою чергу частота обертання n_2 і положення прозорої зони границь L є оптимум ($n_2 = 695$ об/хв., $L = 0,5$ м), при якому масова частка відходу δ_s є мінімальною в заданому діапазоні факторів.

Вирішуючи компромісну задачу, а саме максимізації масової частки відходу лущиння і часточок стебла з області жнивarki δ_h і мінімізації частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s , отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри жнивarki обчисувального типу із криволінійною формою кожуха: частота обертання бітер-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 складає $\delta_h = 42,4\%$, а частка відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki відповідно $\delta_s = 2,5 \%$.

2.5 Висновки за розділом

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

2. В результаті теоретичних досліджень процесу взаємодії рослини льону олійного з обчісувальним барабаном на основі теорії коливань, отримано динамічну функцію зміни кривизни стебла в залежності від його реологічних властивостей і встановлені конструктивні параметри барабана, а саме 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 обчісувачих гребінок $j = 8$ шт.

3. В результаті теоретичних досліджень процесу взаємодії незв'язаних частинок вороху льону олійного з гребінкою обчісувального барабана із врахуванням їх фізико-механічних властивостей на основі законів динаміки, вирішено диференціальне рівняння їх руху по поверхні гребінки та отримано залежність їх загальної швидкості V від частоти обертання обчісувального барабана n_2 .

4. В результаті чисельного моделювання аеродинамічних процесів жнивarki обчісувального типу встановлено розподіл швидкостей потоку повітря в її області, визначено залежність максимальної швидкості повітря V_{max} від частоти обертання бітера-відбивача n_1 і обчісувального барабана n_2 , та положення прозорої зони границі L . Апроксимована форма кожуха жнивarki обчісувального типу у вигляді півкола із 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. В результаті чисельного моделювання процесу сепарації вороху в жниварці обчісувального типу з криволінійною формою кожуха із врахуванням фізико-механічних властивостей його компонентів встановлено залежності масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з її області δ_h і частки відходу насіння і коробочок із насінням δ_s , від частоти обертання бітера-відбивача n_1 і обчісувального барабана n_2 , положення прозорої зони границі L і її ширини B .

6. Вирішуючи компромісну задачу, а саме максимізації масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жниварки δ_h і мінімізації частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жниварки δ_s , отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри жниварки обчісувального типу із криволінійною формою кожуха: частота обертання бітер-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 з області жниварки складає $\delta_h = 42,4$ %, а частка відходу насіння і коробочок із насінням з області жниварки, відповідно, складає $\delta_s = 2,5$ %.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ЖНИВАРКОЮ ОБЧІСУВАЛЬНОГО ТИПУ

3.1 Об'єкт, предмет і програма експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є доповнення і перевірка правильності розроблених математичних моделей процесу збирання насіння льону олійного жнивваркою обчісувального типу при взаємодії її робочих органів із стеблом рослини і обчісаним ворохом та визначення їх оптимальних конструктивно-режимних параметрів.

Об'єкт дослідження – процес обчісування рослин льону олійного, зв'язок його з конструктивно-режимними параметрами жнивварки обчісувального типу і фізико-механічними властивостями компонентів обчісаного вороху.

Предмет дослідження – чинники і закономірності, що діють в області жнивварки обчісувального типу, її конструктивно-технологічні параметри і режими роботи, які впливають на ефективність протікання процесу.

Згідно із поставленою метою та задачами дослідження програмою експериментальних досліджень було передбачено наступне:

- дослідити фізико-механічні властивості стебла льону олійного;
- визначити фізико-механічні властивості компонентів вороху льону олійного, які мають вплив на процес їх переміщення в області обчісувальної жнивварки та входять у відповідні математичні вирази, що описують означені процеси при теоретичних дослідженнях;
- визначити якість процесу в області жнивварки обчісувального типу в залежності від конструктивно-режимних параметрів і фізико-механічних властивостей компонентів обчісаного вороху в лабораторних умовах;
- здійснити планування і проведення багатофакторного експерименту та визначити раціональні конструктивно-режимні параметри жнивварки обчісувального типу і порівняти їх з параметрами, отриманими теоретичним шляхом;

– провести випробування розробленої жнивarki для збирання льону олійного у виробничих умовах і визначити техніко-економічну ефективність її застосування;

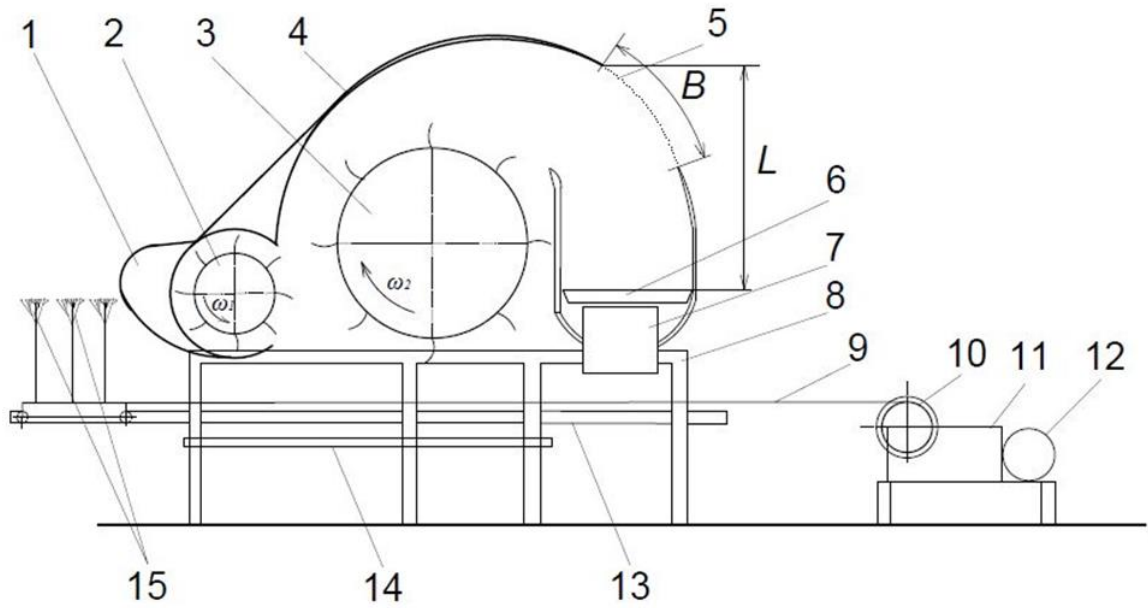
– на підставі результатів досліджень розробити рекомендації, які необхідні для проектування промислових зразків жнивareк обчісувального типу для збирання насіння льону олійного.

3.2. Експериментальна установка для обчісування рослин льону олійного

З метою вивчення робочого процесу жнивarki обчісувального типу для збирання насіння льону олійного автором була розроблена і виготовлена лабораторна експериментальна установка [162], яка дозволяла проводити експериментальні дослідження і вивчати сутність технологічного процесу, якість роботи та енергомiсткість процесу обчісування рослин льону олійного. Конструктивно-технологічна схема розробленої експериментальної установки представлена на рис. 3.1, а загальний вид експериментальної лабораторної установки – на рис. 3.2,б.

Запропонована лабораторна установка включає раму 1, на якій встановлені бітер-відбивач 4, обчісуючий барабан 5 із змонтованими на ньому обчісувальними гребінками 12 та шнек 9, які обертаються відповідно зі швидкістю ω_1 , ω_2 та ω_3 , що закриті кожухом 7. В задній частині кожуха змонтована повітряна сітка, що забезпечує відведення із зони жнивarki дрібних домішок. Також лабораторна установка обладнана рухомим полем 11 з механізмом закріплення на ньому рослин для обчісування 2, обтікачем 3 та ємністю для збору цільової фракції процесу обчісування 10.

Лабораторна установка обчісувального типу працює таким чином. При вмиканні установки її поле рухається із поступальною швидкістю назустріч обчісувального барабана 5, який здійснює обертовий рух від приводу (на схемі не показано). В момент підводу рослин до його гребінки 4 здійснюється обертовий рух і льон обчісується. При цьому вивільняється насіння та положисті фракції 6.



а



б

а – схема; б – загальний вигляд;

1 – обтікач; 2 – бітер-відбивач; 3 – обчісуючий барабан; 4 – верхній кожух;
 5 – зона відводу повітря; 6 – лоток для відбору обчісаного вороху; 7 – пульт керування;
 8 – рама; 9 – трос; 10 – барабан; 11 – коробка передач; 12 – електродвигун;
 13 – направляючі; 14 – лоток; 15 – рухоме поле;

Рисунок 3.1 – Конструктивно-технологічна схема експериментальної установки для дослідження процесу обчісування льону олійного [162]

Під дією інерції та повітряного потоку направляючого бітера-відбивача, віходи рухаються за траєкторію, що створює кожух 7 лабораорної установки. В зоні задньої частини пристрою, за рахунок встановлення повітряної сітки, відбувається часткова зміна (зменшення) швидкості та напрямку повітряного потоку, що зумовлює відведення через отвори повітряної решітки частинок обчісаного вороху з меншими аеродинамічними властивостями (половисті частки, пил, подрібнені стебла рослин тощо).

3.3 Методика лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей стебла льону олійного

Фактори, які впливають на якісні показники роботи жниварки обчісувального типу і увійшли до математичних виразів теоретичних досліджень, є біометричні та фізико-механічні властивості стебла та компонентів обчісаного вороху льону олійного. Слід зазначити, що біометричні показники характеризують стан і будову рослин льону олійного, а фізико-механічні властивості проявляються при силовому на них впливі в процесі збирання насіння з боку обтікача обчісууючої жниварки.

Для виконання теоретичних досліджень експериментальним шляхом визначали біометричні показники рослин різних сортів льону олійного за обраними показниками.

Зразки рослин для досліджень були відібрані на дослідному полі Харківського НАУ ім. В.В.Докучаєва (рис. 3.2.). Які вирощували на дослідних ділянках з дотриманням усіх агротехнічних заходів з підготовки ґрунту, посіву та догляду за рослинами. Для сівби використовували кондиційне насіння досліджуваних сортів Орфей, Дебют, у реєстрі сортів рослин України з 2001 року та Водограй у реєстрі України з 2009 року, що відповідають вимогам ДСТУ 2240-93 «Насіння сільськогосподарських культур. Сортіві та посівні якості. Технічні умови». Спосіб посіву рядковий з міжряддям 15 см і нормою висіву 5 млн. схожих насінин на один гектар, що зумовлює густоту рослин на полі $N=60-80$ шт/м.



а

б

Рисунок 3.2 – Загальний вигляд поля, на якому проводився відбір зразків льону олійного сорту Орфей: а – в період вегетації; б – на час збирання.

Визначення біометричних параметрів відібраних зразків рослин льону олійного виконували з використанням як загальноприйнятих, так і спеціальних методик і приладів, які представлені в таблиці 3.1.

Дослідження проводили в такій послідовності: перед початком збиральних робіт на обраних ділянках з типовим рельєфом поля робилися прокоси з відступом від краю поля, тим самим розмічаючи ділянки для збирання рослин, які підлягали вивченню їх біометричних характеристик.

Для отримання достовірних результатів досліджень необхідне багаторазове повторення дослідів, що обумовлено природним розмаїттям рослин льону олійного за характерними ознаками. Тому перед проведенням дослідів для скорочення обсягу експериментальних робіт визначали мінімальну кількість необхідних вимірювань за формулою:

$$n_B = (t_c \cdot V_B / P_{oui})^2, \quad (3.1)$$

де n_B – обсяг вибірки, шт;

t_c – критерій Стьюдента;

V_B – коефіцієнт варіації досліджуваної ознаки, %;

P_{oui} – відносна величина граничної помилки, %.

Таблиця 3.1 – Прилади та обладнання для визначення біометричних показників і фізико-механічних властивостей рослин льону олійного

Показник	Найменування приладів та інструментів	Допустима похибка вимірювань
Густота рослин,	Польова лінійка агронома	$\pm 1,0$ см
Лінійні розміри: довжина рослин, м.	Лінійка вимірювальна металева,	$\pm 1,0$ мм
	рулетка вимірювальна металева 5 м	$\pm 1,0$ мм
Розмір коробочки та насіння (довжина, ширина, товщина), м	штангенциркуль	$\pm 0,1$
Вологість рослин, коробочок	Сушильна шафа, склянка для визначення ваги, ексикатор	± 1 град. - -
Маса	Ваги електричні багато функціональні	$\pm 0,02$ г
Кут гілкування	Кутомір	± 1 град
Ярусність рослин	Лінійка металева	$\pm 1,0$ мм

Визначення густоти стеблової частини рослин здійснювали з використанням лінійки агронома площею $0,25 \text{ м}^2$, яку накладали через кожні 10 метрів на дослідній ділянці поля. Потім проводили підрахунок контрольних рослин, визначали їх висоту, використовуючи рулетку, вимірювали стебла від кореня до верхніх коробочок, технічну довжину – від окоренка до розгалуження рослини, а за допомогою штангенциркуля вимірювали діаметр стебла. Потім вимірювали розміри коробочок (довжина, ширина, товщина) і виділене з них насіння (рис. 3.3).

Після підрахунку кількості контрольних рослин в польовій лінійці визначали густоту стеблостою n_p за формулою:

$$n_p = \frac{4 \cdot N_p}{m_p}, \quad (3.2)$$

де N_p – кількість рослин у всіх рамках, шт;

m_p – число накладень рамок, шт.

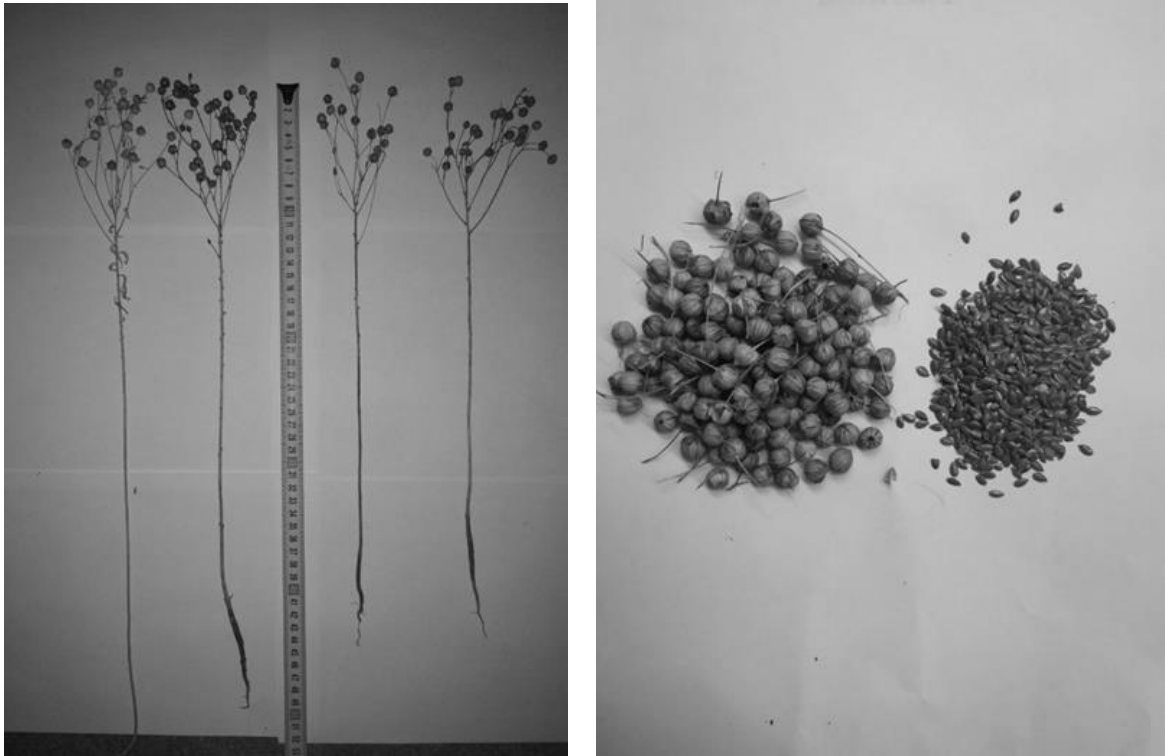


Рисунок 3.3 – Визначення висоти стебел льону, кількості коробочок та вмісту насіння в коробочках

У всіх рослин при визначенні густини стеблостою вимірювали їх висоту від поверхні ґрунту до вершини стебла за допомогою рулетки і визначали середнє значення за формулою:

$$l_{cp} = \frac{1}{m_p} \cdot \sum l_p, \quad (3.3)$$

Біологічну урожайність льону олійного визначали за формулою:

$$U_{\sigma} = \frac{n_c n_p m_{1000\text{факт}}}{1000}, \quad (3.4)$$

де n_c – кількість насіння в бобі, шт;

$m_{1000\text{ факт}}$ – маса 1000 насінин, м.

Масу 1000 насінин в грамах при фактичній вологості насіння розраховували за формулою:

$$m_{1000\text{факт}} = \frac{m_0 \cdot 1000}{N}, \quad (3.5)$$

де m_0 – маса цілих насінин, г;

N – кількість цілих насінин або насіння в масі, шт.

Вологість стебел, гілочок та коробочок льону олійного визначали за допомогою сушильної шафи СЕШ – 3МУ (рис. 3.3). Розділивши на складові частини зважували сирі компоненти (наважки). В розігріту до температури 130 °С шафу висипали наважки сирого продукту в сітчасті бюкси і закривали сітчастими кришками, використовуючи спеціальний пінцет і, при необхідності, обертаючи стіл за допомогою рукоятки.



Рисунок 3.4 – Сушильна шафа СЕШ – 3МУ

Витримавши прийнятну методикою експозицію (час на сушіння стебел та гілочок – 30 хв., насіння – 60 хв.), зразки виймали з сушильної камери і переміщали в ексикатор для охолодження. Після охолодження зразки зважували та визначали відсоток вологості всіх компонентів за формулою:

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100, \quad (3.6)$$

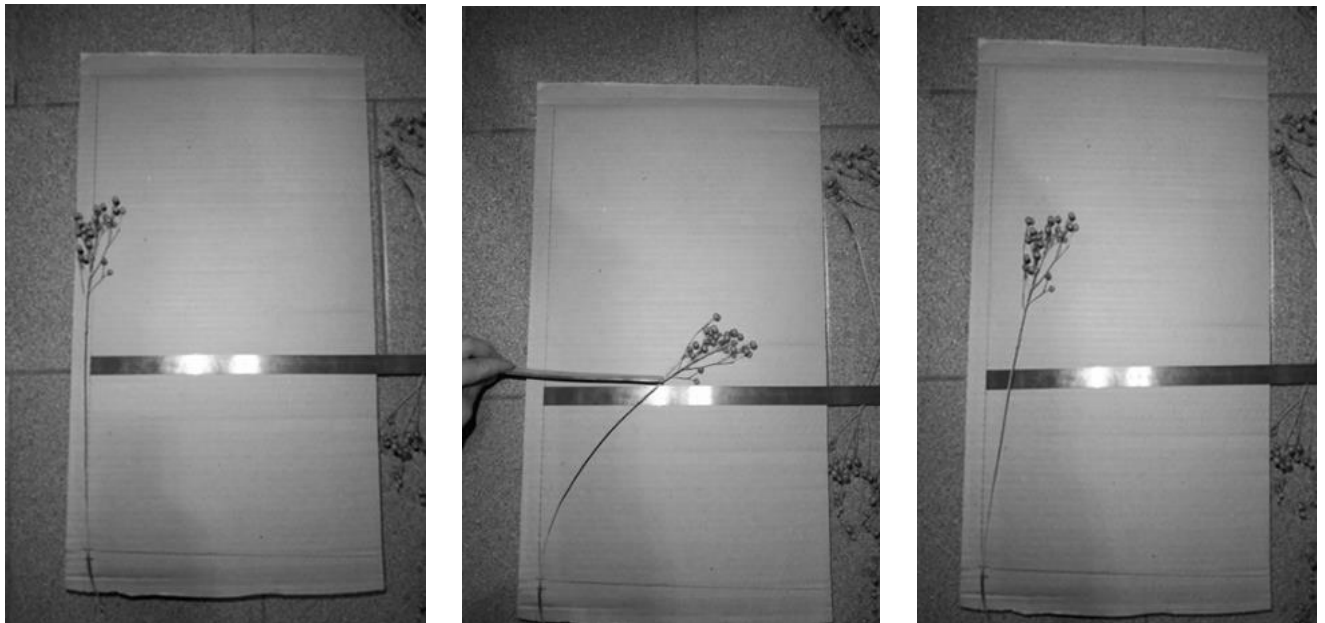
де m_1 – маса порожнього бюкса (з накривкою), г;

m_2 – маса бюксу з наважкою до сушіння, г;

m_3 – маса бюксу з наважкою після сушіння, г.

При визначенні меж пружності стебла прийнята наступною послідовність робіт: закріплювали стебло в затискачу (рис. 3.5,а), далі за допомогою спеціальної указки відхиляли стебло на 300 мм вправо по метричній шкалі 4, прикладаючи зусилля на висоті розташування метричної шкали, що дорівнювала 100 мм (рис. 3.5,б). Далі знімали силовий вплив на стебло рослини і за шкалою

вимірювали пластичну деформацію стебла, як різницю між станом стебла до створення зусилля і після повернення стебла у довільний стан після зняття зусилля (рис. 3.5,в). Одиницею вимірювання став «мм». Повторність проведення експерименту була прийнята десятиразова.



а

б

в

а – положення до силового впливу на рослину; б – дія на стебло рослини;
в – залишкова деформація стебла рослини

Рисунок 3.5 – Визначення межі пружності стебла рослин льону олійного

Час Δt , часткового відновлення стеблової частини визначався при дослідженні пружних властивостей стебел, при цьому замірявся час після прикладення сили до відновлення. Одиницею вимірювання стали «секунди».

При визначенні межі міцності послідовність проведення експерименту прийнята наступна: аналогічно попередньому експерименту стебло закріплювали в затискач і впливали на нього за допомогою спеціальної указки на рівні метричної шкали, на висоті 100 мм від місця розгалуження. Зусилля докладали таким чином, щоб стебло відхилялося вправо.

У міру впливу на стебло фіксували таке його відхилення, при якому відбувався надлом стебла при збереженні пружних властивостей, а також таке відхилення, при якому відбувалося повне зламвання стебла рослини і втрата пружних властивостей. Одиниця виміру прийнята «мм». Повторність проведення

експерименту прийнята десятикратна.

Вивчення механічних властивостей при згинанні важливе для таких сільськогосподарських культур, як конопля, льон. Це безпосередньо пов'язано з технологічними процесами їх збирання і первинної обробки. Згинання-злам стебел льону і конопель, з одного боку, широко використовують для їх руйнування і видалення волокна в процесі первинної обробки, наприклад, під час зминання. З іншого боку, зламу прагнуть уникнути при збиранні, і жорсткість стебел на згинання є основною характеристикою для конструювання і регулювання збирального апарата льонозбиральних машин і органів, які підводять до нього стебло.

Особливу увагу під час проведення випробувань на згинання уперек волокон зразків рослин культур, які мають жорстке стебло, слід приділяти тій обставині, що в разі згинання одночасно виникає деформація розтягу в одній частині поперечного перерізу зразка і стискання його в іншому. Тому фізичний зміст модуля пружності за згинання дуже різниться від відповідної механічної характеристики в разі випробування на розтяг-стискання. В результаті цього отримана механічна характеристика є самостійним параметром, що відбиває жорсткість стебел при згинанні, тобто відповідає справжньому опору стебел згинальним навантаженням.

Величину модуля пружності визначають за схемою двохопорного згинання із симетричним навантаженням відносно опор зосередженою силою F (рис. 3.5). Деформації зразка 1 за декількох ступенів навантаження F вимірюють посередині зразка за допомогою індикатора годинникового типу. Для усунення місцевого зминання зразка в зоні контакту навантаження з опорами під зразок встановлюють сферичні металеві підкладки.

Оскільки величину середнього прогину вимірюють посередині зразка, то модуль пружності E визначають за формулами:

$$f = \frac{Fl^3}{48EI}; \quad (3.7)$$

$$E = \frac{Fl^3}{48fl}; \quad (3.8)$$

$$EI = \frac{Fl^3}{48f}, \quad (3.9)$$

де f – вигин зразка посередині, м;

F – навантаження, яке відповідає вигину посередині, Н;

l – відстань між опорами (0,02м);

I – осьовий момент інерції м⁴;

EI – жорсткість зразка при згинанні упоперек волокон.

Випробування стебел на злам виконують також за схемою двохопороного згинання статичним навантаженням. Вимоги до зразків такі самі, як і при випробуваннях на розтяг і згинання. Довжина зразків порядку 200 мм, відстань між опорами $l = 100$ мм. Радіус заокруглення наконечника, згинального робочого органа (деформатора) $R = 3 \pm 0,5$ мм. Радіус заокруглення опор O і O_1 дорівнює 5–10 мм залежно від опору згинанню досліджуваного матеріалу.

Під час випробувань на злам зразок розташовують на опорах так, щоб він ширшим боком розмістився в горизонтальній площині. Швидкість навантаження не повинна перевищувати $V=200$ мм/хв. Стрілу прогину f визначають за машинною діаграмою або іншим вимірювальним приладом (рис. 3.5).

За одержаним значенням f обчислюють кут зламу за формулою:

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{2f}{l}. \quad (3.10)$$

Іноді питомий опір зламу визначають в одиницях умовного навантаження згинання:

$$\sigma_{\delta} = \frac{M}{W_o}, \quad (3.11)$$

де M – згинальний момент посередині зразка ($M = Fl/4$).

3.4 Методика лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей компонентів обчісаного вороху льону олійного

3.4.1 Визначення характеристик обчісаного вороху.

Протікання процесів в області жнивarki обчісувального типу суттєво залежить від параметрів компонентів вороху льону олійного: склад, об'ємна маса, масова частка у воросі, розміри, швидкість витання, вологість.

Максимальний ефект досягається при максимальному відході з області жнивarki механічних домішок у вигляді частинок стебла, лушпиння, пиловидних частинок та мінімальному відході насіння і коробочок з насінням, яке залежить від параметрів обчісаного вороху льону олійного та швидкості повітряного потоку в області обчісувальної жнивarki.

Максимум діапазону варіювання швидкості повітряного потоку фіксується за допомогою швидкості витання компонентів вороху. Тому при експериментальних дослідженнях встановлювали швидкість витання компонентів обчісаного вороху льону олійного.

Для вивчення складу і властивостей обчісаного вороху льону олійного відібрану дослідну партію рослин пропускали через експериментальну лабораторну установку (рис.3.1).

Дослідження проводили на кафедрі «Сільськогосподарські машини» Харківського національного технічного університету сільського господарства ім.П. Василенка. Для вищенаведених досліджень використано ротаметричний порційно-парусний класифікатор РПК – 30 (рис.3.6 – 3.7).

Для дослідів брали навантажку обчісаного вороху і засипали у боек класифікатора, днище якого виготовлено з тонкої сітки та має майже 100% повітропроникність.

За допомогою зміни числа обертів вентилятора пристроєм «ЛАТР» встановлювали необхідну швидкість повітряного потоку у вертикальному каналі порційно-парусного класифікатора. Фіксували швидкість, при якій відбувалося надходження певної фракції компонентів вороху льону олійного до контрольної ємності осаджувальної камери установки.



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд порційно-парусного класифікатора РПК-30

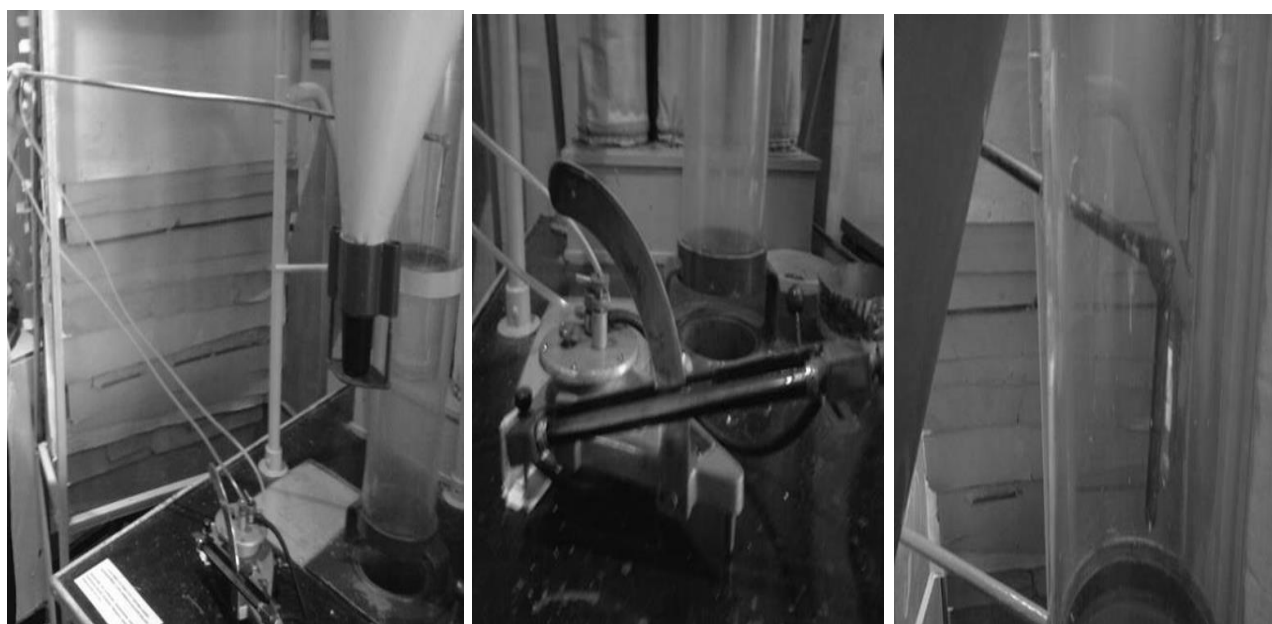


Рисунок 3.7 – Тарування шкали парусного класифікатора

Перед дослідженням проведено тарування шкали парусного класифікатора (рис.3.7). Для цього використано мікроманометр і трубку Піто.

Результатом досліджень стали значення швидкості повітряного потоку, при якій починався винос компонентів обчисаного вороху льону олійного до контрольної ємності (швидкість витання).

Склад і розмірні характеристики обчисаного вороху визначали за допомогою лабораторного решітного класифікатора РКФ – 1 (рис.3.8).



Рисунок 3.8 – Лабораторний решітний класифікатор та решета

Експрес-аналіз вологості насіння виконували за допомогою мікропроцесорного електронного приладу WILE – 55 (рис. 3.9). В процесі вимірювання насіння, попередньо вимолоченого з коробочок, засипали в вимірювальний циліндр спочатку на одну чверть. Далі, злегка струшуючи прилад, розподіляли насипане навколо центрального сенсора, після чого заповнювали циліндр до країв. Після цього закручували кришку на циліндр доти, поки центральна (рухома) частина кришки не встановиться врівень з усією кришкою. Включали прилад, натисканням на кнопку «F» вибирали необхідну культуру, в перебігу деякого часу на дисплеї приладу з'являлися свідчення вологості насіння.



Рисунок 3.9 – Мікропроцесорний електронний прилад для вимірювання вологості насіння

Для визначення похибки зважування відібраних проб приймали ваги VITEK VT – 2406, похибка яких при зважуванні складає $\pm 0,02$ г.

Кутова швидкість обертання бітера-відбивача та обчисувального барабана експериментальної установки вимірювалася за допомогою годинникового тахометра DT6236B, похибка якого складає 0,01 рад/с.

На підставі проведеної оцінки похибок можна зробити висновок, що точність результатів вимірювань і обчислень визначуваних параметрів знаходиться в допустимих межах.

3.4.2 Методика визначення пружних властивостей компонентів обчисаного вороху льону олійного.

Пружні властивості компонентів обчисаного вороху льону олійного характеризуються двома незалежними коефіцієнтами, наприклад, модулем Юнга і модулем зсуву, або модулем Юнга і коефіцієнтом Пуассона.

Модуль Юнга при цьому встановлює зв'язок між деформацією розтягу або стисканням і механічним напруженням.

Модуль зсуву – характеристика пружних властивостей ізотропних твердих тіл при деформації, яка не викликає зміни об'єму тіла.

Коефіцієнт Пуассона – це міра зміни поперечних розмірів тіла при деформації розтягу або стискання, яка визначається залежністю:

$$\nu = \frac{\Delta d}{\Delta l}, \quad (3.12)$$

де Δd – величина зміни поперечних розмірів досліджуваного матеріалу внаслідок деформації;

Δl – величина зміни поздовжніх розмірів досліджуваного матеріалу внаслідок деформації.

Приймаючи до уваги механіко-технологічні властивості компонентів обчисаного вороху льону олійного, які не дають можливості чітко фіксувати зміни їх геометричних параметрів при деформації в вільно насипному вигляді, для створення сприятливих умов для роботи з ними, при визначенні пружних властивостей, а саме модуля Юнга і коефіцієнта Пуассона, необхідно зосередити

ворох обмеженому просторі, що дасть можливість виявляти ті зміни, які відбуватимуться при їх деформації рослин[129].

Так для визначення коефіцієнта Пуассона, насіння та інші компоненти вороху заключаємо в еластичний стакан, що дає можливість фіксувати зміну його геометричних параметрів від деформації стискання (рис. 3.10).

Для визначення модуля Юнга сипучих матеріалів, до яких можна віднести насіння льону олійного, запропоновано декілька методик. Найбільш прийнятною для нашого випадку може бути методика запропонована в [120], яка визначає залежність осідання круглого штампа в сипучому матеріалі від величини його площі і діючого на нього зусилля:

$$h = \frac{\rho \cdot \omega \cdot d(1 - \nu^2)}{E}, \quad (3.13)$$

де h – величина переміщення штампа (осідання);

ρ – питомий тиск на сипучий матеріал;

ω – коефіцієнт форми площини штампа;

d – діаметр штампа, м;

ν – коефіцієнт Пуассона сипучого матеріалу;

E – модуль пружності сипучого матеріалу.

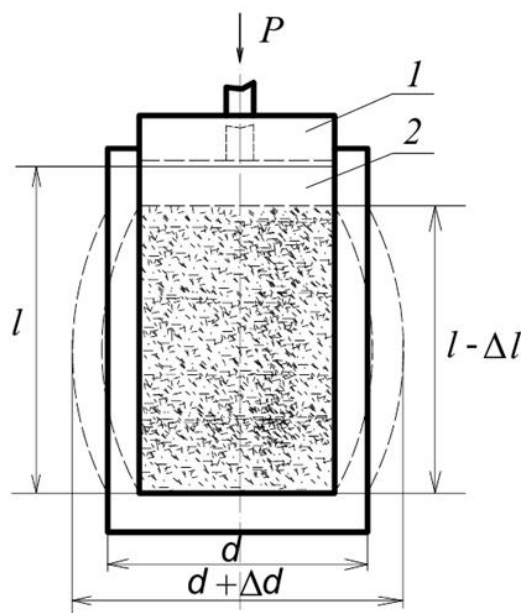


Рисунок 3.10 – Розрахункова схема до визначення коефіцієнта Пуассона насіння льону олійного

Питомий тиск на сипучий матеріал при застосуванні круглого штампа визначається за формулою:

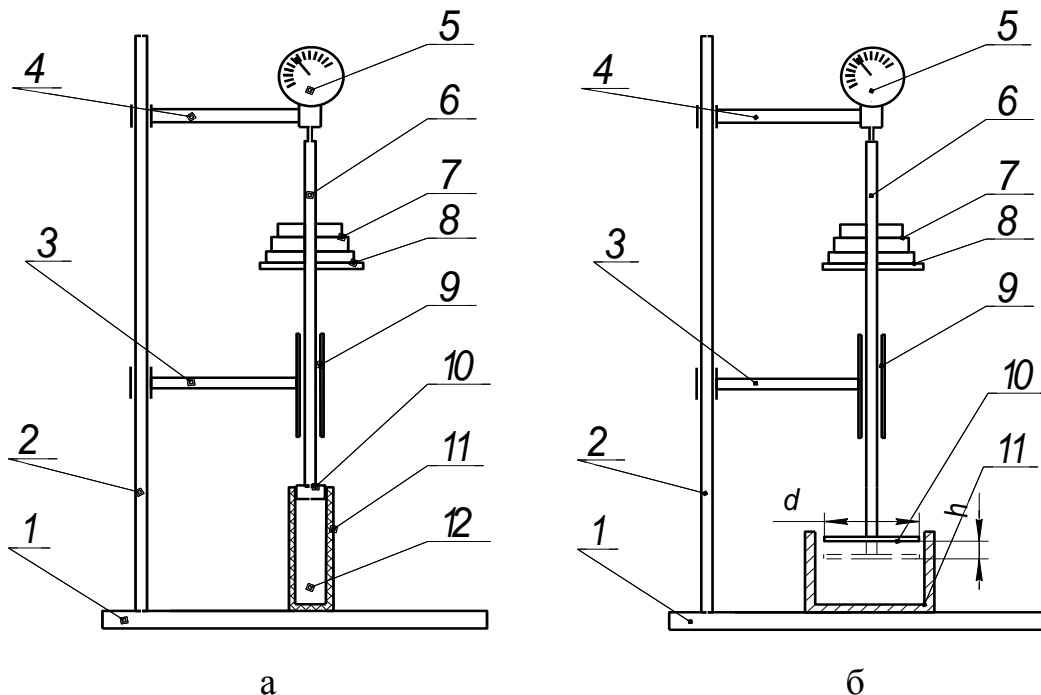
$$P = \frac{N \cdot 4}{\pi \cdot d^2}, \quad (3.14)$$

де N – прикладене зусилля.

Приймаючи до уваги, що для круглого штампа $\omega = 0,79$ [120] після підстановки значення формули (3.14) в рівняння (3.13) і виконання необхідних перетворень, отримуємо вираз для визначення модуля пружності насіння льону олійного в наступному вигляді:

$$E = \frac{N \cdot (1 - \nu^2)}{h \cdot d}. \quad (3.15)$$

З метою реалізації запропонованого методу по визначенню коефіцієнта Пуассона і модуля Юнга запропоновано до використання розроблені прилади [120], конструктивні схеми яких представлені на рис.3.11.



1 – опора; 2 – штатив; 3, 4 – кронштейни; 5 – індикатор; 6 – шток; 7 – гирі; 8 – платформа; 9 – направляюча; 10 – поршень або штамп; 11 – еластичний стакан або ємкість; 12 – сипучий матеріал

Рисунок 3.11 – Конструктивні схеми приладів для визначення коефіцієнта Пуассона (а) і модуля Юнга (б) насіння льону олійного

Запропоновані до застосування прилади для визначення коефіцієнта Пуассона і модуля Юнга насіння льону олійного (рис.3.11) складаються із опори 1, на якій встановлено штатив 2 з кронштейнами 3 і 4, перший із яких служить для кріплення індикатора 5, а другий для фіксації штока 6 в вертикальному положенні за рахунок направляючої 9. На штоці 6 закріплено на одному кінці поршень, а на другому штамп – позиція 10, які тиснуть на сипучий матеріал 12, що знаходиться в еластичному стакані або ємкості 11 під дією гир 7.

Досліди в режимі визначення модуля Юнга проводяться в наступній послідовності. Навіску насіння, яка підлягала дослідженню, засипали в ємкість і на його поверхню встановлювали штамп, фіксуючи при цьому нульову відмітку на індикаторі. Після прикладання кожного ступеня вантажу фіксували показання індикатора, визначали величину переміщення штампа (осідання) h і за формулою (3.15) визначили модуль Юнга.

Загальний вигляд приладу для визначення коефіцієнта Пуассона і модуля Юнга насіння льону олійного представлений на рис. 3.12.



Рисунок 3.12 – Загальний вигляд приладу для визначення коефіцієнта Пуассона і модуля Юнга насіння льону олійного

Дослідження в режимі визначення коефіцієнта Пуассона насіння льону олійного проводили в наступній послідовності. Обрану фракцію насіння, яка підлягала дослідженню, засипали в еластичний стакан і встановлювали в нього поршень, фіксуючи при цьому нульову відмітку на індикаторі. Далі, збільшуючи навантаження на поршень за допомогою гир, деформуємо насіння, що веде до збільшення його поперечних і зменшення повздовжніх розмірів. Виконавши необхідні вимірювання і визначивши Δd і Δl по формулі (3.12), знаходимо значення коефіцієнта Пуассона.

3.4.3 Методика визначення якісних показників роботи обчисувального пристрою.

До якісних показників процесу жнивarki обчисувального типу відносяться: склад обчисаного вороху льону олійного, що надійшов у зону розташування інтегрального шнека (ємність 10, рис.3.1); величина втрат компонентів обчисаного вороху після проходження дослідної партії рослин через експериментальну установку; показник питомої енергоємності процесу.

При цьому обчислювалися:

– середнє зважене арифметичне:

$$\bar{\chi} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i \chi_i}{n}, \quad (3.16)$$

де n – загальна кількість випадків;

χ_i – окреме значення ознаки;

– середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\chi_i - \bar{\chi})^2}{n-1}}, \quad (3.17)$$

– коефіцієнт варіації (у відсотках):

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{\chi}} \cdot 100. \quad (3.18)$$

Витрати потужності на процес обчисування рослин льону олійного фіксувалися за допомогою контрольно-вимірального комплексу (рис. 3.13).



а

б

а – струмові клещі, б – мультиметр

Рисунок 3.13 – Контрольно-вимірвальний комплекс

Питома енергоємність при цьому визначалася за формулою:

$$q_p = \frac{\bar{N}}{Q} \cdot 100, \quad (3.19)$$

де \bar{N} – середня потужність установки, яка визначалась за формулою:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot I_i}{n}, \quad (3.20)$$

де U_i – напруга струму в електричній мережі при i -тому вимірюванні;

I_i – сила струму при i -тому вимірюванні;

n – кількість вимірювань на одному режимі роботи установки.

3.4.4 Методика планування і проведення багатофакторного експерименту.

Глибоке вивчення технології робочих процесів машин у поєднанні з моделюванням процесів є основою системного підходу до вирішення найбільш широких наукових завдань. Метод системного аналізу технологічних процесів включає оптимальне планування експерименту, розробку математичної моделі і прораховування цих процесів на ПК з метою вибору оптимальних параметрів, які зумовлюють якісне протікання певного технологічного процесу.

При вивченні складних явищ або процесів, до яких відноситься процес обчислення рослин льону олійного жнивваркою обчисувального типу, в ході досліджень беруть участь і взаємодіють багато факторів. Приймаючи до уваги, що ці фактори постійно змінюються, завданням оптимізації цих процесів стає багатофакторним, екстремальним. Вирішення подібних завдань, при неповному знанні самого механізму даного явища і тих, що не піддаються опису аналітичними методами можливо при використанні методу математичного планування експерименту [67, 72]. В порівнянні з традиційними методами цей метод має багато переваг, з яких найбільш істотні наступні [22, 29]:

- значно скорочується число дослідів в порівнянні з однофакторним експериментом, де послідовно вивчаються дії кожного чинника;
- з'являється можливість узагальнити матеріали досліджень у вигляді математичної моделі і дати їм статистичну оцінку;
- за рахунок отримання даних про роль взаємодії різних факторів між собою збільшується об'єм отримуваної інформації.

Суть методу математичного планування експерименту полягає в отриманні математичної моделі об'єкту дослідження у вигляді полінома (рівняння регресії), зазвичай, першого або другого ступеня [22, 29, 72]:

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2, \quad (3.21)$$

де η – критерій оптимізації (відгук), яким оцінюється об'єкт дослідження;

β – теоретичні коефіцієнти регресії (β_0 – коефіцієнт регресії при вільному члені, β_i – лінійні коефіцієнти регресії, β_{ij} – коефіцієнти регресії при взаємодії двох факторів, β_{ii} – коефіцієнти регресії при квадратичних членах);

k – кількість факторів;

x_i – незалежні змінні (фактори).

Таким чином, формально метою експерименту є визначення чисельних значень рівняння регресії, а для визначення оптимальних умов протікання

процесів є знаходження значення факторів $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$, відповідних екстремуму функції (3.21), іменованою функцією мети або цільовою функцією.

В даний час розроблено безліч планів другого порядку, що володіють різними властивостями, які дозволяють знайти чисельні значення всіх коефіцієнтів регресії і оцінити помилки експерименту. Для опису області оптимуму математичною моделлю набули найбільшого поширення композиційні рототабельні і ортогональні плани, а також некомпозиційні D-оптимальні плани [22, 29], обґрунтовані на теорії сумісних ефективних оцінок американським математиком Кіфером.

Основною з переваг D-оптимальних планів є те, що вони мінімізують узагальнену дисперсію або об'єм еліпсоїда розслідування оцінок параметрів. Ефективність D-оптимальних планів в концепції Кіфера обумовлюється оптимальним розташуванням точок в просторі факторів, тоді як в теорії ефективних оцінок Фішера ефективність оцінок задається тільки оптимальним способом обробки результатів спостережень.

З експериментальної точки зору D-оптимальні плани заслуговують значної уваги, оскільки припускають варіювання факторів (для опису поверхні відгуку поліномом другого порядку) тільки на трьох рівнях замість 5 рівнів у рототабельних, ортогональних і інших планах. Це створює сприятливі умови при розробці експериментальної установки, спрощує і здешевлює її конструкцію, скорочує час проведення експериментів і дозволяє підвищити точність результатів експериментальних досліджень. Планування експериментальної роботи по дослідженню технологічного процесу обчісувальної жнивarki включає наступні етапи.

1. Вибір найбільш значущих факторів, які впливають на технологічний процес обчісувальної жнивarki.

2. Вибір параметра оптимізації (функції відгуку), яким оцінюється досліджуваний об'єкт і який зв'язує фактори в математичну модель.

3. Кодування факторів, вибір інтервалів і рівнів їх варіювання проводили по наступних формулах:

$$x_i = \frac{X_i - X_{oi}}{\varepsilon}, \quad (3.22)$$

$$\varepsilon = \frac{X_i^B - X_i^H}{2}, \quad (3.23)$$

де x_i – кодоване значення фактора (безрозмірна величина), верхній рівень якого позначається «+1», а нижній – «-1» (в центрі експерименту буде нульовий рівень);

X_i – натуральне значення фактора (іменована величина в розмірності фактора);

X_{oi} – натуральне значення фактора на нульовому рівні;

ε – натуральне значення інтервалу значення фактора;

X_i^B – значення фактора на верхньому рівні;

X_i^H – значення фактора на нижньому рівні.

4. Визначення числа повторювання дослідів для отримання достовірних результатів експерименту. Згідно з рекомендаціями [85] за наслідками багатократних вимірювань однієї і тієї ж величини кількість повторювань повинна лежати в межах $\pm 3\sigma$ (σ – середнє квадратичне відхилення) при надійності досліду $N=0,95$.

5. Проведення рандомізації дослідів, тобто розташування їх один за одним в процесі дослідження у випадковому порядку.

6. Складання матриці планування, тобто складання таблиці, що містить умови проведення дослідів відповідно до обраного плану.

7. Проведення експерименту відповідно до матриці планування.

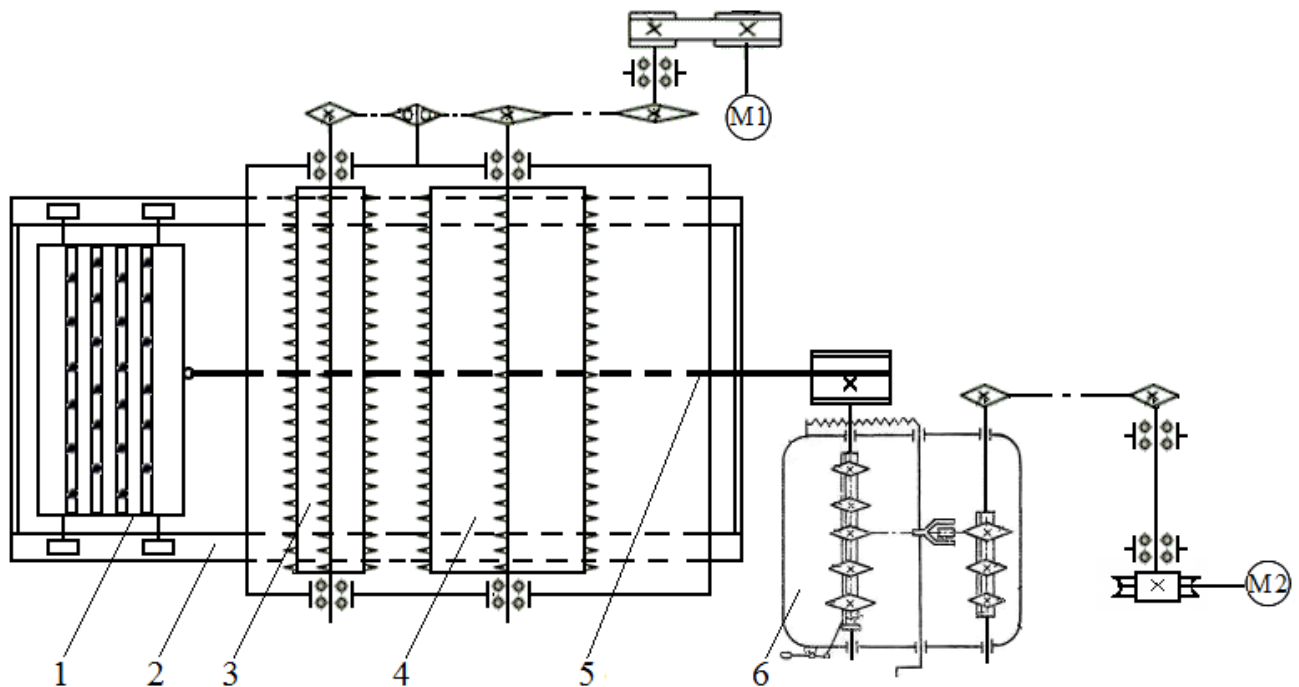
8. Статистичний аналіз моделі другого порядку.

Дослідження процесу збирання насіння льону олійного жнивваркою обчисувального типу проводились за чотирма факторами: частота обертання бітер-відбивача n_1 , частота обертання обчисувального барабана n_2 , положення повітряної сітки L , ширина повітряної сітки B . Діапазони і рівні факторів представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Рівні варіацій факторами експериментальних досліджень

Рівні варіацій факторів	Фактори			
	Частота обертання бітер-відбивача n_1 , об/хв. (x_1)	Частота обертання очісуючого барабана n_2 , об/хв. (x_2)	Положення повітряної сітки L , м (x_3)	Ширина повітряної сітки B , м (x_4)
Верхній рівень (+)	960	920	1	0.6
Основний рівень (0)	780	670	0.8	0.4
Нижній рівень (-)	600	180	0.6	0.2
Інтервал варіацій факторів	180	250	0.2	0.2

Частота обертання бітера-відбивача і обчисувального барабана встановлювалися з використанням відповідних передач експериментальної установки, кінематична схема яких представлена на рис. 3.14.



1 – рухоме поле, 2 – напрямлюючі рейки, 3 – бітер-відбивач,
4 – обчисувальний барабан, 5 – трос, 6 – привід рухомого поля.

Рисунок 3.14 – Кінематична схема лабораторної установки для досліджень процесу збирання насіння льону олійного жнивваркою обчисувального типу

Положення і ширина повітряної сітки встановлювалися шляхом перекривання пластиною активної зони (рис.3.15), через яку здійснюється видалення легких та дрібних (пиловидних) часточок обчісаного вороху льону олійного.



Рисунок 3.15 – Повітряна сітка кожуха обчісувальної жниварки

Експериментальні дослідження були проведені із застосуванням D-оптимального плану Бокса-Бенкіна другого порядку для 4 факторів. Матрицю плану представлено в таблиці додатка Е із загальною кількістю дослідів – 27. Повторність була триразова.

Критеріями оцінки процесу сепарації вороху в жниварці обчісувального типу є масова частка відходу лушпиння і часточок стебла з області жниварки δ_h (2.67), масова частка відходу насіння і коробочок із насінням з області жниварки δ_s (2.68) і середня потужність P , що споживається експериментальною установкою. Середня потужність P визначалася з використанням електролічильника як відношення вимірної електроенергії до часу роботи установки. Електрична схема живлення експериментальної установки представлена на рисунку 3.16.

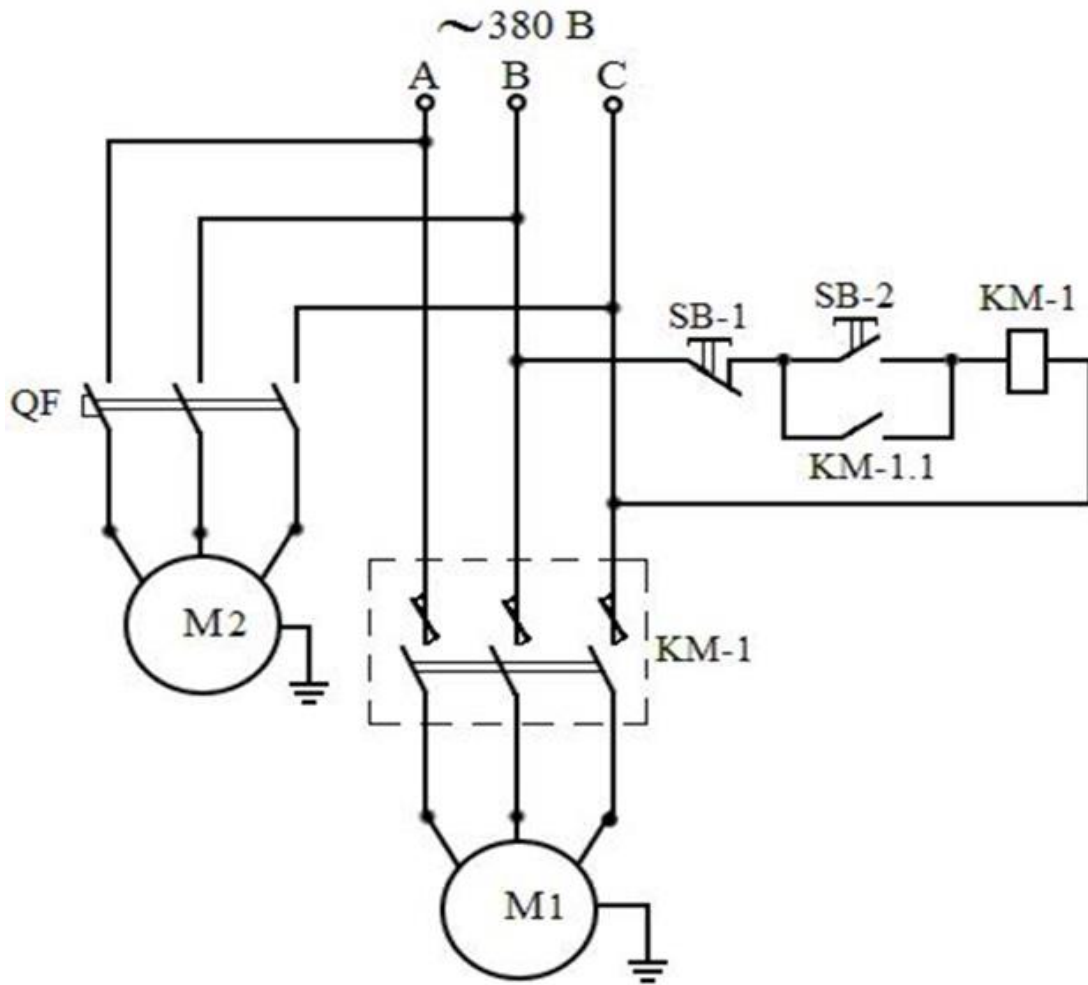


Рисунок 3.16 – Електрична схема живлення експериментальної установки для дослідження процесу обчісування рослин на корені

Методологічна схема реалізації процесу збирання насіння льону олійного жнивваркою обчісувального типу в експериментальних умовах представлена на рисунках 3.17.

Підготовлені рослини певного сорту льону закріплювали у спеціальних затискачах, що забезпечували відсутність виривання стебла під час взаємодії з гребінками обчісувального барабана експериментальної установки. За допомогою виміральної лінійки рослини встановлювали на висоті відносно обтікача та барабана установки, що відповідала реальним умовам при збиранні культури обчісувальною жнивваркою. Що впливає на якісні показники роботи жнивварки обчісувального типу, властивості стебла та компонентів обчісаного вороху льону олійного.



а



б



в

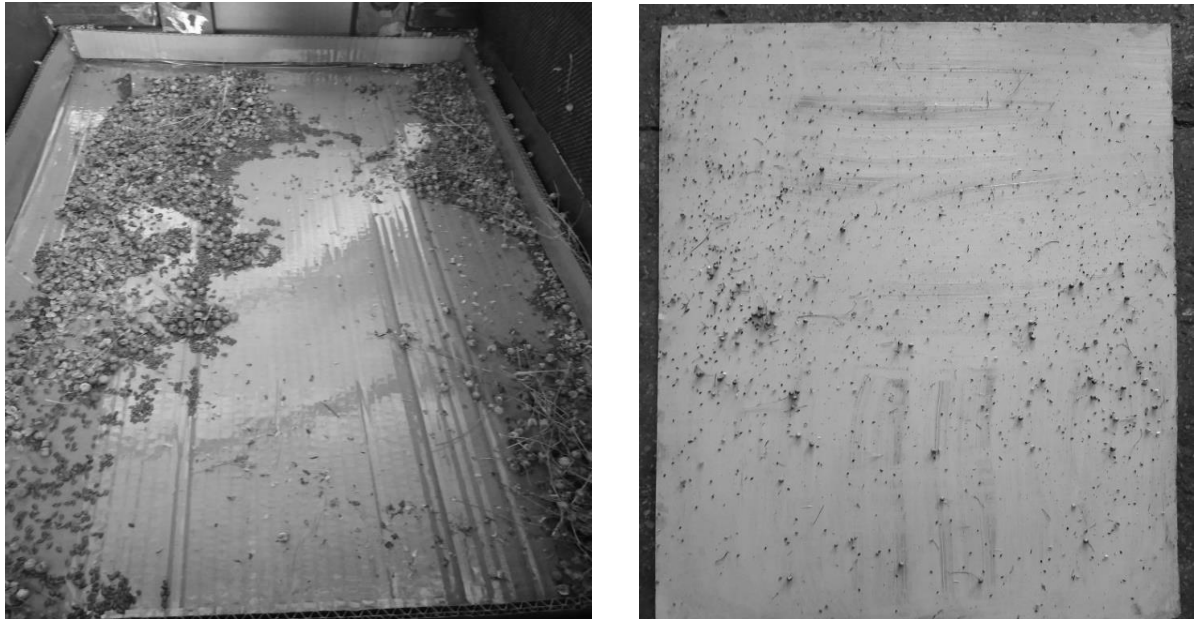


г

а – підготовка і закріплення рослин; б – визначення розмірних характеристик рослин; в – обчісування рослин; г – стеблова частина після обчісування

Рисунок 3.17 – Методологічна схема реалізації процесу збирання насіння льону олійного жнивваркою обчісувального типу в експериментальних умовах

Після проведення чергового експерименту визначали кількісний та якісний склад обчисаного вороху, який потрапляв до збирального лотка цільової фракції та втрат компонентів обчисаного вороху (рис.3.18).



а

б

а – лоток для цільової фракції вороху; б – лоток для збору втрат

Рисунок 3.18 – Ємності для збору компонентів обчисаного вороху

При визначенні складу компонентів та їх кількісної характеристики з вороху виділялися обчисане гребінками барабана експериментальної установки насіння льону олійного, необчисані коробочки з насінням, лушпиння коробочок та часточки стебла рослин.

3.5 Методика проведення виробничих випробувань жниварки.

Технічні параметри обчисувальної жниварки визначають шляхом прямих і непрямих вимірювань геометричних і вагових параметрів елементів конструкції. Агротехнічна оцінка процесу збирання насіння льону олійного включала визначення умов проведення дослідження та характеристик культури, що збирається.

Характеристику рослин льону олійного (висоту рослини, природні втрати від розкриття коробочок, густоту) визначали на полі уздовж проходу збиральних агрегатів за допомогою рамки $0,5 \times 0,5$ м, відступивши на 1 м з кожного боку в глибину проходу жниварки, виділяли 10 ділянок (по п'ять на кожній стороні

проходу комбайна). Природні втрати визначали шляхом збору насіння з поверхні ґрунту, його зважування і обчислення середнього значення показника.

Висоту рослин в природному стані визначали на кожній ділянці у двадцяти рослин, обраних випадково з обчисленням середнього значення. Вологість насіння визначали із застосуванням вологоміра.

Для визначення показників якості роботи обчісуючої жниварки на обраній ділянці поля зернозбиральні комбайни з жаткою прямого зрізу виконували технологічне прокошування. По обидва боки прокоси комбайна з досліджуваною обчісувальною жниваркою виконували облікові проходи. На облікових ділянках довжиною 50м агрегат рухався без зупинок, з заміром часу його проходження.

В кінці облікової ділянки агрегат зупиняли, домолочували масу, що залишилася в комбайні, протягом 30 с, і після зупинки молотарки комбайна вивантажували зерно з бункера, зважуючи його. Масу зерна з облікової ділянки використовували в подальшому при розрахунку втрат зерна за жниваркою.

Показники якості роботи жаток визначали на робочих швидкостях: для прямого зрізу – 1,5 м/с, обчісування – 2,5 м/с. Параметри налагодження робочих органів жниварок на робочих швидкостях не змінювали.

Масову частку втрат зерна за жаткою в необчісаних коробочках ($\Delta q_{нк}$, %) розраховували за формулою:

$$\Delta q_{нк} = \frac{10 \cdot \Delta q_{нк}}{S_1 \cdot Y_n}, \quad (3.24)$$

де $\Delta q_{нк}$ – втрати зерна в необчісаних коробочках;

S_1 – площа рамки для обліку втрат насіння в необчісаних коробочках, м²;

Y_n – врожайність насіння з облікової ділянки, ц/га.

Урожайність насіння Y_n , ц/га) визначалася за формулою:

$$Y_n = \frac{G_n \cdot Z_m}{L \cdot B_{жс}}, \quad (3.25)$$

де Z_m – вміст насінневого матеріалу (основного насіння та домішок полови, коробочок) в насінні та бункері комбайна, %;

$B_{ж}$ – ширина захвату жниварки, м;

$q_{нк}$ – втрати вільним насінням за жниваркою, г;

$q_{зс}$ – втрати зламаними стеблами, г;

S_2 – площа рамки для визначення втрат вільним насінням, м²;

Втрати насіння в зламаних стеблах льону $\Delta q_{зс}$ визначали за формулою:

$$q_{зс} = \frac{10 \cdot q_{вн}}{S_1 \cdot Y_n} \quad (3.26)$$

Втрати вільним насінням за жниваркою ($\Delta q_{вн}$, %) визначали за формулою:

$$\Delta q_{вн} = \frac{10 \cdot q_{вн}}{S_2 \cdot Y_n} - \frac{10 \cdot \bar{q}_e}{S \cdot Y_n}, \quad (3.27)$$

де \bar{q}_e – середнє значення природних втрат від висипання, г;

S – площа рамки для визначення втрат насінням від висипання, м².

Сумарні втрати насіння ($\Delta q_{жс}$, %) визначали за формулою:

$$\Delta q_{жс} = \Delta q_{зс} + \Delta q_{вн} + \Delta q_{нк}. \quad (3.28)$$

Енергетична оцінка технологічного процесу збирання насіння льону олійного обчислюванням передбачала визначення енергетичних показників технологічного процесу збирання за допомогою вимірювання і обчислення різниці фактичних витрат палива на намот одного бункера насіння при роботі з серійною жниваркою прямого зрізу і з обчисувальною жниваркою.

Визначення витрат палива проводилися одночасно з визначенням показників агротехнічної оцінки за даними витратомірів на комбайні. Продуктивність збирального агрегата (W_o , га/ч; т/ч) на виконанні основного технологічного процесу визначали за формулою:

$$W_o = 0,1 B_{ж} \cdot V_p, \quad (3.29)$$

де V_p – робоча швидкість агрегата, км/год.

Питома витрата палива (q_n , г/га; кг/т) на виконання технологічного процесу за час намоту одного бункера насіння визначали за формулою:

$$q_n = \frac{Q_n / T_n}{0,1 \cdot B_{жс} \cdot V_p \cdot T_n}, \quad (3.30)$$

де T_n – тривалість роботи комбайна (під навантаженням, на поворотах, холостому ходу) за час намолоту одного бункера, год;

Q_n – фактичні витрати палива комбайном під навантаженням, поворотах і при холостому ходу за час намолоту одного бункера, кг/год.

Різниця величин фактичних ($Q_n^{\bar{b}}$, кг/га; кг/т) і питомих (Q_n^H , кг/га; кг/т) витрат комбайном визначались:

$$\Delta Q = Q_n^{\bar{b}} - Q_n^H, \quad (3.31)$$

$$\Delta q = q_n^{\bar{b}} - q_n^H, \quad (3.32)$$

де \bar{b} і H – індекси фактичних і питомих витрат палива при роботі комбайнів з серійною жнивarkою прямого зрізу і експериментальною жнивarkою обчісувального типу.

3.6 Висновки по розділу

1. Розроблені програма і методики експериментальних досліджень, експериментальна і лабораторні установки, а також вимірювальні прилади дозволяють встановити закономірності процесу збирання насіння льону олійного жнивarkою обчісувального типу, перевірити достовірність теоретичних передумов і знайти раціональне співвідношення досліджуваних параметрів жнивarki.

2. Розроблена і виготовлена лабораторна установка складалася з експериментального обчісувального пристрою, в якому передбачена можливість зміни конструктивно-режимних параметрів жнивarki.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ЖНИВАРКОЮ ОБЧІСУВАЛЬНОГО ТИПУ

Експериментальні дослідження процесу обчісування рослин льону олійного жнивваркою обчісувального типу проведені згідно з типовими методиками і передбачали перевірку теоретичних передумов та визначення раціональних конструктивно-режимних параметрів жнивварки.

Завданням аналізу експериментальних даних було: визначення закономірностей процесу збирання насіння льону олійного жнивваркою обчісувального типу з метою підвищення ефективності її роботи.

При експериментальних дослідженнях фізичних моделей жнивварки обчісувального типу при збиранні насіння льону олійного особлива увага була спрямована на такі показники: повнота збирання та втрати насіння та коробочок з насінням; відхід з області жнивварки механічних домішок у вигляді часточок стебла і лушпиння; енергоємність процесу обчісування в залежності від конструктивно-режимних параметрів.

4.1 Результати дослідження фізико-механічних властивостей рослин та компонентів обчісаного вороху льону олійного

Дослідження робочого процесу жнивварки обчісувального типу і обґрунтування її раціональних конструктивно-режимних параметрів не можливе без всестороннього вивчення основних біометричних показників льону олійного та фізико-механічних властивостей, з одного боку, стеблової частини рослин льону олійного, а з іншого – властивостей компонентів обчісаного вороху, до яких відносяться: висота рослин, ширина розгалуження, кількість стебел та коробочок, об'ємна маса тощо.

4.1.1 Фізико-механічні властивості стебла льону олійного

Приймаючи до уваги те, що на якість процесу збирання насіння льону олійного впливають біометричні показники рослин, дослідження виконані для

основних сортів культур, що вирощуються в Україні (селекції Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України): Орфей, Дебют та Водограй. Дослідження проводили за методикою, що представлена в розділі 3.

Результати досліджень біометричних показників льону олійного представлені в таблиці 4.1, а фізико-механічні властивості стебла рослин досліджуваних сортів – в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Біометричні показники льону олійного

Значення	Висота рослин, см	Технічна довжина рослин, см	Ширина зони розгалуження рослин, см	Кількість стебел, шт.	Кількість коробочок, шт.	Кількість насіння, шт.	Маса 1000 насінин, г	Маса однієї рослини, г	Потенційна врожайність, т/га
Орфей									
Мін.	50	43	7	1	15	6	3,2	0,8	22,5
Макс.	75	65	15	2	25	14	4,5	1,2	24,3
Середнє	62,5	54	11	1,5	20	10	3,85	1	23,4
Дебют									
Мін.	52	45	8	1	14	7	3,1	0,9	21,5
Макс.	76	60	16	1,5	22	15	4,3	1,1	23,8
Середнє	64	52,5	12	1,25	18	11	5,25	1	22,65
Водограй									
Мін.	46	42	7,5	1	15	8	3	0,75	21,8
Макс.	70	62	14	2	23	16	4,2	1,5	22,6
Середнє	58	52	10,75	1,5	17	12	3,6	1,1	22,2

Аналіз отриманих результатів по вивченню основних біометричних показників рослин льону олійного у переліку досліджуваних сортів (табл.4.1) за середніми значеннями кількісних характеристик є досить близькими, що вказує на значну їх вирівненість. Дещо більшу висоту рослин, кількість коробочок з насінням, масу 1000 насінин та потенційну врожайність можна спостерігати для

сорту льону олійного Водограй. Отримані кількісні біометричні характеристики співпадають з результатами відомих досліджень [11, 66].

Таблиця 4.2 – Фізико-механічні властивості стебла льону олійного

Характеристика	№ повторності										Середнє значення
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Пластична деформація стебла, град	10	15	13	16	14	15	13	15	15	12	13,8
Час Δt , часткового відновлення стеблової частини, с	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6	0,58
Межа міцності стебла, град	72	70	80	75	76	82	81	80	73	76	76,5
Зусилля розриву, кг	13	12	15	14	16	12	11	14	15	16	13,8

Аналіз даних таблиці 4.2 вказує на те, що в період збирання насіння льону олійного його стебла мають високі показники пружності, що характеризує їх здатність часткового відновлення після зняття попереднього навантаження, що необхідно враховувати при виборі взаємного розташування робочих органів, зокрема між обтікачем та обчісувальним барабаном жнивarki.

4.1.2 Дослідження зусилля витягування з ґрунту стебел льону олійного

Важливими чинниками впливу на якість протікання процесу обчісування рослин є зусилля зв'язку їх кореневої системи з ґрунтом та зусилля розриву стебла. Дослідження цих показників здійснювали в польових умовах в період збирання врожаю. Вологість ґрунту на час проведення досліджень становила в межах від 20 до 30%. Кількість стебел кожного сорту льону олійного, що підлягали дослідженню, складала 50 шт., вологість стеблостою льону знаходилися в межах $W=32...36\%$. дослідження проводилися для сортів льону олійного: Дебют, Водограй і Орфей. Одержані результати досліджень зусилля

витягування стебел з ґрунту Q , кг та зусилля розриву рослин представлені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати визначення зусилля витягування з ґрунту та розриву стебел льону олійного

Параметр	Сорти льону		
	Дебют	Водограй	Орфей
Зусилля витягування стебела з ґрунту, Q кг	3...10	2...9	4...12
Зусилля розриву, кг	4...16	2...12	5...15

Аналіз результатів дослідження показує, що зусилля витягування стебел льону олійного з ґрунту Q для різних сортів змінюється в межах від 2 до 12 кг. Порівняння зусилля витягування стебел Q льону олійного з ґрунту з розривним навантаженням стебла $F_{розр.}$ у прикореневій частині для сортів, що досліджувалися, показує, що лише для сорту Водограй $Q \geq F_{розр.}$. Для інших сортів, а саме – Дебют та Орфей $Q > F_{розр.}$.

Таким чином, зусилля витягування рослин льону олійного при виконанні процесу обчісування повинно бути більше 3 кг, що зумовлює якісне виконання технологічного процесу збирання насіння. Це зумовлює мінімальне надходження стеблової маси в молотилку та зменшує вміст часточок стебел льону олійного у бункері збирального комбайна.

4.1.3 Фізико-механічні властивості компонентів обчісаного вороху льону олійного

Ефективність сепарації обчісаного вороху в області жнивarki значною мірою визначається фізико-механічними властивостями його компонентів та швидкості повітряного потоку, який утворюється бітером-відбивачем та обчісувальним барабаном жнивarki. При проведенні досліджень визначали фізико-механічні властивості насіння, коробочок з насінням, лушпиння коробочок та часточок стебла рослин, що подаються в камеру жнивarki при

обчісуванні стеблестою. Середні значення кількісних характеристик компонентів вороху льону олійного сорту Орфей представлено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Фізико-механічні властивості компонентів вороху льону олійного сорту Орфей

Властивості	Насіння	Коробочки із насінням	Лушпиння коробочок	Часточки стебла
Об'ємна маса, кг/м ³	710	90	60	30
Модуль пружності Юнга, МПа	0,2	0,3	0,1	0,1
Коефіцієнт Пуассона	0,5	0,8	0,6	0,5
Масова частка у вороху, %	40	10	40	10

4.1.4 Аеродинамічні властивості компонентів обчісаного вороху

Наступним етапом експериментальних досліджень було визначення аеродинамічних властивостей компонентів обчісаного вороху льону олійного з метою оцінювання їх швидкості витання. Експериментальні дослідження проведені на вертикальному каналі, у якому варіювали швидкість повітряного потоку та подавали заданий обчісаний ворох льону олійного відповідно до програми досліджень.

В результаті дослідів отримані швидкості витання основних компонентів обчісаного вороху льону олійного сортів Орфей, Водограй та Дебют (рис.4.1).

Вивчення аеродинамічних властивостей обчісаного вороху льону олійного сортів Орфей, Водограй та Дебют проводили на кафедрі «Сільськогосподарські машини» Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Перед дослідженнями, визначали вологість, для цього використовували сушильну шафу СЕШ-ЗМУ. Вологість зразків склала 8,3%. Досліджували швидкість витання компонентів обчісаного вороху за допомогою класифікатора РПК-30 та методикою, що викладена в розділі 3. Результати дослідження представлено на рисунку 4.1.

Аналізом отриманих результатів аеродинамічних властивостей компонентів вороху льону олійного встановлено, що швидкість їх витання змінюється в межах

від 1 м/с до 6 м/с. Отримані результати дослідження не суперечать результатам відомих досліджень властивостей льону олійного [65, 66] у розрізі досліджуваних сортів.



Рисунок 4.1 – Швидкість витання компонентів обчисаного вороху льону олійного

4.2 Дослідження конструктивно-режимних параметрів жниварки обчисувального типу

Теоретичними дослідженнями встановлено, що процес збирання насіння льону олійного розробленою жниваркою обчисувального типу залежить від її конструктивно-режимних параметрів. Обробкою результатів чисельного моделювання процесу сепарації вороху в жниварці обчисувального типу з криволінійною формою кожуха із врахуванням фізико-механічних властивостей його компонентів (п.2.4) встановлено, що значущими факторами процесу є такі конструктивно-режимні параметри: частота обертання бітера-відбивача n_1 і обчисувального барабана n_2 , положення прозорої зони границі L і її ширини B .

В результаті експериментальних досліджень встановлено траєкторії руху компонентів обчисаного вороху в області жниварки обчисувального типу (рис.4.2), що зумовлені фізико-механічними властивостями компонентів обчисаного вороху та швидкістю повітряного потоку в області жниварки. Візуалізацією траєкторій

руху компонентів обчісаного вороху (рис.4.2) встановлено, що частинки стебел, лушпиння та пиловидні фракції мають більш похилу траєкторію руху у порівнянні із насінням льону олійного та коробочок з насінням, що зумовлює відхід більш легких компонентів через сітку кожуха жниварки.

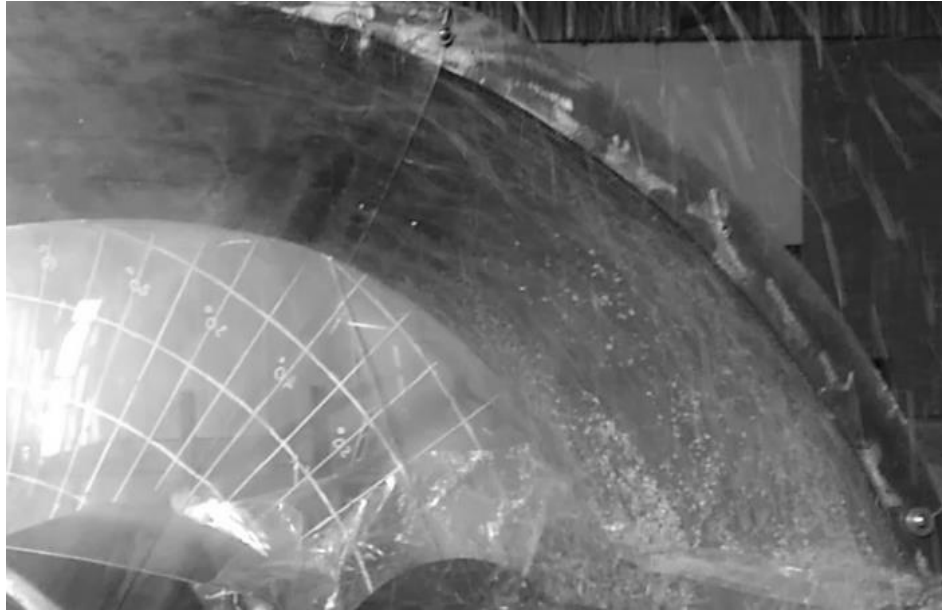


Рисунок 4.2 – Траєкторії руху компонентів вороху в області жниварки обчісувального типу

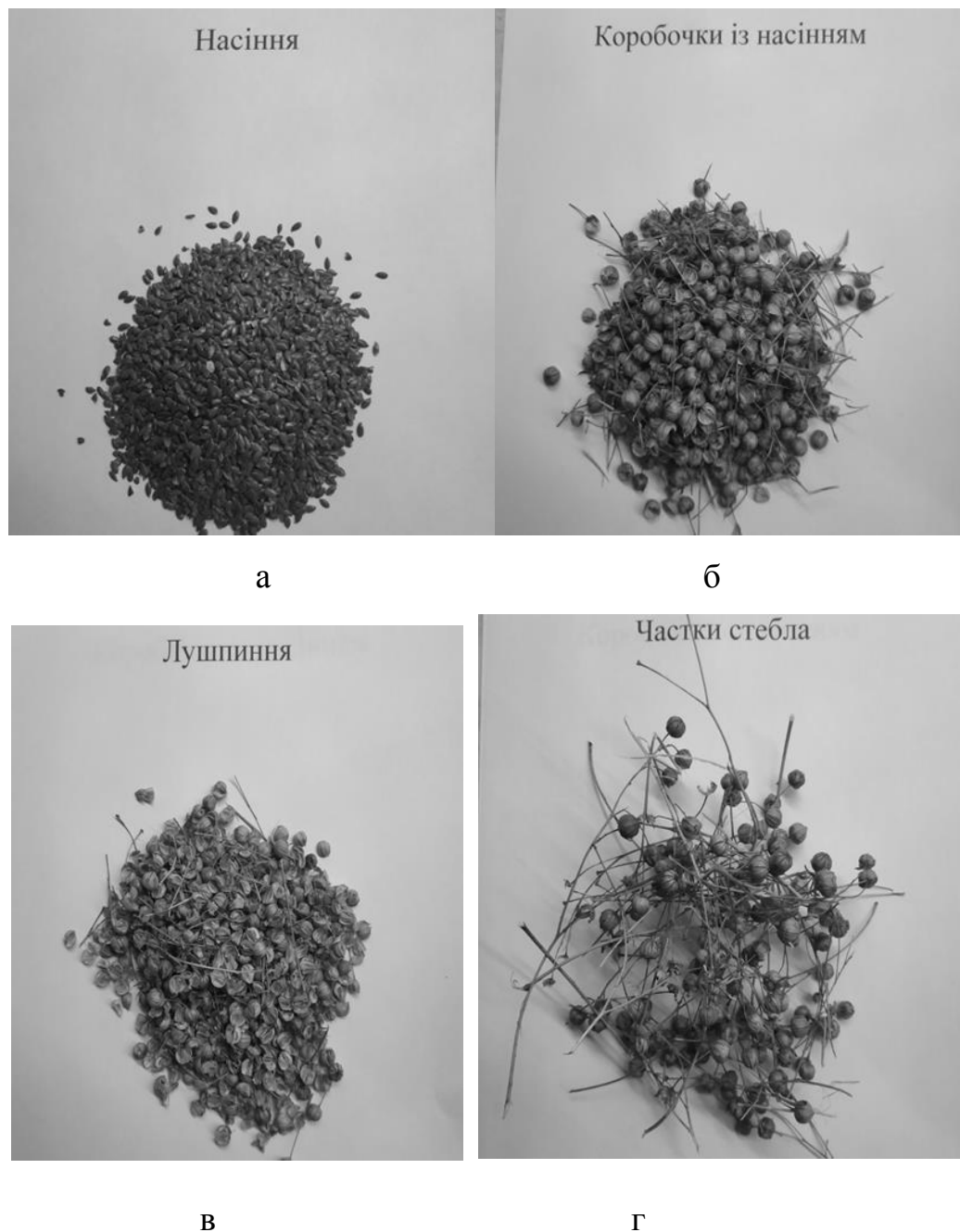
Результати експериментальних досліджень процесу збирання насіння льону олійного жниваркою обчісувального типу зведені в таблицю додатка Ж.

Загальний вигляд компонентів обчісаного вороху льону олійного представлено на рисунку 4.3.

Для кожного дослідження було розраховано масову частку відходу лушпиння і часточок стебла з області жниварки δ_h та з використанням програмного пакету Wolfram Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено залежність від факторів дослідження у закодованому вигляді:

$$\begin{aligned} \delta_h = & 41,5584 + 164012x_1 + 0,886248x_1^2 - 6,31347x_2 - 1,00102x_1x_2 - \\ & - 1,76295x_2^2 + 3,39003x_3 + 0,534828x_1x_3 + 0,146541x_2x_3 - \\ & - 1,34309x_3^2 + 8,52373x_4 + 1,48706x_1x_4 - 2,7061x_2x_4 - \\ & - 0,387163x_3x_4 + 0,389504x_4^2 \end{aligned} \quad (4.1)$$

Проведена статистична обробка отриманого рівняння (4.1) зведена в табл. 4.5.



а – насіння; б – коробочки з насінням; в – лушпиння; г – часточки стебла
 Рисунок 4.3 – Загальний вигляд компонентів обчисаного вороху льону
 олійного

Аналіз табл. 4.5 дозволяє скоротити незначущі коефіцієнти в рівнянні (4.1) і представити його у розкодованому вигляді:

$$\begin{aligned}
 \delta_h = & 17,6018 + 60,7155B + 9,73761B^2 + 62,9574L - 9,67908BL - \\
 & - 33,5772L^2 - 0,0412674n_1 + 0,0413073Bn_1 + 0,0148563Ln_1 + \\
 & + 0,0000273533n_1^2 + 0,0920035n_2 - 0,0751693Bn_2 - \\
 & - 0,0000308956n_1n_2 - 0,000054412n_2^2
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Таблиця 4.5 – Статистична обробка рівняння (4.1)

Коефіцієнт	Стандартна похибка	t-Критерій Стьюдента	Ймовірність помилки при відхиленні
a_{00}	0,473608	87,7486	$3,08864 \cdot 10^{-91}$
a_{10}	0,236804	6,92607	$5,52276 \cdot 10^{-10}$
a_{20}	0,236804	-26,6612	$2,43919 \cdot 10^{-45}$
a_{30}	0,236804	14,3157	$3,04199 \cdot 10^{-25}$
a_{40}	0,236804	35,9949	$2,16482 \cdot 10^{-56}$
a_{12}	0,410157	-2,44058	0,0165579
a_{13}	0,410157	1,30396	0,195465
a_{14}	0,410157	3,6256	0,00047027
a_{23}	0,410157	0,35728	0,721692
a_{24}	0,410157	-6,59771	$2,5226 \cdot 10^{-9}$
a_{34}	0,410157	-0,94394	0,347646
a_{11}	0,355206	2,49503	0,0143585
a_{22}	0,355206	-4,96317	$3,12638 \cdot 10^{-6}$
a_{33}	0,355206	-3,78116	0,000275684
a_{44}	0,355206	1,09656	0,275666

З врахуванням максимізації масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki δ_h отримуємо раціональні параметри першого наближення:

$$\delta_h = 64,9 \%, n_1 = 960 \text{ об/хв.}, n_2 = 490 \text{ об/хв.}, L = 1 \text{ м.}, B = 0,6 \text{ м.} \quad (4.3)$$

Фіксуючи по чергово фактори досліджень на певному рівні згідно з (4.3), побудували на рисунку 4.4 графічні інтерпретації залежності (4.2).

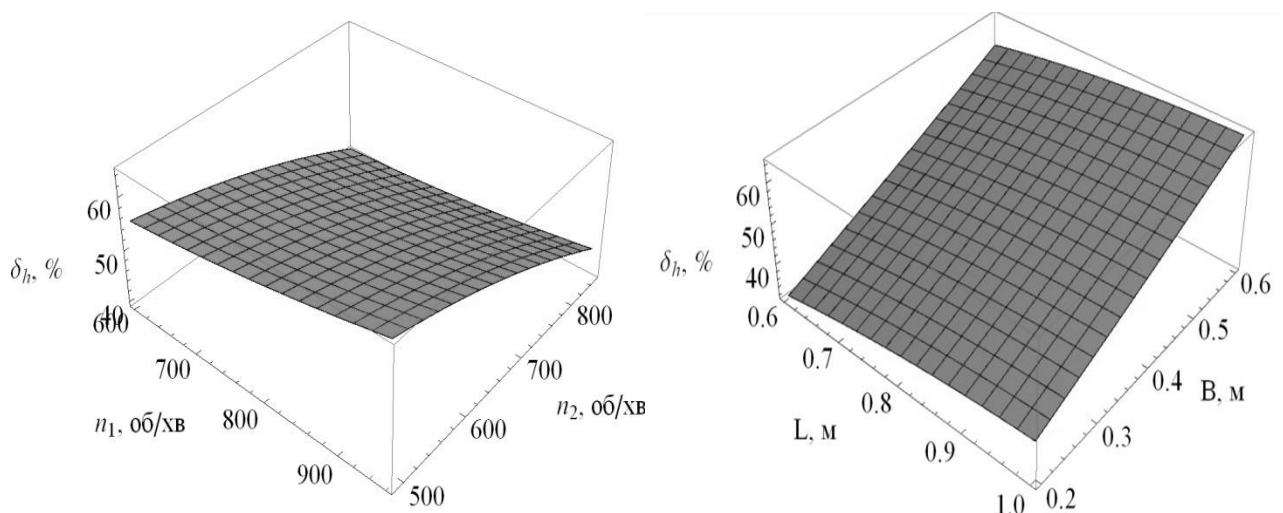


Рисунок 4.4 – Залежність масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki δ_h від факторів досліджень при фіксованих значеннях (4.3)

Як видно з рис. 4.4. із збільшенням частоти обертання n_1 , положення L і ширини B повітряної сітки масова частка відходу δ_s збільшується. В свою чергу із збільшенням частоти обертання n_2 масова частка відходу δ_h зменшується.

Для кожного варіанту досліджу було розраховано масову частку відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s та з використанням програмного пакету Wolfram Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено залежність від факторів досліджень у закодованому вигляді:

$$\begin{aligned} \delta_h = & 3,97364 - 1,283x_1 + 1,13561x_1^2 + 4,10254x_2 - 0,246487x_1x_2 + \\ & + 8,6198x_2^2 + 0,61405x_3 + 0,167918x_1x_3 - 0,000607501x_2x_3 - \\ & - 0,0987031x_3^2 - 1,32029x_4 - 1,2141x_1x_4 - 2,0635x_2x_4 - \\ & - 0,158931x_3x_4 + 0,0344613x_4^2. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Проведена статистична обробка отриманого рівняння (4.4) зведена в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Статистична обробка рівняння (4.4)

Коефіцієнт	Стандартна похибка	t-Критерій Стьюдента	Ймовірність помилки при відхиленні
a_{00}	0,174558	22,7619	$8,54305 \cdot 10^{-40}$
a_{10}	0,087279	-14,7007	$5,45187 \cdot 10^{-26}$
a_{20}	0,087279	47,0073	$1,30572 \cdot 10^{-66}$
a_{30}	0,087279	7,03639	$3,2994 \cdot 10^{-10}$
a_{40}	0,087279	-15,1256	$8,34494 \cdot 10^{-27}$
a_{12}	0,151172	-1,63073	0,106328
a_{13}	0,151172	1,11132	0,269296
a_{14}	0,151172	-8,03006	$2,93288 \cdot 10^{-12}$
a_{23}	0,151172	-0,00325929	0,997406
a_{24}	0,151172	-13,6517	$6,15735 \cdot 10^{-24}$
a_{34}	0,151172	-1,0533	0,294933
a_{11}	0,130919	8,67205	$1,3148 \cdot 10^{-13}$
a_{22}	0,130919	65,84	$8,07732 \cdot 10^{-80}$
a_{33}	0,130919	-0,752059	0,453915
a_{44}	0,130919	0,262781	0,793301

Аналіз табл. 4.6 дозволяє скоротити незначущі коефіцієнти в рівнянні (4.4) і представити його у розкдованому вигляді:

$$\begin{aligned} \delta_h = & 105,398 + 61,2868B + 4,96947L - 3,97328BL - 2,46758L^2 - \\ & - 0,0469495n_1 - 0,033725Bn_1 + 0,00466438Ln_1 + \\ & + 0,0000350496n_1^2 - 0,304844n_2 - 0,0573195Bn_2 - \\ & - 7,60763 \cdot 10^{-6} n_1n_2 + 0,000266243n_2^2. \end{aligned} \quad (4.5)$$

З врахуванням мінімізації масової частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s отримуємо раціональні параметри першого наближення:

$$\delta_s = 0,47 \%, n_1 = 960 \text{ об/хв.}, n_2 = 651 \text{ об/хв.}, L = 0,6 \text{ м.}, B = 0,6 \text{ м.} \quad (4.6)$$

Фіксуючи по чергово фактори досліджень на певному рівні згідно з (4.6), побудованими на рисунку 4.5 графічні інтерпретації залежності (4.5).

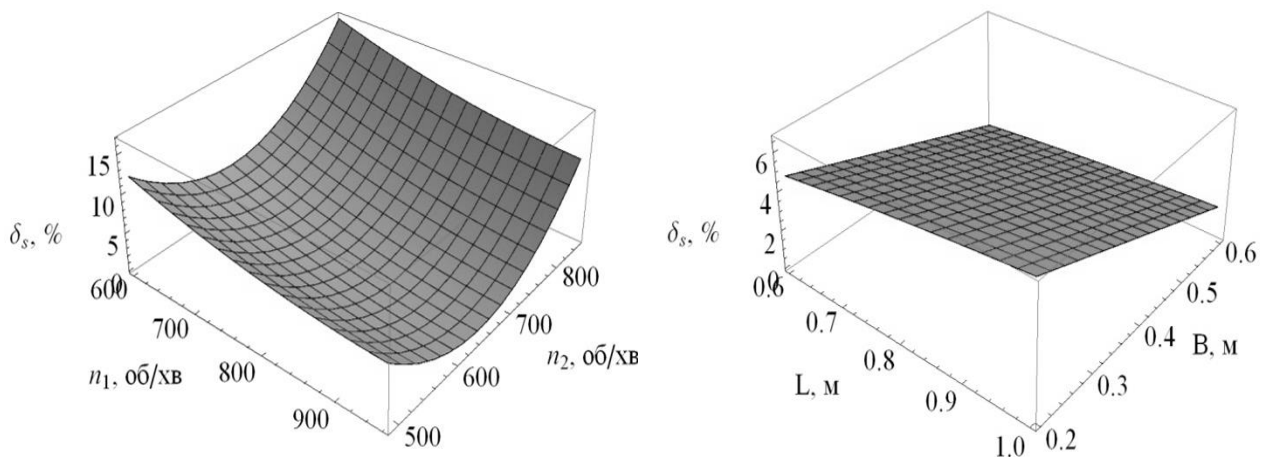


Рисунок 4.5 – Залежність масової частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s від факторів досліджень при фіксованих значеннях (4.6).

Як видно з рис. 4.5, із збільшенням частоти обертання n_1 і ширини повітряної сітки B , а також із зменшенням значення положення повітряної сітки L масова частка відходу δ_s зменшується. В свою чергу для частоти обертання n_2 є оптимум ($n_2 = 651$ об/хв.), при якому масова частка відходу δ_s є мінімальною в заданому діапазоні факторів. Це дозволяє стверджувати про якісне протікання технологічного процесу обчисування рослин льону олійного при мінімальному відході із області жнивarki цільової фракції.

Для кожного варіанту досліду було визначено середню потужність, що споживається установкою P та з використанням програмного пакету Wolfram Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено залежність від факторів досліджень у закодованому вигляді:

$$\begin{aligned}
 P = & 2,90832 + 0,144157x_1 - 0,0578619x_1^2 + 0,289464x_2 - 0,05x_1x_2 - \\
 & - 0,0828869x_2^2 - 0,0125x_3 + 6,59195 \cdot 10^{-17} x_1x_3 - 0,04375x_2x_3 - \\
 & - 0,0583333x_3^2 - 0,229583x_4 - 0,0125x_1x_4 - 0,0375x_2x_4 - \\
 & - 0,00625x_3x_4 - 0,00520833x_4^2.
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

Проведена статистична обробка отриманого рівняння (4.7) зведена в таблицю 4.7.

Таблиця 4.7 – Статистична обробка рівняння (4.7)

Коефіцієнт	Стандартна похибка	t-Критерій Стьюдента	Ймовірність помилки при відхиленні
a_{00}	0,043587	66,7245	$2,39512 \cdot 10^{-80}$
a_{10}	0,0217935	6,61468	$2,33345 \cdot 10^{-9}$
a_{20}	0,0217935	13,2821	$3,3568910^{-23}$
a_{30}	0,0217935	-0,573565	0,567646
a_{40}	0,0217935	-10,5345	$1,52775 \cdot 10^{-17}$
a_{12}	0,0377475	-1,32459	0,188552
a_{13}	0,0377475	$1,74633 \cdot 10^{-15}$	1
a_{14}	0,0377475	-0,331148	0,741278
a_{23}	0,0377475	-1,15902	0,249416
a_{24}	0,0377475	-0,993444	0,323071
a_{34}	0,0377475	-0,165574	0,868852
a_{11}	0,0326903	-1,77	0,0800038
a_{22}	0,0326903	-2,53552	0,0128964
a_{33}	0,0326903	-1,78443	0,0776156
a_{44}	0,0326903	-0,159324	0,873759

Аналіз табл. 4.7 дозволяє скоротити незначущі коефіцієнти в рівнянні (4.7) і представити його у розкодованому вигляді:

$$\begin{aligned}
 P = & -3,23992 - 0,45B + 3,14757L - 1,45833L^2 + 0,00462077n_1 - \\
 & -1,78586 \cdot 10^{-6} n_1^2 + 0,00762877n_2 - 0,00104167Bn_2 - \\
 & -0,00121528Ln_2 - 1,54321 \cdot 10^{-6} n_1n_2 - 2,55824 \cdot 10^{-6} n_2^2.
 \end{aligned}
 \tag{4.8}$$

Із врахуванням мінімізації середньої потужності, що споживається установкою P , отримуємо раціональні параметри першого наближення:

$$P = 1,98 \text{ Вт}, n_1 = 600 \text{ об/хв.}, n_2 = 490 \text{ об/хв.}, L = 0,6 \text{ м.}, B = 0,6 \text{ м.} \tag{4.9}$$

Фіксуючи по чергово фактори досліджень на певному рівні згідно з (4.9), побудували на рисунку 4.6 графічні інтерпретації залежності (4.8).

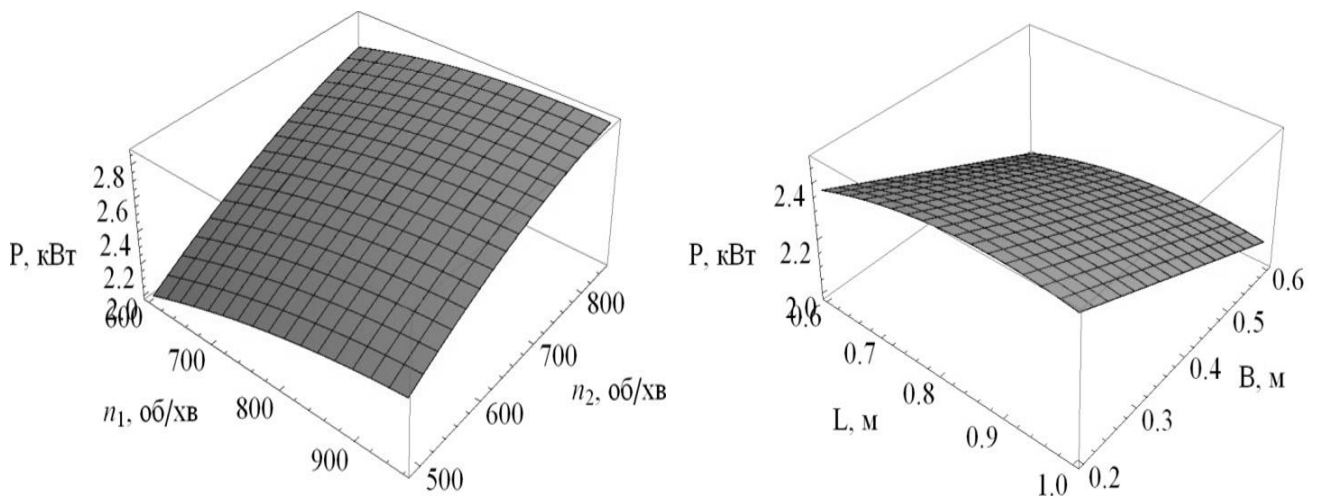


Рисунок 4.6 – Залежність середньої потужності, що споживається установкою P від факторів досліджень при фіксованих значеннях (4.9)

Як видно з рис. 4.6 із збільшенням частот обертання n_1 і n_2 , а також із зменшенням ширини повітряної сітки B середня потужність, що споживається установкою P , збільшується. В свою чергу положення повітряної сітки L практично не впливає на зазначений критерій досліджень.

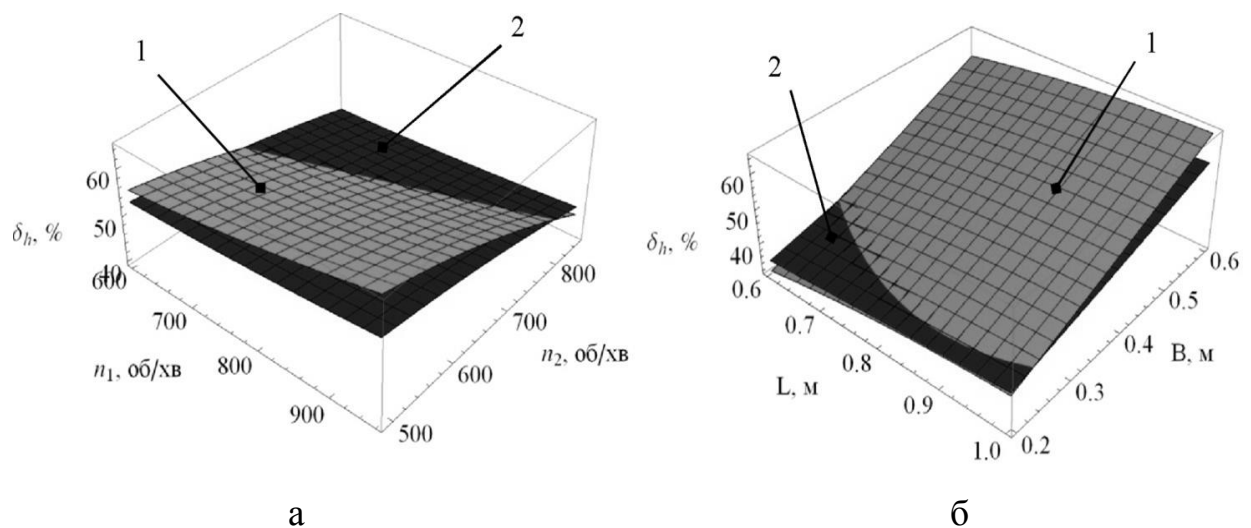
Вирішуючи компромісну задачу, а саме максимізації масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki δ_h , мінімізації частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s і мінімізації спожитої потужності P отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри жнивarki обчисувального типу: частота обертання бітера-відбивача $n_1 = 892$ об/хв., частота обертання обчисувального 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 з області жнивarki складає $\delta_h = 47,5 \%$, частка відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki, відповідно, складає $\delta_s = 2,1 \%$, а потужність, що споживається експериментальною установкою, дорівнює $P = 2,7$ кВт.

4.3 Порівняльний аналіз результатів теоретичних й експериментальних досліджень

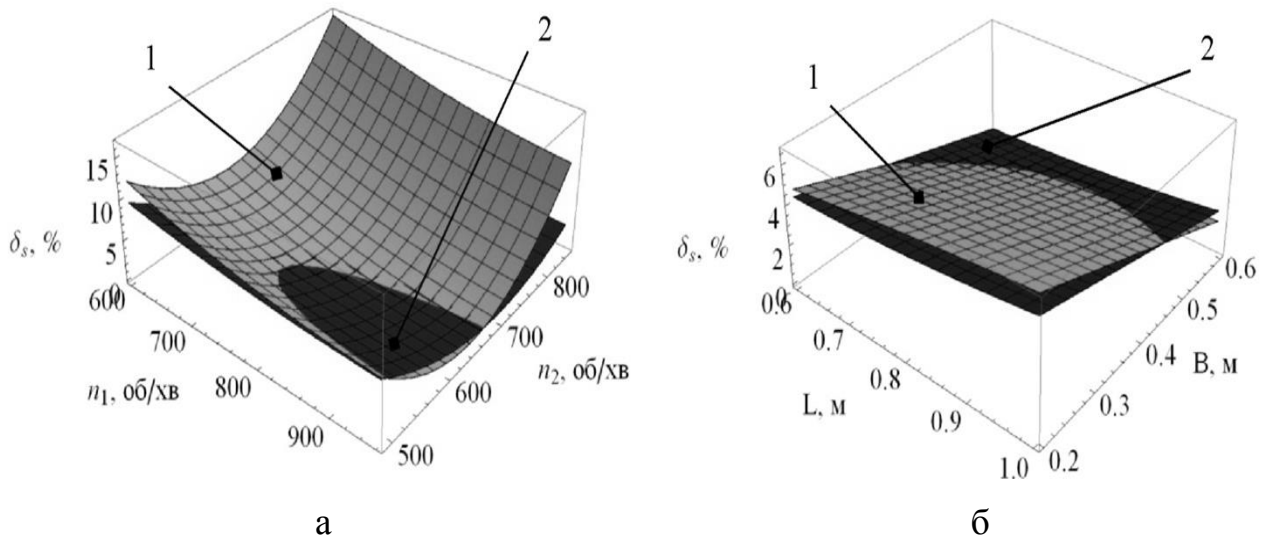
Конструктивно-технологічні параметри робочих органів жнивarki обчисувального типу в досліджуваному діапазоні варіювання суттєво впливають на масову частку відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki δ_h , масову частку відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s , що підтверджують результати теоретичних і експериментальних досліджень.

Статистичний аналіз показав, що коефіцієнт кореляції між теоретичними і експериментальними даними складає 0,88–0,95, а відносна похибка оптимальних значень параметрів 4,6%. Наочне (рис. 4.7–4.8) і статистичне порівняння теоретичних і експериментальних даних дає змогу стверджувати про адекватність математичної моделі, яка розроблена в результаті теоретичних досліджень і можливість її використання для інженерних розрахунків.



1 – теоретична (15), 2 – експериментальна (16)

Рисунок 4.7 – Залежності масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki δ_h від частот обертання бітер-відбивача n_1 і обчисувального барабана n_2 (а), положення L і ширини B повітряної сітки (б)



1 – теоретична (14), 2 – експериментальна (17)

Рисунок 4.8 – Залежності масової частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s від частот обертання бітер-відбивача n_1 і обчисувального барабана n_2 (а), положення L і ширини B повітряної сітки (б)

Таким чином, одержані результати дослідження вказують на те, що в обраному для вивчення діапазоні варіювання кількісних характеристик конструктивних параметрів і режимів функціонування робочих органів жнивarki спостерігається їх суттєвий вплив на масову частку відходу механічних домішок у вигляді лушпиння і часточок стебла рослин льону олійного δ_h та насіння і коробочок з насінням δ_s . Це дозволяє зробити висновок про якість розробленої математичної моделі процесу та ефективність її застосування при створенні технічних засобів для збирання врожаю сільськогосподарських культур методом обчисування рослин на корені.

4.4 Висновки за розділом

1. Розроблена методика і проведені експериментальні дослідження дозволили встановити вплив конструктивних, режимних параметрів і фізико-механічних властивостей стебла льону олійного та компонентів обчисаного вороху на якість протікання процесу збирання насіння розробленою жнивarkою.

2. Експериментально визначені фізико-механічні властивості стебла та компонентів вороху льону олійного: технічна висота рослин $h_p = 0,58 \dots 0,64$ м;

технічна довжина $h_t = 0,52 \dots 0,54$ м; середній час часткового відновлення стебла $\Delta t = 0,58$ с; об'ємна маса ρ насіння (710 кг/м³); коробочок із насінням (90 кг/м³); лущиння коробочок (60 кг/м³); часток стебла (30 кг/м³); модуль Юнга насіння (0,2 МПа); коефіцієнт Пуассона (0,5), які дозволили більш точно описати процес збирання насіння і оптимізувати конструктивно-режимні параметри розробленої жнивarki обчісувального типу.

3. В результаті експериментальних досліджень процесу сепарації вороху в жнивarki обчісувального типу встановлено залежності масової частки відходу лущиння і часточок стебла з її області δ_h , частки відходу насіння і коробочок із насінням δ_s і потужності P , що споживається установкою, від частоти обертання бітера-відбивача n_1 і обчісувального барабана n_2 , положення повітряної сітки L і її ширини B .

4. Вирішуючи компромісну задачу, а саме максимізації масової частки відходу лущиння і часточок стебла з області жнивarki δ_h , мінімізації частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s і мінімізація споживаємої потужності P отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри жнивarki 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 лущиння і часточок стебла з області жнивarki складає $\delta_h = 47,5$ %, частка відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki відповідно $\delta_s = 2,1$ %, а потужність, що споживається установкою, становить $P = 2,7$ кВт.

5. Статистичний аналіз показав, що коефіцієнт кореляції між теоретичними і експериментальними даними складає 0,88–0,95, відносна похибка оптимальних значень 4,6 %. Наочне і статистичне порівняння теоретичних і експериментальних даних дає змогу стверджувати про адекватність математичної моделі, яка розроблена в результаті теоретичних досліджень, і можливість її використання для інженерних розрахунків.

РОЗДІЛ 5

ВИРОБНИЧІ ВИПРОБУВАННЯ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЖНИВАРКИ ОБЧІСУВАЛЬНОГО ТИПУ ДЛЯ ЗБИРАННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

5.1. Результати виробничих випробувань жниварки для збиранні насіння льону олійного

Важливим етапом визначення доцільності впровадження у виробництво розробленої жниварки обчісувального типу для збирання насіння льону олійного є порівняння розробленої конструкції із існуючим пристроєм (еталоном), що застосовується у виробництві. При порівнянні конструкцій жниварок був дотриманий принцип співставлення: однакових умов роботи, обсяги напрацювання, порівняльні ціни, показники оплати праці тощо.

Порівняльні виробничі випробування проводили (Харківська область, Ізюмський район, ТОВ «ЮГРАН») експериментальною жниваркою обчісувального типу та серійною жниваркою яка використовується у господарстві на збиранні насіння льону олійного (рис.5.1).



а



б

Рисунок 5.1 – Жниварки для збирання насіння льону олійного:

а – експериментальна жниварка обчісувального типу; б – серійна жниварка

Агротехнічну оцінку роботи експериментальної жниварки обчісувального типу із обґрунтованими конструктивно-режимними параметрами проводили згідно з розробленою програмою та методикою випробувань (розділ 3). Для

отримання достовірних результатів порівняльні дослідження проводили в однакових ґрунтово-кліматичних умовах і насуміжних посівах льону олійного.

Для оцінки економічної ефективності результатів досліджень прийнято режим роботи жнивarki обчісувального типу для збирання льону олійного, що забезпечує мінімальний рівень втрат за збиральним комбайном та максимальній чистоті бункерного насіння культури, що збирається. Після попередніх проходів у загонці була встановлена робоча швидкість комбайнів, що зумовлює дотримання агротехнічних вимог до збирання насіння льону олійного. Швидкість руху комбайна із серійною жнивarkою прийнято $V_0 = 1,6$ м/с. Швидкість руху збирального комбайна з експериментальною жнивarkою прийнята $V_e = 2,5$ м/с згідно з рекомендаціями виробника обчісуючих жниварок ТОВ «Укр.Агро-сервіс» для завантаження робочих органів та підвищення продуктивності збирального агрегату.

Середня врожайність льону олійного в господарстві ТОВ «ЮГРАН» Ізюмського району Харківської області при проведенні порівняльних випробувань збиральних комбайнів, оснащених серійною та експериментальною жнивarkами, складала 20 ц/га.

Одним із важливих показників при визначенні ефективності роботи жниварок для збирання сільськогосподарських культур є величина втрат та чистота зерна (насіння) у бункері збирального комбайна.

Комплексними теоретичними та експериментальними дослідженнями (розділи 2, 4) обґрунтовано основні конструктивно-режимні параметри жнивarki обчісувального типу, які було реалізовано при проектуванні та виготовленні експериментального зразка і здійснено при комплектуванні в технологічній схемі обчісувальної жнивarki: 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.

Результати порівняльних виробничих випробувань експериментальної жнивarki на збиранні льону олійного сорту Блакитно-помаранчевий наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. – Показники якості виконання технологічного процесу збирання насіння льону олійного жниварками

Показники	Серійна жниварка	Експериментальна	Різниця, %
Продуктивність, га/год.	3,1	6,5	52
Витрати пального, га/год	8,3	4,5	45
Чистота бункерного насіння %	95	98	3
Втрати насінням і коробочками, %	1,5	0,55	172
Втрати від недообмолоту, %	1,7	0,6	183
Загальні втрати при збиранні, %	3,2	1,1	190
Річний економічний ефект від експлуатації нової машини, грн..	104537		

Виробничі випробування якості виконання технологічного процесу збирання насіння льону олійного розробленою жниваркою обчисувального типу виробництва ТОВ «Укр.Агро-сервіс» (м.Харків) проводили в сільськогосподарському підприємстві ТОВ «ЮГРАН» Ізюмського району Харківської області застосуванням з серійним зернозбиральним комбайном New Holland CX 6090. (рис.5.2) на збиранні льону олійного сорту Блакитно-помаранчевий.



Рисунок 5.2 – Зернозбиральний комбайн з експериментальною жниваркою

За результатами виробничих випробувань встановлено, що експериментальна жниварка забезпечує виконання процесу збирання насіння льону олійного з дотриманням агротехнічних вимог (рис. 5.3).

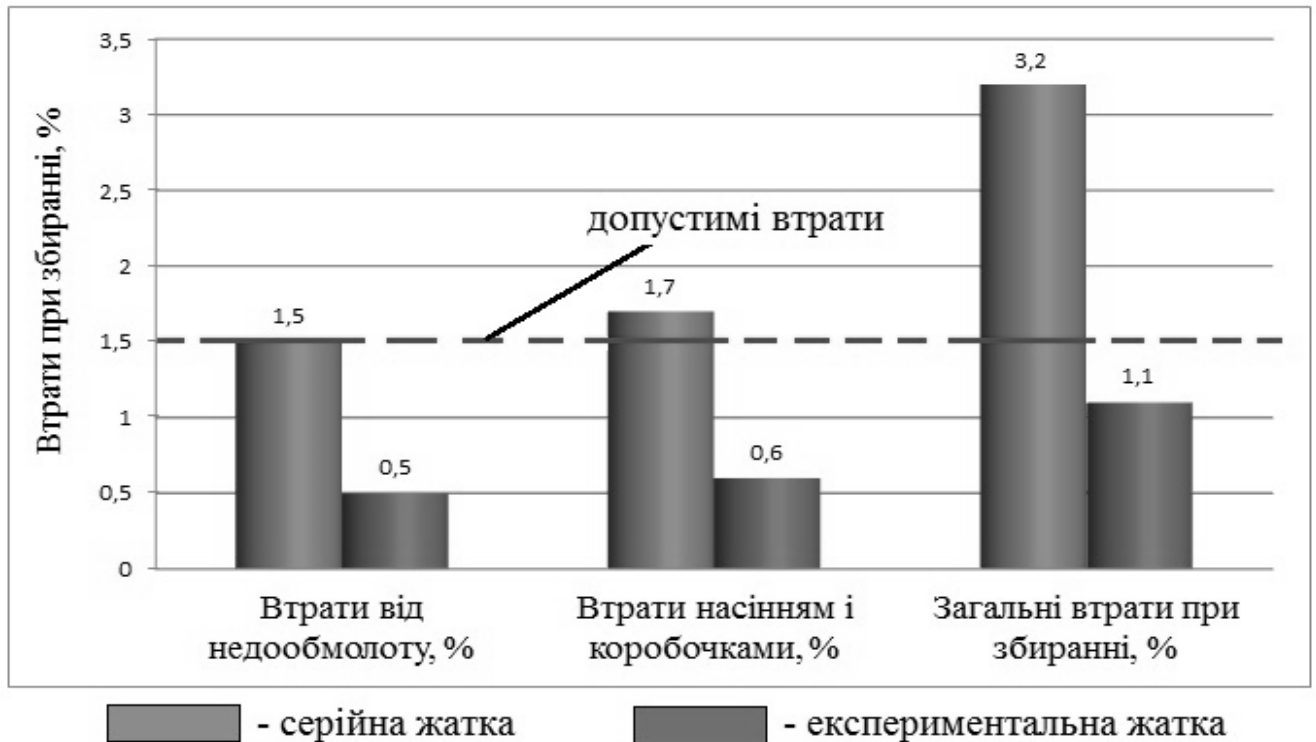


Рисунок 5.3 – Показники якості збирання насіння льону олійного експериментальною жниваркою

Аналіз результатів виробничих випробувань вказує на доцільність та ефективність її застосування у сільськогосподарських підприємствах при впровадженні перспективних технологій виробництва, зокрема технологією Mini-Till та No-till. Для цього при збиранні льону олійного використовують комбайн з обчісувальною жниваркою.

5.2 Економічна ефективність результатів дослідження

Розрахунки економічної ефективності застосування розробленої жниварки обчісувального типу виконано у відповідності до ДСТУ 4397:2005 – Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання на етапі випробування та загальноприйнятих методичних рекомендацій таблиця 5.2 [35, 73].

Таблиця 5.2. Вихідні дані для визначення показників порівняльної економічної ефективності нової машини

Показники	Одиниці виміру	Умовні позначення	Вихідні дані
Сукупні витрати на 1 га	Π	грн/га	1631,87
Продуктивність за 1 год. експлуатаційного часу	$W_{вк}$	га/год	5,5
Зональне річне завантаження машини склало	T_z	год	18,2
Кількість одержаної продукції (льону олійного)	V_j	т	150
Закупівельна ціна льону олійного	C_j	грн/т	
Прямі експлуатаційні витрати відповідно на 1 га	I	грн/га	671,87
Сумарні інвестиційні вкладення	K	грн	550000
Ціна придбання машини без податку на додану вартість	C_m	грн	400000
Затрати праці на одиницю наробітку	Z_n	люд.-год/га	0,1

Річний економічний ефект від експлуатації розробленої жнивarki обчисувального типу виконано з урахуванням кількості та якості продукції (E_p) у гривнях за формулою:

$$E_p = (\Pi_b - \Pi_n) \cdot B_z + E_y, \quad (5.1)$$

де Π_b , Π_n – сукупні витрати на одиницю наробітку відповідно по базовій і новій машинах, грн/га;

B_z – річний обсяг наробітку новою машиною в умовах певної природно-кліматичної зони, га;

E_y – річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості та якості продукції, грн.

В нашому випадку сукупні витрати на 1 га відповідно по базовій машині становлять 2542,24 грн/га, а по новій склало 1631,87 грн/га.

Зональний річний обсяг наробітку новою машиною (B_z) в одиницях наробітку (га) визначають за формулою:

$$B_3 = W_{ек} \cdot T_3, \quad (5.2)$$

де $W_{ек}$ – продуктивність нової машини за 1 год експлуатаційного часу, га/год;

T_3 – зональне річне завантаження машини, год.

Продуктивність нової машини за 1 год експлуатаційного часу становить 5,5 га/год. Зональне річне завантаження машини склало 18,2 год.

Річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості та якості продукції ($E_я$) у гривнях визначають за формулою:

$$E_я = C_{ян} - C_{яб}, \quad (5.3)$$

де $C_{ян}$, $C_{яб}$ – вартість продукції, одержаної у разі застосування відповідно нової та базової машини протягом року, грн.

Для визначення вартості продукції, одержаної у разі застосування нової чи базової машини ($C_я$) у гривнях, визначають за формулою:

$$C_я = \left(\sum_{j=1}^n C_j \cdot V_j \right), \quad (5.4)$$

де C_j – закупівельна ціна одиниці j -ої продукції, грн;

V_j – кількість j -ої продукції, одержаної у разі застосування нової чи базової машини, т.

В свою чергу закупівельна ціна одиниці льону олійного становить 9000 грн/т, а кількість одержаної продукції склала у разі застосування нової машини 150 т, базової – 148,5 т.

Одержавши необхідні показники, можемо розрахувати річний економічний ефект від експлуатації модернізованої обчісувальної жнивarki з урахуванням кількості та якості продукції (E_p).

Річний прибуток (O) від експлуатації нової машини у гривнях визначають за формулою:

$$O = (I_{\bar{o}} - I_n) \cdot B_3 + E_я, \quad (5.5)$$

де $I_{\bar{o}}$, I_n – прямі експлуатаційні витрати, відповідно, по базовій та новій машинах на одиницю наробітку, грн/га.

Прямі експлуатаційні витрати відповідно по базовій машині на 1 га склали 850,32грн/га, а для нової машини відповідно на 1 га становлять 671,87грн/га.

Термін окупності додаткових інвестиційних вкладень на нову машину ($T_{окд}$) у роках визначають за формулою:

$$T_{окд} = \frac{K_n - K_б}{O}, \quad (5.6)$$

де K_n , $K_б$ – сумарні інвестиційні вкладення відповідно у нову та базову машину, грн.

Інвестиційні вкладення в свою чергу передбачають суму одночасних грошових витрат на придбання, доставлення, монтування (додаткове складання) та обкатку сільськогосподарської техніки, а також будівництво спеціальних споруд та приміщень, необхідних для її експлуатації додаток 3.

Сумарні інвестиційні вкладення відповідно у нову машину склали 550000 грн, а у базову машину – 500000 грн. За наявності необхідних даних визначаємо термін окупності додаткових інвестиційних вкладень на нову машину ($T_{окд}$).

Лімітну ціну нової машини ($Ц_l$) у гривнях визначають за формулою:

$$Ц_l = \left(\frac{E_p}{a_n + E_n} + B_n \right) \frac{1}{K_б} \delta, \quad (5.7)$$

де B_n – балансова вартість нової машини (без податку на додану вартість), грн;

a_n – коефіцієнт відрахувань на амортизацію по новій машині;

$K_б$ – коефіцієнт перерахунку ціни придбання в балансову вартість машини;

$K_б = 1,1$ – коефіцієнт для машин та устаткування, що не потребують монтажних робіт чи додаткового складання безпосередньо на місці експлуатації;

$K_б = 1,2$ – коефіцієнт для машин та устаткування, введення яких в експлуатацію потребує проведення монтажних робіт чи додаткового складання, даний коефіцієнт буде застосований для нашої нової машини.

δ – коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту від використання нової машини приймають рівним 0,8;

E_n – коефіцієнт ефективності інвестиційних вкладень.

Примітка. У випадку, коли нова машина забезпечує вивільнення трудових ресурсів, заміну ручної праці, коефіцієнт гарантії можна прийняти (за узгодженням із споживачем) рівним 0,90–0,95.

Балансову вартість машини (B) у гривнях визначають за формулою:

$$B_n = C_m \cdot K_b, \quad (5.8)$$

де C_m – ціна придбання машини без податку на додану вартість, грн.

Примітка. Відрахування на амортизацію, капітальне та поточне ремонтування, питомі інвестиційні вкладення визначають з урахуванням балансової вартості будівельної частини, якщо така необхідна для експлуатації машин.

Коефіцієнт ефективності інвестиційних вкладень (E_n) визначають за формулою:

$$E_n = \frac{C_b}{100}, \quad (5.9)$$

де C_b – ставка пільгового кредиту Національного банку України у відсотках.

На етапі випробовування приймають рівним 20%.

Наступним кроком є визначення річної економії затрат праці під час експлуатації нової машини (Z_{np}) у людино-годинах, яку визначають за формулою:

$$Z_{np} = (Z_{nb} - Z_{nn}) \cdot B_z, \quad (5.10)$$

де Z_{nb} , Z_{nn} – затрати праці відповідно по базовій і новій машині на одиницю наробітку люд.-год/га.

Річну економію ресурсів під час експлуатації нової машини (Z_{pp}) в натуральних одиницях визначають за формулою:

$$Z_{pp} = (Z_{pb} - Z_{pn}) \cdot B_p, \quad (5.11)$$

де Z_{pb} , Z_{pn} – затрати ресурсів відповідно базовою та новою машиною на одиницю наробітку, натуральних одиниць/га.

Ступінь зміни витрат під час експлуатації нової машини порівняно з базовою (C) у відсотках визначають за формулою:

$$C = \frac{Z_{зб} - Z_{зн}}{Z_{зб}} \cdot 100, \quad (5.12)$$

де $Z_{зб}$, $Z_{зн}$ – річні затрати (затрати праці, ресурсів, прями експлуатаційні затрати, сукупні затрати) відповідно за базовою та новою машинами, люд.-год (натуральних одиниць, грн).

Таблиця 5.3. – Показники порівняльної економічної ефективності нової машини

Показники	Значення показника
Річна економія затрат праці, люд.-год	47
Річна економія ресурсів, натуральних одиниць	91037
Річний економічний ефект від експлуатації нової машини, грн	104537
Річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості та якості продукції, грн	13500
Річний прибуток, грн	31345
Термін окупності додаткових інвестиційних вкладень, роки	1,5
Лімітна ціна, грн	438403
Балансова вартість машини, грн	480000

Наступний етап розрахунок економічних показників. Сукупні витрати (Π) – у гривнях на одиницю виробітку визначають за формулою:

$$\Pi = I + K \cdot E_n, \quad (5.13)$$

де I – прями експлуатаційні витрати, грн/га;

K – питомі інвестиційні вкладення, грн/га.

Прями експлуатаційні витрати (I) у гривнях на одиницю виробітку визначають за формулою:

$$I = Z + \Gamma + P + A + \Phi + M, \quad (5.14)$$

де Z – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн/га;

Γ – затрати на паливно-мастильні матеріали та електроенергію, грн/га;

P – затрати на технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт, грн/га;

A – затрати на амортизацію, грн/га;

Φ – затрати на допоміжні матеріали, грн/га;

M – затрати на зберігання, страхування та монтування, грн/га.

Для визначення прямих експлуатаційних витрат почнемо з розрахунку затрат на оплату праці обслуговуючого персоналу (Z) у гривнях на одиницю наробітку, які визначають за формулою:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot t_i \cdot r_i \cdot k_{\partial} \cdot n_i}{W_{зм}}, \quad (5.15)$$

де L_i – кількість i -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання основного технологічного процесу, технічного обслуговування та ремонтування машини (визначають за даними випробовування), люд.;

t_i – тривалість зайнятості i -го виробничого персоналу, год;

r_i – погодинна тарифна ставка оплати праці на i -му виді робіт, грн/люд.-год;

k_{∂} – коефіцієнт, що враховує доплати до годинної ставки за продукцію, класність, стаж роботи тощо;

n_i – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату (пенсійний фонд, соціальне страхування, фонд сприяння зайнятості);

$W_{зм}$ – продуктивність нової машини за годину змінного часу, га/год.

Затрати коштів на паливно-мастильні матеріали та електроенергію (Γ) у гривнях на одиницю наробітку визначають за формулою:

$$\Gamma = q \cdot k_n \cdot C_n, \quad (5.16)$$

де q – питомі витрати палива, кг/га;

C_n – ціна одного кілограма палива, грн/кг;

k_n – коефіцієнт, що враховує вартість мастильних матеріалів.

Затрати на капітальне, поточне ремонтування та технічне обслуговування (P) у гривнях на одиницю наробітку визначають за формулою:

$$P = \frac{B(r_n \cdot r_k)}{W_{ек} \cdot T_n}, \quad (5.17)$$

де r_m – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування;

r_k – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

T_n – нормативне річне завантаження, год.

Затрати на амортизацію машини (A) у гривнях на одиницю наробітку визначають за формулою:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{зм} \cdot T_z}, \quad (5.18)$$

де a – коефіцієнт відрахувань на амортизацію машини.

Визначають за допомогою прямолінійного методу нарахування амортизації, тобто:

$$a = \frac{1}{n}, \quad (5.19)$$

де n – термін служби машини у роках, в нашому випадку від дорівнює 10 рокам.

Затрати на допоміжні технологічні матеріали (Φ) у гривнях на одиницю наробітку визначають за формулою:

$$\Phi = \sum_{i=1}^m h_i \cdot \Pi_{mi}, \quad (5.20)$$

де h_i – питомі витрати i -го виду технологічного матеріалу, кг (м, шт.)/га;

Π_{mi} – ціна одиниці i -го технологічного матеріалу, грн/кг (м, шт.).

Затрати на зберігання, страхування та монтування машини (M) у гривнях на одиницю наробітку визначають за формулою:

$$M = \frac{\sum_i Z_{ni} \cdot r_i \cdot n_i + \Pi_\delta + S_{зсм}}{W_{ек} \cdot T_z}, \quad (5.21)$$

де Z_{ni} – затрати праці i -ої категорії працівників на удосконалення та монтування устаткування, люд.-год;

Π_δ – вартість матеріалів, які використані на удосконаленні та монтуванні машини, грн;

$S_{зсм}$ – річні витрати на зберігання та страхування машини, грн.

Питомі інвестиційні вкладення (K) у гривнях на одиницю наробітку визначають за формулою:

$$K = \frac{B + K_{\text{бюд}}}{B_3}, \quad (5.22)$$

де $K_{\text{бюд}}$ – балансова вартість будівельної частини, необхідної для експлуатації машини, (вводиться в формулу за наявності різниці в обсягах будівельної частини нової та базової машини), грн.

Затрати на амортизацію, капітальний та поточний ремонт, інвестиційні вкладення на одиницю наробітку стосовно машин, які агрегатуються з базовою та новою машинами тієї самої марки, а також тракторів, зчіпок та інших машин, якщо потреба господарства в останніх не змінюється, визначають через експлуатаційну продуктивність базової машини.

Затрати праці Z_{II} на виконання машиною чи працівником виробничого процесу в людино-годинах на одиницю наробітку визначають за формулою:

$$Z_{II} = \frac{\sum_{s=1}^n L_i \cdot t_i}{B_3} \quad (5.23)$$

Отже, провівши вищезазначені розрахунки, можемо визначити прямі експлуатаційні витрати у гривнях на одиницю наробітку:

де I – прямі експлуатаційні витрати, грн/га;

K – питомі інвестиційні вкладення, грн/га.

Провівши необхідні розрахунки, заповнюємо дані таблиці 5.2 економічні показники нової та базової машин, для їх порівняння.

Отже, на основі одержаних економічних показників нової та базової машин, можна зробити висновок, що впровадження та використання жнивarki обчисувального типу (нова машина) є доцільним та економічно ефективним у порівнянні з базовою машиною. Про це свідчать в першу чергу зниження прямих експлуатаційних витрат на 178,45 грн/га у порівнянні з базовою машиною, зменшення інвестиційних вкладень на 1200 грн/га, а також зменшення сукупних витрат на 910,37 грн/га.

Результати виробничих випробувань підтверджені відповідними актами (Додаток Л).

Таблиця 5.4. – Економічні показники нової та базової машин

Назва сільськогосподарської операції		Значення показника		Ступінь зміни показника, (+,-)
		Нова машина (Експериментальна)	Базова машина	
Обслуговуючий персонал, кількість, люд.		1	1	0
Продуктивність, од. наробітку	Змінна га/зм	30	18	-12
	Експлуатаційна га/год	4,2	2,5	-1,7
Витрати палива (електроенергії), кг (кВт. год)/га)		3,5	5,6	-2,1
Затрати праці, люд.-год/га		0,10	0,57	0,47
Балансова вартість машини, грн		480000	600000	120000
Прямі експлуатаційні витрати по елементах, грн/га	Заробітна плата	24,54	35,71	11,17
	Амортизація	480	499	-19
	Капітальне, поточне ремонтування, технічне	21,82	32,90	-11,08
	Паливо (електроенергія)	25,41	28,23	-2,82
	Інші	120,1	254,85	-134,75
	Всього	671,87	850,32	-178,45
Інвестиційні вкладення грн/га		4800	6000	-1200
Сукупні витрати грн/га		1631,87	2542,24	-910,37

5.3 Висновки по розділу

1. На підставі результатів проведених досліджень розроблена, виготовлена та досліджена у виробничих умовах жниварка обчісувального типу для збирання насіння льону олійного; її безвідмовна експлуатація підтвердила високу ефективність процесу збирання насіння льону олійного.

2. За результатами виробничої експлуатації встановлено, що продуктивність комбайна з розробленою жниваркою обчісувального типу у порівнянні із серійною підвищена у 2,1 рази і становить 3,4 га/год; чистота насіння в бункері – на 3%; питомі витрати пального менші на 4,2 л/га.

3. Річний економічний ефект від використання жниварки обчісувального типу на збиранні насіння льону олійного становить 104 тис. грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання, що виявляється в створеному математичному моделюванні процесу збирання насіння льону олійного жниваркою обчісувального типу. Це дозволило підвищити якісні показники комбайнового збирання льону олійного при зменшенні втрат насіння.

Основні наукові й прикладні результати дослідження:

1. Аналізом методів і засобів комбайнового збирання насіння льону олійного встановлено, що існуючі жниварки не задовольняють вимоги щодо якості виконання процесу та мають занижені показники продуктивності. Для цього запропоновано використати розроблену жниварку обчісувального типу, яка реалізує додатковий аеродинамічний ефект для сепарації обчісаного вороху в її області. Це дало можливість підвищити якість процесу збирання насіння льону олійного жниваркою обчісувального типу, впровадити її у виробництво.

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

3. Теоретичними дослідженнями процесу взаємодії рослини льону олійного з обчісувальним барабаном на основі теорії коливань, отримано динамічну функцію зміни кривизни стебла в залежності 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 обчісуючого типу встановлено розподіл швидкостей потоку повітря в її області, визначено залежність максимальної швидкості повітря V_{max} від частоти обертання бітера-відбивача n_1 і обчісуючого барабана n_2 та положення прозорої зони границі L . Апроксимована форма кожуха жнивarki обчісуючого типу у вигляді півкола із 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 жнивarki з криволінійною формою кожуха із врахуванням фізико-механічних властивостей його компонентів встановлено залежності масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з її області (показник якості очищення вороху від домішок) δ_h і частки відходу насіння і коробочок із насінням (показник втрат насіння) δ_s від частоти обертання бітера-відбивача n_1 і обчісуючого барабану n_2 , положення прозорої зони границі L і її ширини B . Вирішуючи компромісну задачу максимізації масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki δ_h і мінімізації частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри: частота обертання бітера-відбивача $n_1 = 782$ об/хв, частота обертання обчісуючого 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 складає $\delta_h = 42,4$ %, а частка втрат насіння і коробочок із насінням, відповідно, $\delta_s = 2,5$ %.

6. Експериментальними дослідженнями процесу сепарації вороху в жнивarki встановлено залежності масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з її області δ_h , частки відходу насіння і коробочок із насінням δ_s і

потужності P , що споживається, від частоти обертання бітера-відбивача n_1 і обчісуючого барабана n_2 , положення повітряної сітки L і її ширини B . Отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри жнивarki обчісуючого типу: частота обертання бітера-відбивача $n_1 = 892$ об/хв., частота обертання обчісуючого 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 складає $\delta_h = 47,5$ %, частка втрат насіння і коробочок із насінням з області жнивarki відповідно $\delta_s = 2,1$ %, а споживаєма потужність $P = 2,7$ кВт.

7. Статистичний аналіз показав, що коефіцієнт кореляції між теоретичними і експериментальними даними складає 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 жнивarki обчісувального типу в ТОВ «ЮГРАН» Харківської області показали, що її застосування на збиранні льону олійного забезпечує якісне виконання процесу. Річний економічний ефект від використання жнивarki обчісувального типу на збиранні насіння льону олійного становить 104 тис. грн.

Розроблена жнивarka обчісувального типу введена на ТОВ «Укр.Агро-сервіс» (м. Харків).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абаев В. В. Повышение эффективности функционирования оптимальной системы технологий уборки зерновых культур. *Научный журнал КубГАУ*. 2011. №70(06). URL: famous.–scientists.ru/list/12131
2. Аграрный сектор Украины после вступления в ВТО / И. Кобута, В. Жигадло, А. Сикачина. ФАО Региональное бюро по Европе и Центральной Азии Исследования по политике перехода сельского хозяйства № 2015–6. 2015. 33 с.
3. Агафонов В. В. Выбор общей схемы конструкции молотилки для обмолота растительной массы зерновых культур при уборке с очесыванием колосьев. *Технічні науки: наукові праці. Південний філіал "Кримський агротехнологічний університет" НАУ*. Сімферополь, 2008. Вип. 113. С. 156–163.
4. Алакин В.М., Савин В.Ю. Энергетические параметры прицепного очесывающего адаптера. *Тракторы и сельхозмашины*. 2010. № 8. С. 36–37.
5. Алдошин Н.В., Лылин Н.А., Мосяков М.А. Уборка зернобобовых культур методом очёса. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2017. №1(41). С.67–73.
6. Алдошин Н.В., Мосяков М.А. Совершенствование конструкции очёсывающих устройств для уборки зернобобовых культур. *Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия*. 2018. №2(84). С.23–27.
7. Аугамбаев М., Иванов А., Терехов Ю. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента: учеб. пособ./ под. ред. д. т. н., профессора Рудакова Г.М. Ташкент: Укитувчи, 2004. 336 с.
8. Аюбов А. М., Шокарев А. Н. Режущие устройства зерноуборочных комбайнов очесывающего типа. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь. 2008. Вип. 8. т. 6. С. 182–189.
9. Бабицкий Л.Ф., Мишук С.А. Обоснование конструктивных параметров диаметального очесывающего устройства. *Теоретический и научно-практический журнал. Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. Агропромышленная инженерия*. 2017. №12 (175). С. 59–63.
10. Бакум М.В., Горбатовський О.М., Манчинський Ю.О. та ін. Механіко-

технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: практикум /за ред. Ю.О. Манчинського. Харків: ХНТУСГ, 2005. 196 с.

11. Борисоник З.Б. Справочник по масличным культурам. К.: Урожай, 1988. 167 с.
12. Бурьянов М.А., Бурьянов А.И., Костыленко О.А. Методика обоснования параметров обтекателя однобарабанной очесывающей жатки. *Тракторы и сельхозмашины*. 2015. № 7. С. 19-23
13. Бурьянов А. И., Бурьянов М. А., Дмитренко А. И. Технологии и средства для уборки зерновых культур: настоящее и перспективы. *Техника и оборудование для села*. 2012. № 7 (181). С. 8-11.
14. Бурьянов А. И., Дмитренко А. И. Направления совершенствования уборочных процессов. *Техника и оборудование для села*. 2010. № 10 (160). С. 13–16.
15. Бурьянов А. И., Дмитриенко А. И., Бурьянов М. А. Оценка новых нетрадиционных технологий уборки зерновых колосовых культур. *Техника и оборудование для села*. 2010. № 12 (162). С. 16–19.
16. Бурьянов А.И., Бурьянов М.А. Моделирование процесса очеса зерновых культур однобарабанной жаткой. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2012. №4. С. 2–5.
17. Бурьянов М. А. Исследование взаимодействия колоса растения с зубьями однобарабанной навесной на комбайн жаткой при уборке зерновых культур очесом. *Научный журнал КубГАУ*. 2011. № 67(03). URL: ej.kubagro.ru/2011/03/pdf/02.pdf
18. Бурьянов М. А. Параметры и режимы процесса очеса зерновых культур навесной на комбайн жаткой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.20.01; зерноград, 2011. 20 с.
19. Бурьянов М.А., Бурьянов А.И. Методика математического моделирования взаимодействия растений зерновых культур с очёсывающим барабаном жатки. *Тракторы и сельхозмашины*. 2015. №9. С. 19–22.
20. Бурьянов М.А., Червяков И.В. Формирование воздушного потока в транспортирующем канале очесывающего устройства. *Научный журнал*

- КубГАУ*. 2014. №96 (02). URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/02/pdf/51.pdf> (дата звернення: 11.03.2019).
21. Бурьянов М.А., Бурьянов А.И., Червяков И.В., Горячев Ю.О. Разработка и совершенствование методов обоснования технологии комбайновой уборки зерновых колосовых культур очесом. *Вестник аграрной науки Дона*. 2017. №2(38). С. 59–72.
 22. Валке А.М. Обработка экспериментальных данных и моделирование динамических систем при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства. СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2002. 176 с.
 23. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. 6-е изд. стер. М.: Высш. шк., 1999. 576 с.
 24. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підруч. / за ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.
 25. Галкин А.В. Повышение эффективности льноуборочного комбайна путем совершенствования гребневого очёсывающего-транспортирующего аппарата: дис... канд. техн. наук: спец. 05.20.01; Тверь, 2007. 239 с.
 26. Головін С. В. Розробка конструкції машини для збирання рицини методом очісування на корені. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2009. Вип. 9. т. 5. С. 208–214.
 27. Голубев И.К. Обоснование основных параметров и режимов работы двухбарабанного устройства для очесывания риса на корню: дис. канд. техн. наук. М., 1988. 185с.
 28. Гончаров Б.И. Исследование рабочего процесса очёсывающего устройства для обмолота риса на корню с целью уменьшения потерь зерна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.20.01; Москва, 1982. 17 с.
 29. Грачев Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования эксперимента: учеб. пособ. М.: ДеЛи принт, 2005. 296с.
 30. Данченко Н. Н., Дробашко Л. А., Назарова О. П. Алгоритм управления положением очесывающего устройства относительно поверхности

- стеблестоя. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2004. Вип. 19. С. 139–147.
31. Данченко Н. Н., Дробашко Л. А. Густота стеблестоя как внешний фактор условий функционирования очесывающего хедера комбайна. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2012. Вип. 25. ч. 2. С. 371–379.
 32. Данченко Н. Н., Спиринцев Д. В. Проблемы и перспективы технологии уборки риса, основанной на очесывании растений на корню. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2000. Вип.1. т. 15. С. 43–48.
 33. Данченко Н.Н., Дробашко Л.А. Агробиологические и биометрические характеристики стеблестоя риса – главные предпосылки к технологии его очеса на корню и автоматизации управления этим процессом. *Праці ТДАТА*. 2006. Вип. 43. С. 73–85.
 34. Дробашко Л. А., Данченко Н. Н., Стоев Н. Ф. Биометрия стеблестоя как внешний фактор условий функционирования очесывающего устройства. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2009. Вип. 22. С. 86–89.
 35. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: науч. посб. 5 изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 315с.
 36. ДСТУ 4397:2005. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Національний стандарт України. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 23 с.
 37. ДСТУ 4138–2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2004–01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.
 38. Дьяконов С.О., Пахучий А.М. К обоснованию профиля гребенки очесывающего барабана. *Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка*. 2017. Вип. 181.С. 236–241.

39. Жалнин Э. В. Альтернативные технологии уборки зерновых. *Сельский механизатор*. 2010. N 9. С.12–13.
40. Жалнин Э. В. Уборка с очесом на корню: за и против. *Сельский механизатор*. 2013. № 8. С. 10–12
41. Живетин В.В., Гинзбург Л.Н. Масличный лен и его комплексное развитие. М.: ЦНИИЛКА, 2000. 389 с.
42. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво: підрч./ за ред. О.І. Зінченко К.: Аграрна освіта, 2001. 591 с.
43. Канделя, М.В., Шилько П.А., Панасюк А.Н., Ширяев В.М., Липкань А.В. Жатка для очёса сельскохозяйственных культур на корню. *Техника и оборудование для села*. 2016. №7. С. 10–12.
44. Карпенко Р. Н. Совершенствование процесса уборки семенников люцерны очесом: автореф. дис... канд. техн. наук: спец. 05.20.01; Воронеж, 2007. 22 с.
45. Кильчевский Н. А. Курс теоретической механики: учеб. пособ. Т. 1. М.: Наука, 1977. 480 с.
46. Кленин Н.И. Параметры устройства для очеса растений на корню. *Технические средства для интенсивных технологий с.-х. производства: Сб. науч. тр. / МИИСП. Москва. 1992. С. 3–9*
47. Ковалев М. М., Галкин А. В. Анализ процесса очеса стеблей барабаном с поступательно-круговым движением гребней. *Достижения науки и техники АПК*. 2006. N 4. С. 25–27.
48. Коваль С., Івасюк В., Романська В. Застосування обчісуючих жниварок – запорука своєчасного збирання врожаю без втрат. *Техніка АПК*. 2003. №1. С.8-10.
49. Козаченко О. В., Пахучий А. М., Дьяконов С.О., Гончаров В.В. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обчісуючого барабану жниварки. *Інженерія природокористування*. 2019. Вип. 1 (11). С. 75–85.
50. Козаченко А.В., Дьяконов С.А., Пахучий А.Н. Материалы Международной научно-практической конференции «Актуаль-ные проблемы агроинженерии и пути их решения», посвященной 40-летию Белгородского ГАУ. – п. Майский:

ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – С. 141–147.

51. Козаченко О. В., Дьяконов С. О., Пахучий А. М. Обґрунтування форми обтікача обчісууючої жниварки для збирання льону олійного. *Механізація та автоматизація виробничих процесів*. Вип. 5 (33). Суми. 2018. С. 48–52.
52. O. Kozachenko, A. Pakhuchyi, O. Shkregal, S. Dyakonov, O. Bleznyuk, V. Kadenko. Results of numerical modeling of the process of harvesting the seeds of flax by a harvester of the stripping type. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. «Engineering technological systems» Vol. 3/1 (99) 2019. pp. 66–74.
53. Козаченко О.В., Дьяконов С.О., Гончаров В.В., Пахучий А.М. Дослідження режимних параметрів обчісууючого барабану жниварки. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків: ХНТУСГ. 2019. Вип.199. С.388–396.
54. Косилов Н.И., Моисеенко О.В. Параметры и режимы работы рабочих органов жатвенной машины для уборки колосовой части урожая. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2006. № 6. с.9–11.
55. Кравчук В.И., Кушнарев А. С. Уборка методом очеса: состояние и перспективы. *Задачи земледельческой механики: материалы международной научно-технической интернет конференции, г. Мелитополь, 2–10 ноября 2011 г.*: тезисы доклада. г. Мелитополь, 2011. С. 17–25.
56. Кувшинов А.А., Мазнев Д.С., Ширяев В.М. Конструктивные параметры очесывающего барабана и режимы работы ЛПУ на уборке сои методом очеса. *Современные технологии и техническое обеспечение производства и переработки сельскохозяйственных культур*. 2016. № 23. С. 78–83
57. Кушнарев А. С., Данченко Н. Н. Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2000. Вип. 16. С. 24–30.
58. Кушнарев А. Кравчук В., Леженкин А. Проблемы совершенствования уборки зерновых. *Техніка і технології АПК*. 2010. №2. С.7–12.
59. Леженкин А. Н. К обоснованию максимальной критической скорости

- движения прицепного зерноуборочного агрегата очесывающего типа. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2006. № 11. С. 29–32.
60. Леженкин А. Н. Методология моделирования стационарной технологии уборки зерновых культур методом их очесывания на корню. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2010. Вип. 10. т. 8. С. 136–151.
61. Леженкин А. Н. Механизация уборки зерновых культур с использованием очесывающих устройств: монография. СПб: СПбГАУ, 2005. 332 с.
62. Леженкин А. Н. Ресурсосберегающие технологии и технические средства уборки зерновых культур методом очёса и послеуборочной доработки зерна. *Известия Международной академии аграрного образования*. 2006. Вып. 2. С. 98–111.
63. Леженкин А. Н., Кравчук В. И., Кушнарєв А. С. Технологии уборки зерновых методом очесывания на корню: состояние и перспективы: монография. Дослідницьке., 2010. 400 с.
64. Лихочвор В.В., Петриненко В.Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів: НВФ Українські технології, 2006. 730 с.
65. Чехов А.В., Лапа О.М., Міщенко Л.Ю., Полякова І.О. Льон олійний: біологія, сорти, технологія вирощування. К.: Українська академія аграрних наук, Інститут олійних культур, 2007. 59 с.
66. Лях В.А., Сорока А. И. Ботанические и цитогенетические особенности видов рода *Linum* и биотехнологические пути работы с ним: монография. Запорожье: ЗНУ, 2008. 182 с.
67. Математическая теория планирования эксперимента: книга / под ред. С.М. Ермакова. М.: Наука, 1983. 392 с.
68. Машков А. М. Очесывающие устройства и серийные зерноуборочные комбайны. *Труды Крымского ГАУ*. 2000. Вып. 65. С. 222–227.

69. Машков А.М. Изучение воздушного потока однобарабанного очесывающего устройства МОН–4–1 для обмолота зерновых культур на корню. *Южный филиал Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет»*. Киев. 2011. № 138. С. 153–160.
70. Машков О. М. Обґрунтування параметрів бітера-відбивача обчісувального пристрою для обмолоту зернових культур на корені: автореф. дис.канд. техн. наук: спец. 05.05.11; Луганськ, 2002. 14 с.
71. Машков А.М., Коровин В.Е. Теоретическое определение количества рядов гребенок барабана очесывающего устройства. *Збірник наукових праць ПФ НУБіП України «Кримський агротехнічний університет (технічні науки)*. Сімферополь. 2009. №123. С.92–96.
72. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 1980. 168 с.
73. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений/ подгот. Г. М. Лоза и др. Фрунзе: М-во сел. хоз-ва СССР: ВАСХНИЛ, 1984. 108 с.
74. Методичні рекомендації з оплати праці робітників сільськогосподарських підприємств на збиранні зернових культур урожаю 2015р. /под. ред І.М. Демчак та ін. К.: НДІ «Украгропромпродуктивність», 2015. 38 с.
75. Мищук С. А., Машков А. М. Обзор и анализ работы конструкций для уборки урожая методом очеса на корню. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2000. Вип. 1. Т. 15. С. 131-137.
76. Мкртчян С.Р., Игнатов В.Д., Жалнин Э.В., Стружкин Н.И. Очесывающие жатки: состояние и перспективы развития. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. №4. С. 20–21.
77. Моисеенко О. В. Исследование параметров и режимов работы приспособления для образования стерневых кулис: автореф. дис... канд техн. наук: 05.20.01.

Челябинск, 2008. 24 с.

78. Мороз М.М. Обґрунтування параметрів та режимів роботи обчісуючої жатки для збирання зернових колосових культур: дис.... канд. техн. наук: спец. 05.05.11, Кіровоград. 2001. 185 с.
79. Мосяков М.А. Классификация очёсывающих жаток и перспективы их применения на уборке зернобобовых культур. *Проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса России*: материалы всероссийской заочной научно-практической конференция: тезисы доклада. 2017. Т. 4. С. 63–66.
80. Мосяков М.А. Технологические особенности уборки белого люпина. *Агроинженерные инновации в сельском хозяйстве*: материалы сборника 8-ой международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. М.: Изд-во ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2017. С. 202–206.
81. ДСТУ 2240–93. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови. [Чинний від 01–071994]. К.: Держспоживстандарт України, 1994. 66 с.
82. Очесывающая жатка «ОЗОН» – 2017. *Пензмаш*. URL: <http://penzmash.ru/root/1504-2/> (дата звернення: 26.02.2019).
83. Очесывающие жатки "Славянка". *Укр.Агро-сервіс*. URL: http://ukragroserv.com.ua/каталог/очесывающая_жатка (дата звернення: 16.02.2019).
84. Пахучий А.М. Аналіз та напрямки підвищення ефективності жниварок обчісуючого типу. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. №13. С. 55–61.
85. Пилипчук М.І., Григор'єв А.С., Шостак В.В. Основи наукових досліджень: підруч. К.: Знання, 2007. 270 с.
86. Повиляй В. М. Методика розрахунку основних технологічних параметрів обчісувального барабана зернозбиральної машини. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2004. Вип. 17. С. 126-133.
87. Погорельый Л.В., Коваль С.Н. Колосоуборки – «стрипперы-очёсыватели»: фата-

- моргана или новая эра в зерноуборке. *Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса, и семян трав*: материалы междунар. науч.-техн. конф. Мелитополь, 2003. С. 31–58.
88. Погорелый Л., Коваль С., Макушин Г. Теоретические и экспериментальные исследования очесывающих жаток. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. Зб. наук, праць. УкрНДІПВТ. 2000. Вип. 3(17). С. 14–20.
89. Погорелый Л.В., Коваль С.Н. Прогноз развития технологий и техники для уборки зерновых культур на первую четверть XXI века. *Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав*: материалы междунар. науч.-технич. конф. Мелитополь: ТГАТА. 2003. С. 17–21.
90. Поляков А.И., Ручка В.А., Никитенко О.В. Влияние условий выращивания на продуктивность льна масличного. *Науково-технічний бюл. ІОК УААН*. 2005. Вип. 10. С.179–183.
91. Проблемна науково-дослідна лабораторія збирання зернових методом обчісування: історико бібліографічний нарис / ТДАТУ; укладач С. В. Вовченко; наук. ред. д. т. н., проф. О. М. Леженкін. Мелітополь, 2018. 38 с.
92. Ридный С.Д., Фусточенко А.Ю. Результаты испытаний очёсывающей жатки ЖОНК – 7 («ОЗОН»). *Техника в сельском хозяйстве*. 2011. №1. С. 36–38.
93. Савин В. Ю. Обоснование рациональных параметров и режимов работы прицепного очесывающего устройства для уборки зерновых культур: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.20.01; М., 2011. 23 с.
94. Савин В.Ю. Выбор основных параметров барабана очесывающего устройства. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2017. №2(53). С.100-104.
95. Савченко А.И. Использование транспортного очесывающего адаптера для уборки озимой ржи. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1993. №8. С. 25–27.
96. Самохвалов, А.И. Обоснование процесса и параметров очёсывающего

- устройства для соргоуборочной машины: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01, Волгоград, 1987. 19 с.
97. Санин А.А., Косых Л.А., Глуховцов В.В. Технология возделывания льна масличного в зоне среднего Поволжья: рекомендации. Кинель, 2006. 28 с.
98. Сай В.А. Технологія вирощування, збирання та первинної переробки льону олійного. Луцьк: ЛНТУ, 2012. 168 с.
99. Сахаров В.А., Мазнев Д.С., Кувшинов А.А. К сравнению скоростей воздушного потока, возникающего в лабораторной очесывающей установке до и после установки дополнительного вентилятора. *Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы всероссийской научно-практической конференции, г. Благовещенск, 11 апреля 2018 года: тезы доклада*. Благовещенск, 2018. Часть 1. С.112–115.
100. Сисолін П.В. Нові комплекси машин для вирощування та збирання зернових культур в Україні. З бажанням зберегти родючість української землі та допомогти селянину: збірка статей, виступів та коментарів. Кіровоград, 2009. С. 81–92.
101. Сисолін П. В., Коваль С. М., Іваненко І. М. Машини для збирання зернових культур методом обчісування колосків. «КОД». 2010. ISBN 978-966-1508-34-6.
102. Сисолін П.В., Мороз М.М. Визначення робочого діапазону колової швидкості гребінки обчісуючого барабану. *Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження*. Львів. 1999. С. 112–115.
103. Сысолин П.В., Иваненко И. Проблемы и перспективы внедрения в Украине технологии уборки зерновых колосовых культур методом очесывания колосков. *Техника АПК*. 2008. № 5. С.24–29.
104. Скрипкин Д.В. Совершенствование молотильно-сепарирующего устройства и технологии обмолота зерновых культур на корню: дис... канд. техн. наук: 05.20.01; Волгоград, 2005. 143 с.
105. Соловьев А.Я. Льноводство: учеб. по спец. "Агрономия" - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1989. 319 с.

106. Спиринцев Д. В., Данченко Н. Н., Стоев Н. Ф., Дробашко Л. А. Вероятностно-статистическая модель очесанного стеблестоя и ее анализ применительно к проблеме его уборки. *Праці ТДАТА*. 2005. Вип. 28. С. 178–185.
107. Тараймович И.В. Особенности технологии уборки льна масличного в условиях Западного полесья Украины. URL: <http://technology.snauka.ru/2013/06/2107>
108. Тарасенко Б. Ф. Конструктивно-технологические решения для уборки зерновых колосовых методом очеса. *Научный журнал КубГАУ*. 2011. №66(02). URL: ej.kubagro.ru/2011/03/pdf/02.pdf
109. Тимошенко С. П. Курс теории упругости. Киев. Издательство «Наукова думка». 1972. 508 с.
110. Тимченко А. В., Шварцман М. Е. Уборка урожая методом обмолота растений на корню двухбарабанной жаткой очесывающего типа «Славянка УАС». URL: ukragroserv.com.ua.
111. Тимченко А. В., Шварцман М. Е. Очесывающие жатки: мифы и реалии – взгляд инженера. URL: <http://ukragroserv.com.ua/articles/ochesyvayushie-zhatki-mify-i-realii-vzglyad-inzhenera/>
112. Товстановська Т.Г., Полякова І.О. Агробіологічні особливості вирощування льону олійного в Україні. *Агроном*. 2007. №1(15). С. 156–157.
113. Товароведение масличного сырья. URL: www.comodity.ru.
114. Физико-механические свойства растений, почв и удобрени: (Методы исследования, приборы, характеристики) / науч. ред. канд. техн. наук А. И. Буянов и канд. с.-х. наук Б. А. Воронюк; Всесоюз. науч.- исслед. ин-т с.-х. машиностроения им. В. П. Горячкина "ВИСХОМ". Москва : Колос, 1970. 423 с
115. Фусточенко А.Ю. Исследование воздушного потока, создаваемого барабаном очесывающей жатки. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. №1. С 23-25.
116. Хайлис Г.А. Механіка растительных материалов. К.:УААН, 2002. 374с.
117. Хайлис Г.А. Коновалюк Д.М. Расчет рабочих органов уборочных машин: УМК ВО, 1991. 200с.

118. Царенко О.М., Войтюк Д.Г., Швайко В.М. та ін Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підруч./ за ред. С.С. Яцуна. К.: Мета, 2003. 448 с.
119. Черников В.Г., Порфирьев С.Г., Ростовцев Р.А. Очесывающие аппараты льноуборочных машин (теория, конструкция, расчет): монография, М.: «Издательство ВИМ». 2004. С. 240.
120. Чуксин П. Функциональная модель комбайна. URL: <http://www.triz-summit.ru/file.php/id/f3776/manu/D-chuk=2.doc>
121. Чуксин П. Возрождение галльской жатки (ТРИЗ, обучение, проблемы, творчество). URL: <http://www.trizland.ru/trizba.php%Fid%3D362-63K>.
122. Шабанов П.А. Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01; Мелитополь, 1988. 308 с.
123. Шабанов Н. П., Овчаренко Ф. А. Обоснование профиля гребенок битера – отражателя двухбарабанного очесывающего устройства. *Ученые записки Крымского ИПУ*. 2012. Вып. 35. С. 75–78.
124. Шабанов Н. П., Овчаренко Ф. А. Экспериментальное обоснование параметров устройства для уборки зернового сорго очесом на корню. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2012. Вип. 12, т. 1. С. 90–95.
125. Шабанов Н.П., Полегенько А.Г. Конструктивно-технологические параметры устройства для уборки пшеницы с обмолотом на корню. *Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України "Кримський агротехнологічний університет"*. Технічні науки. 2013. Вип. 156. С.86–93.
126. Шабанов П.А., Шабанов Н.П. Обмолот на корню – дальнейшее развитие двухфазного способа обмолота зерновых культур. *Достижения науки и техники АПК*. 2006. №8. С. 8–10.
127. Шабанов, П.А. Определение зависимости некоторых параметров очесывающего устройства от состояния стеблестоя. *Комплексная механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства: Сб. статей /РИСХМ*.

Ростов-на-Дону, 1978. С. 39–47.

128. Шварцман М.Е., Тимченко А.В. Уборка урожая методом обмолота растений на корню двухбарабанной жаткой очёсывающего типа «Славянка УАС». *Укр. Агро-сервіс*. веб-сайт. URL: <http://ukragroserv.com.ua/ru/> (дата звернення: 12.03.2019).
129. Ahmet, I., Sait, M. S., Orhan K., Emin, B. Comparing of different harvesting systems in wheat harvesting. *Tarim Makinalari Bilimi Dergisi*, 2011. Vol. 7(1). p.89-93
130. Aldas, R. E., Bautista, E. U. Developments in stripper harvesting in the Philippines. *Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference*. Bangkok, Thailand, December 7-10, 1998. Vol. 1, pp. 167–178.
131. Aldoshin, N.V. Damage of white lupine grain during harvesting. Technoforum 2015. *New trends in machinery and technologies for biosystems*. 2015. pp. 14–18.
132. Aliev E.B., Bandura V.M., Pryshliak V.M., Yaropud V.M., Trukhanska O.O. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH. Agricultural Engineering*, 2018. Vol. 54, No. 1. pp. 95–104. ISSN 2068 – 4215.
133. Aliev, E.B., Yaropud, V.M., Dudin, V.Yr., Pryshliak, V.M., Pryshliak, N.V., Ivlev, V. V. Research on sunflower seeds separation by airflow. *INMATEH. Agricultural Engineering*, 2018. Vol. 56, No. 3. pp. 119-128. ISSN 2068 – 4215.
134. Altshuller, G.S., Zlotin, B.L., Zusman, A.V., Filatov, V.I. *In Search for New Ideas: from Insight to Technology*. Kishenev, Kartya Moldoveniaske, 1990.
135. Bai C., Gosman A. D. Development of methodology for spray impingement simulation. SAE Technical Paper Series. 1995. 21 p.
136. Bhanage, G.B., Shahare, P.U., Aware, V.V. & Dekhale, J.S. Development of paddy stripper header mechanism. *Research paper. International Journal of Agricultural Engineering*, 2017. Vol. 10. Issue 1. April, p.179–185.
137. Chuksin, P., Skuratovich, A. & Shpakovsky, N. Using Value-Engineering Analysis + TRIZ Method For Improving The Stripping Grain-Harvesting Machine. *The TRIZ journal*, 2003. URL: <https://triz-journal.com/using-value-engineerin-analysis-triz-method-improving-stripping-grain-harvesting-machine>.
138. Douthwaite, B., Tado, C.J. Field performance of the stripper gatherer rice harvester.

- Singh G Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference*, 1992. Vol. 1 pp. 335–346.
139. Ephrem Zeleke Kassa, Dr. Ing Zewdu Abdi. Design and modification of appropriate reel mechanism to harvest tef crop. *International Journal of Research in Mechanical Engineering*. January-February, 2014. Vol. 2, Is.1. pp. 15–25.
 140. Henry, W.B., Vigil, M.R., Nielsen D.C. Proso Millet Harvest: A comparison of conventional harvest and direct harvest with a stripper header. *US DA-ARS, Weed Scientist*. 2006. URL:<https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/30100500/Publications%202000-20header.PDF>(Accessed: 05.03.2019).
 141. Hibbeler, R. C. 2008. *Mechanics of Materials*, 7th Edition. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA. URL: <https://www.amazon.com/Mechanics-Materials-7th-Russell-Hibbeler/dp/0132209918>
 142. Iguchi Manabu, Ilegbusi Olusegun J. *Basic Transport Phenomena in Materials Engineering*. Springer. 2014. 260 p.
 143. Iguchi, M., Ilegbusi Olusegun, J. (2014). *Basic Transport Phenomena in Materials Engineering*. Springer. 260 p.
 144. Yuan J., Lan Y. Development of a cereal stripping harvester. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript PM 07 009. 2007. Vol. IX. September. URL:<https://pdfs.semanticscholar.org/e366/f6a4f091e03b91ba40e5457ddec93f395970.pdf>
 145. Jiang, Yi-Yuan, Du Cheng-Hai, Xu Jia-Mei. Study on the performance of stripping rotor with air suction. *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering*, 1992. Vol. 1. pp. 176–179.
 146. Kalsirisilp, R., Singh, G. Performance evaluation of a Thai-made rice combine harvester. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America (AMA)*, 1999. pp. 63–69.
 147. Kozachenko O., Pahuchiy A. Modeling of interaction with plants linseed occupancy drum. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin-Rzeszow, 2019.

- Vol. 19. No 1. pp. 59–64.
148. Krishnasreni, S., Thongsawatwong, P. Utilization of combine harvester in Thailand. *Proceeding of the International Agricultural Engineering Conference*, 1998. Vol. 1 pp. 265–275.
149. Masebu, H.P., White, D. R., Chico-Santamarta, L., Crook M. J., Godwin R.J. Design, fabrication and operation of a static laboratory grain stripping rig for the study of stripping of sorghum panicles by various stripping tools. *International journal of innovative research in science, engineering and technology*, 2013. Vol. 2, Issue 12, December. p.7613–7619.
150. Moses F. Oduori, Thomas O. Mbuya, Jun Sakai, Eiji Inoue. Kinematics of the tined combine harvester reel. *Agric Eng Int: CIGR Journal*. September, 2012. Vol. 14, No.3. P. 53–60.
151. Petre Miu. *Combine Harvesters. Theory, Modeling, and Design*. CRC Press. 2014. 485 p.
152. Strakšas, A. Development of a stripper-header for grain harvesting. *Agromony Research*, 2006. № 4(1). pp. 79–89.
153. "The CVS range is suitable for harvesting Wheat, Durum, Barley, Oats, Flax and other small grain crops. Shelbourne Reynolds. URL: http://www.shelbourne.com/3/products/1/harvesting/31_stripper%20header/32_cvs (Accessed: 22.02.2019)
154. Wallin S. Engineering turbulence modeling for CFD with a focus on explicit algebraic Reynoldce stress models. Doctoral thesis. Norsteds truckeri, Stockholm, Sweden. 2000. 124 p.
155. А.с. 1020046 SU А01Д 41/08. Очесывающее устройство для обмолота растений на корню/ В.И. Цыбульников, П.А. Шабанов, А.П. Гарбузов, Е.Ф. Доронин, В.М. Богалов, И.К. Голубев. (Мелитопольский ИМЭСХ) – №3377270/30-15; заявл. 05.01.82. *Изобретения и открытия*. 1983. № 20.
156. А.с. 1074433 SU А01Д 41/08. Устройство для очеса растений на корню. / В.В. Чечиков, Л.Ф. Бабицкий, П.А. Шабанов, Ю.Н. Ярмашев, А.П. Гарбузов.

- (Мелитопольский ИМЭСХ) – №3261120/30-15; заявл. 13.03.81. *Изобретения и открытия*. 1984. № 7.
157. А.с. 482143 SU A01D 41/08. Рабочий орган для очесывания верхушек растений. / В.М. Повиляй, П.А. Шабанов (Мелитопольский ИМЭСХ) – №1986488/30-15; заявл. 16.01.74. *Изобретения и открытия*. 1975. № 32.
158. А.с. № 1165278 SU, МПК A01D41/06. Устройство для обмоласта сельскохозяйственных растений на корню/ И.К. Голубев, Б.И. Гончаров, В.Н. Цыбульников и др. (Мелитопольский ИМЭСХ); заявл. 24.05.83; опубл. 07.07.1985 Бюл. №25.
159. А.с. №1479019 SU, МПК A01D41/08. Устройство для обмоласта растений на корню/ Н.Н. Данченко, И.Н. Грицаенко, П.В. Федун (Мелитопольский ИМЭСХ) №3826851/30-15; заявл. 21.12.1984; опубл. 15.05.1989.
160. А.с. №934970 SU, МПК A01D41/08. Устройство для обмоласта зерновых культур на корню / Л.Ф. Бабицкий. №3009621/30-15; заявл. 26.11.1980; опубл. 25.06.1982. Бюл. №22. 2с.
161. Белодєдов В.О., Носко П.Л., Філь П. В., Обчісувальний пристрій на корені: пат. кор. мод. 54708 Україна, МПК A01C 7/20 (2006.01); подан. 14.04.2010; надр. 14.04.2010, Бюл.№22.
162. Козаченко О.В, Пахучий А.М., Дьяконов С.О., Шкрегаль О.М., Блезнюк О.В., Каденко В.С., Гончаров В.В.. Лабораторна установка для дослідження параметрів і режимів процесу обчісування сільськогосподарських культур: пат. кор. мод. 135514, Україна, МПК A01D 41/00 (2019.01) поданий 03.12.2018; надр. 10.07.2019, Бюл. №13.
163. Шабанов П.А., Машков О.М., Шабанов М.П., Пристрій для обмоласта сільськогосподарських культур на корені: пат. кор. мод. 72718, Україна, МПК A01D 41/08 (2006.01) поданий 15.03.2005; надр. 29.12.2003 Бюл. № 3
164. Patent SU 959669 Shelbourne Reynolds Engineering Ltd. Shelbourne Cereal Special Stripper Header. URL: <http://www.shelbourne.com> /. Apparatus for thrashing standing agricultural crops; declared 03.02.1980; published 04.01.1982.

ДОДАТКИ

Додаток А

Розрахунок інтегралу в програмному пакеті Wolfram Mathematica

 $\varphi = 100 \varphi / 180;$

$$N\left[\frac{\sqrt{2}}{\varphi} \int_0^{\varphi} \frac{\sin \theta}{\sqrt{\cos \theta}} d\theta\right]$$

$$N\left[\frac{\sqrt{2}}{\varphi} \int_0^{\varphi} \frac{\cos \theta}{\sqrt{\cos \theta}} d\theta\right]$$

0.975358

0.430035_+0. φ

$$\int_0^{\varphi} \frac{\sin \theta}{\sqrt{\cos \theta}} d\theta$$

$$\int_0^{\varphi} \frac{\cos \theta}{\sqrt{\cos \theta}} d\theta$$

$$\text{Simplify}\left[\int_0^{\varphi} \frac{\cos \theta}{\sqrt{\cos \theta}} d\theta\right]$$

$$\text{ConditionalExpression}\left[2 \sqrt{1 - \cos \varphi}, \cos[\varphi] \geq 1\right]$$

$$\text{ConditionalExpression}\left[\left(2(-1 + \cos[\varphi]) \text{EllipticE}\left[\frac{\varphi}{2}, \text{Csc}\left[\frac{\varphi}{2}\right]^2\right] + \cos[\varphi]\right) \sqrt{1 - \cos \varphi}, \cos[\varphi] \geq 1\right]$$

$$\text{EllipticF}\left[\frac{\varphi}{2}, \text{Csc}\left[\frac{\varphi}{2}\right]^2\right] \sqrt{1 - \cos \varphi}, \cos[\varphi] \geq 1$$

Додаток Б

Визначення раціональної форми обтікача жнивarki в програмному пакеті Wolfram Mathematica

```
M={{0.3,60,9.2337},{0.3,70,10.855},{0.3,80,12.367},{0.35,60,12.664},{0.35,70,14.71},{0.35,80,16.588},{0.4,60,16.49},{0.4,70,18.958},{0.4,80,21.191}};
```

```
MatrixForm[%]
```

```
X={1,ht,n};
```

```
VZ=Fit[M,X,{ht,n}];
```

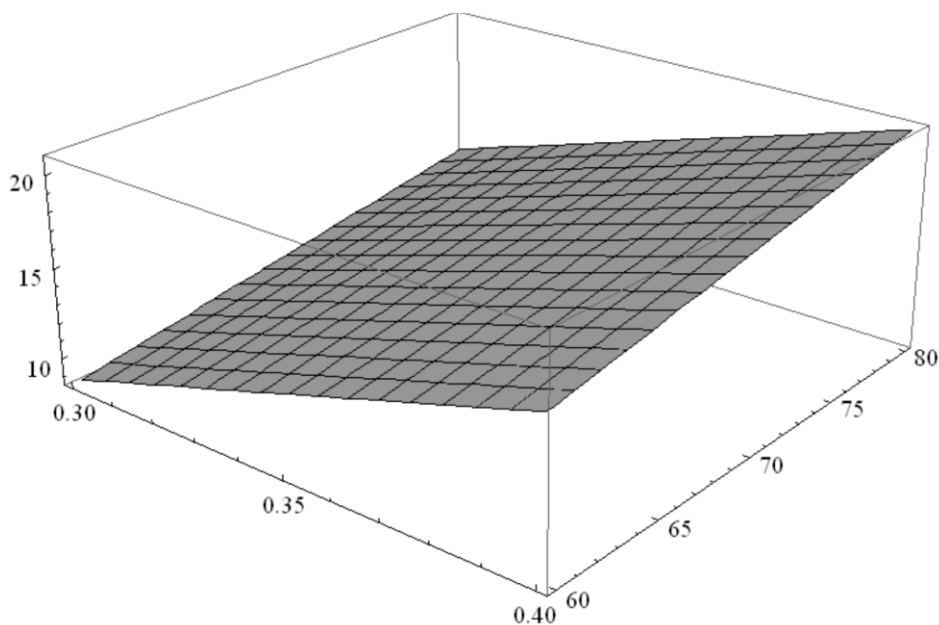
```
V[ht_,n_]=VZ;
```

```
V[ht,n]
```

```
Plot3D[V[ht,n],{ht,0.3,0.4},{n,60,80}]
```

```
(_{
  {0.3, 60, 9.2337},
  {0.3, 70, 10.855},
  {0.3, 80, 12.367},
  {0.35, 60, 12.664},
  {0.35, 70, 14.71},
  {0.35, 80, 16.588},
  {0.4, 60, 16.49},
  {0.4, 70, 18.958},
  {0.4, 80, 21.191}
}_)
```

```
-27.1478+80.611 ht+0.195972 n
```



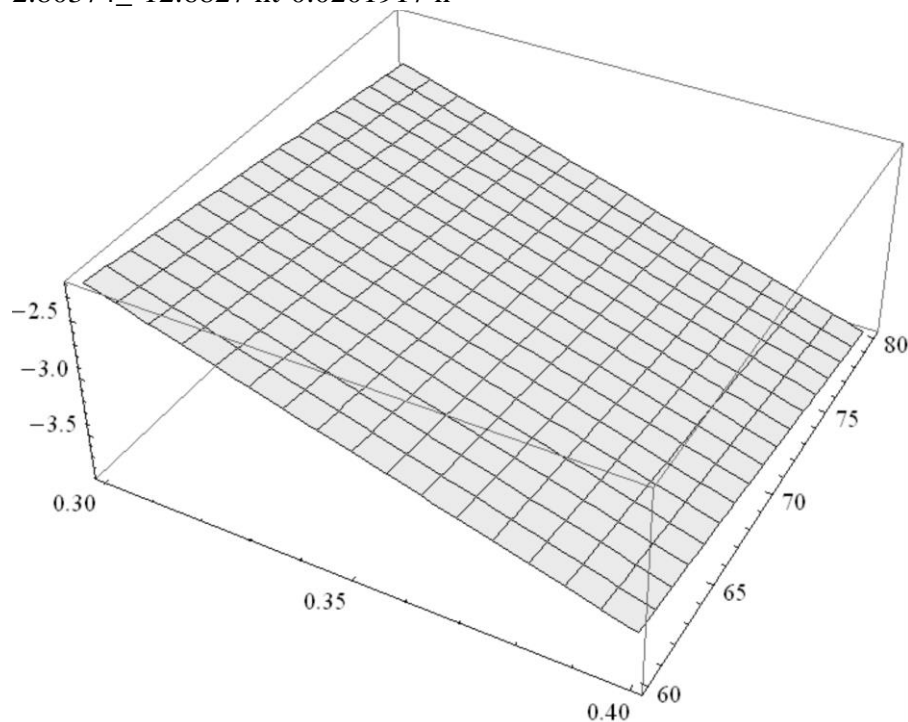
```
M={{0.3,60,-2.2401},{0.3,70,-2.4273},{0.3,80,-2.5894},{0.35,60,-2.8318},{0.35,70,-3.0501},{0.35,80,-3.2372},{0.4,60,-3.4526},{0.4,70,-3.6996},{0.4,80,-3.9094}};
```

```
MatrixForm[%]
```

```

X={1,ht,n};
VZ=Fit[M,X,{ht,n}];
V[ht_,n_]=VZ;
V[ht,n]
Plot3D[V[ht,n],{ht,0.3,0.4},{n,60,80}]
(
{
{0.3, 60, -2.2401},
{0.3, 70, -2.4273},
{0.3, 80, -2.5894},
{0.35, 60, -2.8318},
{0.35, 70, -3.0501},
{0.35, 80, -3.2372},
{0.4, 60, -3.4526},
{0.4, 70, -3.6996},
{0.4, 80, -3.9094}
}
)
2.80374_-12.6827 ht-0.0201917 n

```

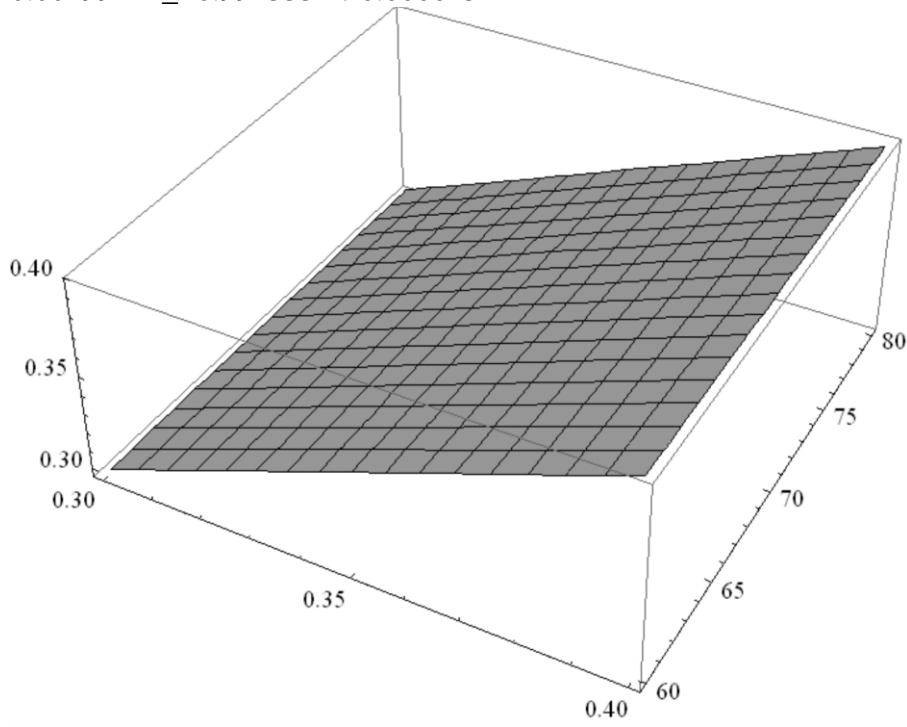


```

M={{0.3,60,0.2985},{0.3,70,0.2983},{0.3,80,0.2982},{0.35,60,0.3481},{0.35,70,0.3479},{0.35,80,0.3478},{0.4,60,0.3976},{0.4,70,0.3975},{0.4,80,0.3973}};
MatrixForm[%]
X={1,ht,n};
VZ=Fit[M,X,{ht,n}];
V[ht_,n_]=VZ;
V[ht,n]
Plot3D[V[ht,n],{ht,0.3,0.4},{n,60,80}]
(
{
{0.3, 60, 0.2985},
{0.3, 70, 0.2983},
{0.3, 80, 0.2982},
{0.35, 60, 0.3481},
{0.35, 70, 0.3479},
{0.35, 80, 0.3478},

```

{0.4, 60, 0.3976},
{0.4, 70, 0.3975},
{0.4, 80, 0.3973}
}_)
0.00199444_+0.991333 ht-0.000015 n



Додаток В

Вирішення системи рівнянь в програмного пакету Wolfram Mathematica

```

g=9.8;
h=0.42;
m=0.48/1000;
EE=42*10000000;
J=5/10000000;
□=15/1000000;
ys=0.16;
n=1
Sol=NDSolve[{y''[t]+□/m y'[t]+(Pi^4 n^4 EE J)/(m h^3) y[t]+2/(Pi n) ((Pi^2 EE J)/(4m h^2) +g)(1-(-
1)^n)□0,y[0]==ys,y'[0]□0},y[t],t]
y[t]/.Last[Sol]
Plot[y[t]/.Last[Sol],{t,0,0.0001}]
{{y[t]□InterpolatingFunction[{{0.,0.}},<>][t]}}
InterpolatingFunction[{{0.,0.}},<>][t]
rin=0.22;
rout=0.28;
f=0.8;
w=500*3.14/30;
g=9.8;
sol=Simplify[DSolve[{r''[t]+2 f w r'[t]-w^2 r[t]□-g (Sin[w t]+f Cos[w t]),r[rin]□0,r'[0]□0},r[t],t]]
rr[t_]:=r[t]/.sol
drr[t_]:=D[r[t]/.sol,t]
drr[t]
Plot[rr[t],{t,0,Pi/6}]
{{r[t]□(0.00018828_+2.44235□10^-20 □) □-108.886 t-(2.06535□10^-6-1.74205□10^-22 □) □25.1527
t+(0.00174548_-2.40741□10^-35 □) Cos[52.3333 t]+(0.000392733_+5.07325□10^-20 □) Sin[52.3333
t]}}
{(-0.0205011-2.65938□10^-18 □) □-108.886 t-(0.0000519491_-4.38174□10^-21 □) □25.1527
t+(0.0205531_+2.655□10^-18 □) Cos[52.3333 t]-(0.0913469_-1.25988□10^-33 □) Sin[52.3333 t]}

```

Додаток Г

Визначення максимальної швидкості повітря в програмному пакеті Wolfram

Mathematica

```

M = {{-1, -1, -1, 13.94}, {-1, -1, 0, 20.85}, {-1, -1, 1, 28.83},
      {-1, 0, -1, 14}, {-1, 0, 0, 20.84}, {-1, 0, 1, 30.09}, {-1, 1, -1, 20.19},
      {-1, 1, 0, 24.18}, {-1, 1, 1, 28.82}, {0, -1, -1, 13.95}, {0, -1, 0, 20.84},
      {0, -1, 1, 28.8}, {0, 0, -1, 14.04}, {0, 0, 0, 20.84}, {0, 0, 1, 30.22},
      {0, 1, -1, 20.88}, {0, 1, 0, 24.18}, {0, 1, 1, 28.76}, {1, -1, -1, 13.93},
      {1, -1, 0, 20.82}, {1, -1, 1, 28.57}, {1, 0, -1, 14.05}, {1, 0, 0, 20.82},
      {1, 0, 1, 30.23}, {1, 1, -1, 22.17}, {1, 1, 0, 23.96}, {1, 1, 1, 28.41}};
nlm = NonlinearModelFit[M, a00 + a10 * x1 + a20 * x2 + a30 * x3 + a12 * x1 * x2 +
      a13 * x1 * x3 + a23 * x2 * x3 + a11 * x1^2 + a22 * x2^2 + a33 * x3^2,
      {a00, a10, a20, a30, a12, a13, a23, a11, a22, a33}, {x1, x2, x3}];
"Закодоване повне"
Normal[nlm]
"Критерій Стюдента"
nlm["ParameterTable"]

```

Закодоване повне

$$21.1293 + 0.0677778 x_1 - 0.0177778 x_1^2 + 1.72333 x_2 + 0.1375 x_1 x_2 + 1.21222 x_2^2 + 6.42111 x_3 - 0.2125 x_1 x_3 - 1.8025 x_2 x_3 + 0.845556 x_3^2$$

Критерій Стюдента

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
a00	21.1293	0.636742	33.1834	6.75942×10^{-17}
a10	0.0677778	0.294754	0.229947	0.820877
a20	1.72333	0.294754	5.84668	0.0000194275
a30	6.42111	0.294754	21.7846	7.37049×10^{-14}
a12	0.1375	0.360999	0.380888	0.708004
a13	-0.2125	0.360999	-0.588645	0.56384
a23	-1.8025	0.360999	-4.99309	0.000111173
a11	-0.0177778	0.510529	-0.0348223	0.972627
a22	1.21222	0.510529	2.37444	0.0296162
a33	0.845556	0.510529	1.65623	0.116015

"Закодоване скорочене"

```

θ[x1_, x2_, x3_] := 21.12925925925926` +
  1.7233333333333335` x2 + 1.2122222222222254` x2^2 + 6.4211111111111085` x3 -
  0.2124999999999999` x1 x3 - 1.8025000000000015` x2 x3 + 0.8455555555555582` x3^2
θ[x1, x2, x3]
θ[A2, B2, C2]
"Розкадоване скорочене"

```

"Закодоване скорочене"

```

 $\theta[x1\_ , x2\_ , x3\_ ] := 21.12925925925926` +$ 
 $1.723333333333335` x2 + 1.212222222222254` x2^2 + 6.4211111111111085` x3 -$ 
 $0.2124999999999999` x1 x3 - 1.8025000000000015` x2 x3 + 0.8455555555555582` x3^2$ 

```

$\theta[x1, x2, x3]$

$\theta[A2, B2, C2]$

"Розкадоване скорочене"

$x10 = 0.6;$

$dx1 = 0.25;$

$x20 = 600;$

$dx2 = 200;$

$x30 = 600;$

$dx3 = 200;$

$\theta\theta[L_ , n1_ , n2_] := \theta[(L - x10) / dx1, (n1 - x20) / dx2, (n2 - x30) / dx3];$

$\text{Expand}[\theta\theta[L, n1, n2]]$

"Оптимум"

$\text{Opt} = \text{FindMinimum}[\{\theta\theta[L, n1, n2], x10 - dx1 \leq L \leq x10 + dx1, x20 - dx2 \leq n1 \leq x20 + dx2,$
 $x30 - dx3 \leq n2 \leq x30 + dx3\}, \{L, x10 - dx1\}, \{n1, x20 - dx2\}, \{n2, x30 - dx3\}]$

$L_{\text{opt}} = L /. \text{Last}[\text{Opt}];$

$n1_{\text{opt}} = n1 /. \text{Last}[\text{Opt}];$

$n2_{\text{opt}} = n2 /. \text{Last}[\text{Opt}];$

"Графики"

```

Plot3D[{\theta\theta[Lopt, n1, n2]}, {n1, x20 - dx2, x20 + dx2},
  {n2, x30 - dx3, x30 + dx3}, PlotStyle -> {Green},
  AxesLabel -> {"n1, об/хв ", " n2, об/хв", "V, м/с "}, LabelStyle -> {FontSize -> 14}]
Plot[{\theta\theta[L, 400, 400], \theta\theta[L, 600, 600], \theta\theta[L, 800, 800]}, {L, x10 - dx1, x10 + dx1},
  AxesLabel -> {"L, м ", "V, м/с "}, LabelStyle -> {FontSize -> 14}]

```

Закодоване скорочене

$21.1293 + 1.72333 x2 + 1.21222 x2^2 + 6.42111 x3 - 0.2125 x1 x3 - 1.8025 x2 x3 + 0.845556 x3^2$

$21.1293 + 1.72333 B2 + 1.21222 B2^2 + 6.42111 C2 - 0.2125 A2 C2 - 1.8025 B2 C2 + 0.845556 C2^2$

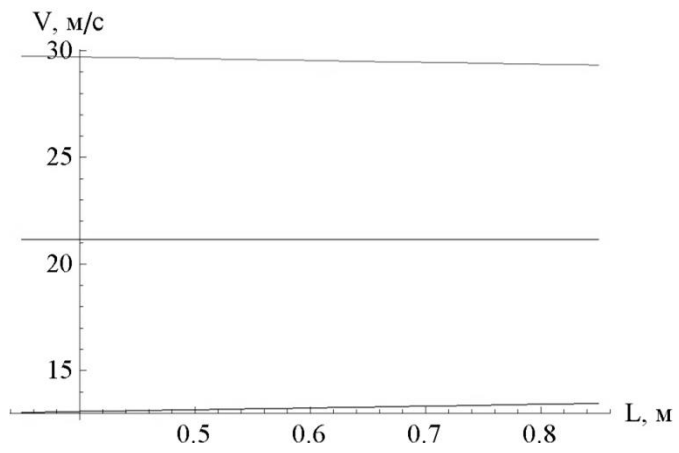
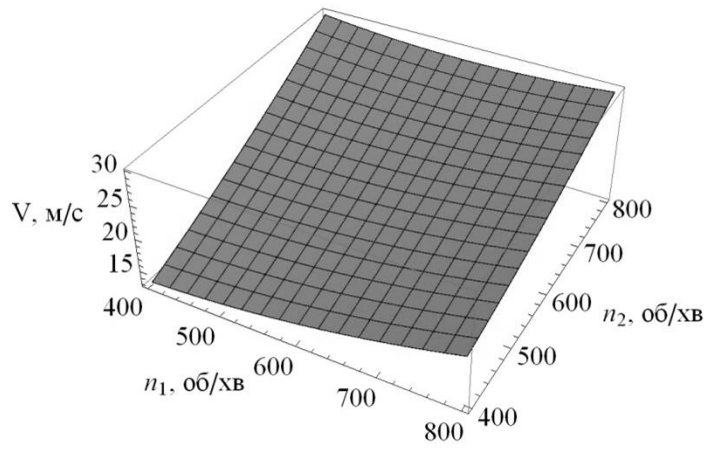
Розкадоване скорочене

$-2.53657 + 2.55 L - 0.0007125 n1 + 0.0000303056 n1^2 +$
 $0.0363264 n2 - 0.00425 L n2 - 0.0000450625 n1 n2 + 0.0000211389 n2^2$

Оптимум

{13.0276, {L -> 0.35, n1 -> 400., n2 -> 400.}}

Графики



Додаток Д

Визначення масової частки відходу компонентів вороху з області жнивварки в програмного пакету Wolfram Mathematica

```

M = {{-1, -1, -1, -1, 25.1999999999987},
      {-1, -1, -1, 0, 32.9999999999988}, {-1, -1, -1, 1, 40.3999999999999},
      {-1, -1, 0, -1, 30.1999999999987}, {-1, -1, 0, 0, 33.8999999999988},
      {-1, -1, 0, 1, 44.2999999999999}, {-1, -1, 1, -1, 33.1999999999987},
      {-1, -1, 1, 0, 39.1999999999988}, {-1, -1, 1, 1, 47.3999999999999},
      {-1, 0, -1, -1, 26.6999999999987}, {-1, 0, -1, 0, 24.2999999999986},
      {-1, 0, -1, 1, 36.3999999999989}, {-1, 0, 0, -1, 29.5999999999987},
      {-1, 0, 0, 0, 27.3999999999986}, {-1, 0, 0, 1, 41.7999999999989},
      {-1, 0, 1, -1, 32.9999999999987}, {-1, 0, 1, 0, 32.3999999999986},
      {-1, 0, 1, 1, 43.7999999999989}, {-1, 1, -1, -1, 21.1999999999986},
      {-1, 1, -1, 0, 27.6999999999987}, {-1, 1, -1, 1, 29.3999999999988},
      {-1, 1, 0, -1, 25.5999999999986}, {-1, 1, 0, 0, 28.5999999999987},
      {-1, 1, 0, 1, 34.3999999999988}, {-1, 1, 1, -1, 29.5999999999986},
      {-1, 1, 1, 0, 34.7999999999987}, {-1, 1, 1, 1, 37.3999999999987},
      {0, -1, -1, -1, 25.6999999999987}, {0, -1, -1, 0, 30.9999999999987},
      {0, -1, -1, 1, 38.0999999999989}, {0, -1, 0, -1, 29.6999999999987},
      {0, -1, 0, 0, 30.9999999999987}, {0, -1, 0, 1, 41.7999999999989},
      {0, -1, 1, -1, 33.7999999999987}, {0, -1, 1, 0, 37.1999999999987},
      {0, -1, 1, 1, 46.1999999999989}, {0, 0, -1, -1, 24.3999999999986},
      {0, 0, -1, 0, 28.7999999999987}, {0, 0, -1, 1, 33.5999999999989},
      {0, 0, 0, -1, 25.3999999999986}, {0, 0, 0, 0, 33.9999999999987},
      {0, 0, 0, 1, 38.3999999999988}, {0, 0, 1, -1, 30.3999999999986},
      {0, 0, 1, 0, 36.9999999999987}, {0, 0, 1, 1, 42.5999999999989},
      {0, 1, -1, -1, 23.0999999999986}, {0, 1, -1, 0, 29.3999999999988},
      {0, 1, -1, 1, 30.1999999999987}, {0, 1, 0, -1, 26.3999999999986},
      {0, 1, 0, 0, 34.6999999999988}, {0, 1, 0, 1, 34.7999999999987},
      {0, 1, 1, -1, 29.3999999999986}, {0, 1, 1, 0, 38.7999999999988},
      {0, 1, 1, 1, 37.1999999999987}, {1, -1, -1, -1, 24.8999999999987},
      {1, -1, -1, 0, 35.3999999999989}, {1, -1, -1, 1, 36.1999999999989},
      {1, -1, 0, -1, 28.7999999999987}, {1, -1, 0, 0, 41.4999999999989},
      {1, -1, 0, 1, 41.3999999999989}, {1, -1, 1, -1, 33.1999999999987},
      {1, -1, 1, 0, 43.7999999999989}, {1, -1, 1, 1, 44.5999999999989},
      {1, 0, -1, -1, 29.6999999999988}, {1, 0, -1, 0, 31.7999999999988},
      {1, 0, -1, 1, 37.8999999999989}, {1, 0, 0, -1, 34.6999999999988},
      {1, 0, 0, 0, 36.5999999999988}, {1, 0, 0, 1, 42.0999999999989},
      {1, 0, 1, -1, 36.9999999999987}, {1, 0, 1, 0, 40.9999999999988},
      {1, 0, 1, 1, 44.1999999999989}, {1, 1, -1, -1, 17.4999999999986},

```

```

{1, 1, -1, 0, 24.7999999999987}, {1, 1, -1, 1, 31.0999999999988},
{1, 1, 0, -1, 23.2999999999986}, {1, 1, 0, 0, 30.3999999999987},
{1, 1, 0, 1, 36.2999999999988}, {1, 1, 1, -1, 27.5999999999986},
{1, 1, 1, 0, 32.7999999999987}, {1, 1, 1, 1, 39.3999999999988}};
nlm = NonlinearModelFit[M, a00 + a10 * x1 + a20 * x2 + a30 * x3 + a40 * x4
+ a12 * x1 * x2 + a13 * x1 * x3 + a14 * x1 * x4
+ a23 * x2 * x3 + a24 * x2 * x4
+ a34 * x3 * x4
+ a11 * x1^2 + a22 * x2^2 + a33 * x3^2 + a44 * x4^2, {a00, a10, a20, a30,
a40, a12, a13, a14, a23, a24, a34, a11, a22, a33, a44}, {x1, x2, x3, x4}];
"Закодоване повне"
Normal[nlm]
"Критерій Стюдента"
nlm["ParameterTable"]

```

Закодоване повне

$$\begin{aligned}
& 33.8704 + 0.687037 x_1 + 0.605556 x_1^2 - 2.87407 x_2 - 0.236111 x_1 x_2 - \\
& 1.16667 x_2^2 + 3.87222 x_3 + 0.216667 x_1 x_3 + 0.108333 x_2 x_3 - 0.172222 x_3^2 + \\
& 5.40926 x_4 - 0.125 x_1 x_4 - 0.811111 x_2 x_4 + 0.0194444 x_3 x_4 + 0.15 x_4^2
\end{aligned}$$

Критерій Стюдента

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
a00	33.8704	0.855337	39.5989	1.01444×10^{-47}
a10	0.687037	0.34919	1.96752	0.0533285
a20	-2.87407	0.34919	-8.23069	1.02346×10^{-11}
a30	3.87222	0.34919	11.0892	1.01037×10^{-16}
a40	5.40926	0.34919	15.4909	1.14607×10^{-23}
a12	-0.236111	0.427668	-0.552089	0.582752
a13	0.216667	0.427668	0.506623	0.614108
a14	-0.125	0.427668	-0.292282	0.770987
a23	0.108333	0.427668	0.253311	0.800815
a24	-0.811111	0.427668	-1.89659	0.06226
a34	0.0194444	0.427668	0.0454662	0.963873
a11	0.605556	0.604815	1.00123	0.320375
a22	-1.16667	0.604815	-1.92897	0.0580369
a33	-0.172222	0.604815	-0.284752	0.776726
a44	0.15	0.604815	0.24801	0.804897

"Закодоване скорочене"

```
P[x1_, x2_, x3_, x4_] := 33.87037037036909` + 0.6870370370370532` x1 +
  0.60555555555556054` x1^2 - 2.8740740740741306` x2 - 0.23611111111110733` x1 x2 -
  1.1666666666666696` x2^2 + 3.8722222222222173` x3 + 0.21666666666666773` x1 x3 +
  0.10833333333333206` x2 x3 - 0.1722222222222268` x3^2 + 5.409259259259353` x4 -
  0.125000000000000872` x1 x4 - 0.8111111111111292` x2 x4 + 0.15000000000003127` x4^2
```

P[x1, x2, x3, x4]

"Розкодоване скорочене"

x10 = 600;

dx1 = 200;

x20 = 600;

dx2 = 200;

x30 = 0.6;

dx3 = 0.25;

x40 = 0.3;

dx4 = 0.15;

```
PP[n1_, n2_, L_, B_] := P[(n1 - x10) / dx1, (n2 - x20) / dx2, (L - x30) / dx3, (B - x40) / dx4];
```

```
Expand[PP[n1, n2, L, B]]
```

"Оптимум"

```
Opt = FindMaximum[{PP[n1, n2, L, B], x10 - dx1 ≤ n1 ≤ x10 + dx1,
  x20 - dx2 ≤ n2 ≤ x20 + dx2, x30 - dx3 ≤ L ≤ x30 + dx3, x40 - dx4 ≤ B ≤ x40 + dx4},
  {n1, x10 + dx1}, {n2, x20 + dx2}, {L, x30 + dx3}, {B, x40 + dx4}]
```

```
n1opt = n1 /. Last[Opt];
```

```
n2opt = n2 /. Last[Opt];
```

```
Lopt = L /. Last[Opt];
```

```
Bopt = B /. Last[Opt];
```

"Графики"

```
Plot3D[{PP[n1, n2, Lopt, Bopt]}, {n1, x10 - dx1, x10 + dx1},
  {n2, x20 - dx2, x20 + dx2}, PlotStyle → {Green},
  AxesLabel → {"n1, об/хв", "n2, об/хв", "δh, %"}, LabelStyle → {FontSize → 14}]
```

```
Plot3D[{PP[n1opt, n2opt, L, B]}, {L, x30 - dx3, x30 + dx3},
  {B, x40 - dx4, x40 + dx4}, PlotStyle → {Green},
  AxesLabel → {"L, м", "B, м", "δh, %"}, LabelStyle → {FontSize → 14}]
```

Закодоване скорочене

```
33.8704 + 0.687037 x1 + 0.605556 x1^2 - 2.87407 x2 -
  0.236111 x1 x2 - 1.16667 x2^2 + 3.87222 x3 + 0.216667 x1 x3 + 0.108333 x2 x3 -
  0.172222 x3^2 + 5.40926 x4 - 0.125 x1 x4 - 0.811111 x2 x4 + 0.15 x4^2
```

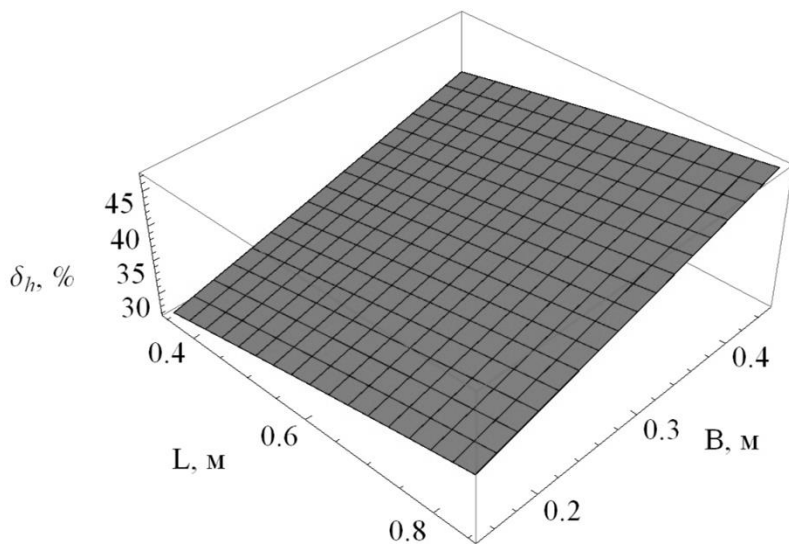
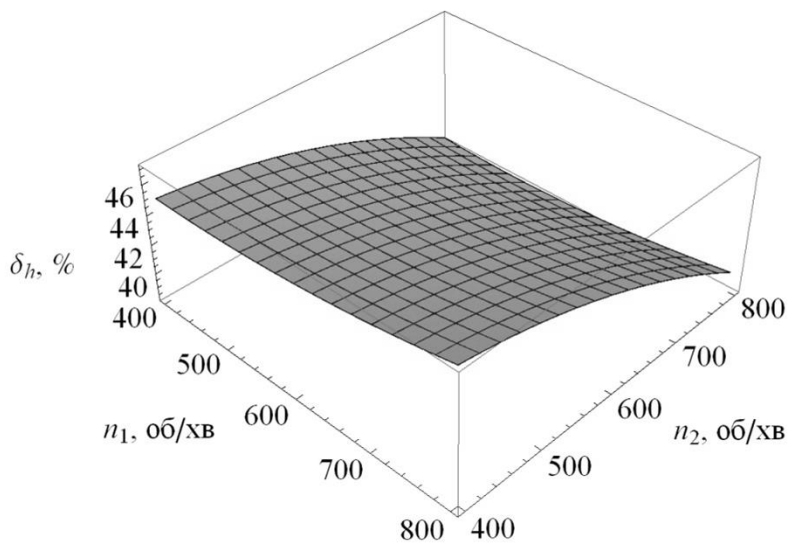
Розкодоване скорочене

```
9.47596 + 50.784 B + 6.66667 B^2 + 14.8956 L - 2.75556 L^2 - 0.0125398 n1 -
  0.00416667 B n1 + 0.00433333 L n1 + 0.0000151389 n1^2 + 0.0309824 n2 -
  0.027037 B n2 + 0.00216667 L n2 - 5.90278 × 10^-6 n1 n2 - 0.0000291667 n2^2
```

Оптимум

$M = \{ \{-1, -1, -1, -1, 13.3483870967725\},$
 $\{-1, -1, -1, 0, 15.9440860215037\}, \{-1, -1, -1, 1, 20.7602150537619\},$
 $\{-1, -1, 0, -1, 12.6483870967725\}, \{-1, -1, 0, 0, 16.0440860215037\},$
 $\{-1, -1, 0, 1, 20.2602150537619\}, \{-1, -1, 1, -1, 13.5483870967725\},$
 $\{-1, -1, 1, 0, 16.3440860215037\}, \{-1, -1, 1, 1, 20.8602150537619\},$
 $\{-1, 0, -1, -1, 3.7010752688153\}, \{-1, 0, -1, 0, 5.6215053763422\},$
 $\{-1, 0, -1, 1, 6.84193548386914\}, \{-1, 0, 0, -1, 4.0010752688153\},$
 $\{-1, 0, 0, 0, 6.0215053763422\}, \{-1, 0, 0, 1, 6.64193548386913\},$
 $\{-1, 0, 1, -1, 4.3010752688153\}, \{-1, 0, 1, 0, 6.0215053763422\},$
 $\{-1, 0, 1, 1, 7.74193548386913\}, \{-1, 1, -1, -1, 8.24731182795517\},$
 $\{-1, 1, -1, 0, 7.22688172042827\}, \{-1, 1, -1, 1, 8.18709677419172\},$
 $\{-1, 1, 0, -1, 8.44731182795516\}, \{-1, 1, 0, 0, 7.42688172042827\},$
 $\{-1, 1, 0, 1, 7.78709677419171\}, \{-1, 1, 1, -1, 9.24731182795517\},$
 $\{-1, 1, 1, 0, 7.52688172042826\}, \{-1, 1, 1, 1, 8.38709677419172\},$
 $\{47.1602, \{n_1 \rightarrow 800., n_2 \rightarrow 400., L \rightarrow 0.85, B \rightarrow 0.45\}\}$

Графики



```

{0, -1, -1, -1, 15.513978494622}, {0, -1, -1, 0, 15.513978494622},
{0, -1, -1, 1, 15.513978494622}, {0, -1, 0, -1, 15.113978494622},
{0, -1, 0, 0, 14.913978494622}, {0, -1, 0, 1, 15.813978494622},
{0, -1, 1, -1, 15.913978494622}, {0, -1, 1, 0, 15.913978494622},
{0, -1, 1, 1, 15.913978494622}, {0, 0, -1, -1, 4.3010752688153},
{0, 0, -1, 0, 3.27096774193355}, {0, 0, -1, 1, 1.63548387096579},
{0, 0, 0, -1, 4.2010752688153}, {0, 0, 0, 0, 3.27096774193355},
{0, 0, 0, 1, 1.23548387096579}, {0, 0, 1, -1, 4.3010752688153},
{0, 0, 1, 0, 3.87096774193355}, {0, 0, 1, 1, 1.93548387096578},
{0, 1, -1, -1, 7.78709677419172}, {0, 1, -1, 0, 4.06129032257876},
{0, 1, -1, 1, 4.63118279569701}, {0, 1, 0, -1, 7.98709677419171},
{0, 1, 0, 0, 4.36129032257875}, {0, 1, 0, 1, 4.131182795697},
{0, 1, 1, -1, 8.38709677419172}, {0, 1, 1, 0, 5.16129032257875},
{0, 1, 1, 1, 4.73118279569701}, {1, -1, -1, -1, 12.1032258064499},
{1, -1, -1, 0, 11.688172043009}, {1, -1, -1, 1, 12.1182795698907},
{1, -1, 0, -1, 12.3032258064499}, {1, -1, 0, 0, 12.188172043009},
{1, -1, 0, 1, 12.1182795698907}, {1, -1, 1, -1, 12.9032258064499},
{1, -1, 1, 0, 12.688172043009}, {1, -1, 1, 1, 13.1182795698907},
{1, 0, -1, -1, 6.82688172042828}, {1, 0, -1, 0, 4.89139784946049},
{1, 0, -1, 1, 6.06666666666648}, {1, 0, 0, -1, 6.52688172042826},
{1, 0, 0, 0, 5.39139784946049}, {1, 0, 0, 1, 5.76666666666648},
{1, 0, 1, -1, 7.52688172042826}, {1, 0, 1, 0, 5.59139784946049},
{1, 0, 1, 1, 6.66666666666648}, {1, 1, -1, -1, 2.62580645161097},
{1, 1, -1, 0, 6.03655913978307}, {1, 1, -1, 1, 4.36129032257875},
{1, 1, 0, -1, 2.42580645161098}, {1, 1, 0, 0, 5.93655913978307},
{1, 1, 0, 1, 3.96129032257875}, {1, 1, 1, -1, 3.22580645161098},
{1, 1, 1, 0, 6.23655913978307}, {1, 1, 1, 1, 5.16129032257875}};
nlm = NonlinearModelFit[M, a00 + a10 * x1 + a20 * x2 + a30 * x3 + a40 * x4
+ a12 * x1 * x2 + a13 * x1 * x3 + a14 * x1 * x4
+ a23 * x2 * x3 + a24 * x2 * x4
+ a34 * x3 * x4
+ a11 * x1^2 + a22 * x2^2 + a33 * x3^2 + a44 * x4^2, {a00, a10, a20, a30,
a40, a12, a13, a14, a23, a24, a34, a11, a22, a33, a44}, {x1, x2, x3, x4}];
"Закодоване повне"
Normal[nlm]
"Критерій Стюдента"
nlm["ParameterTable"]

```

Закодоване повне

$$4.09892 - 1.23483 x_1 + 0.755854 x_1^2 - 4.39665 x_2 + 0.167115 x_1 x_2 + 5.49008 x_2^2 + 0.266667 x_3 + 0.0638889 x_1 x_3 + 0.00555556 x_2 x_3 + 0.337037 x_3^2 + 0.275627 x_4 - 0.752957 x_1 x_4 - 0.836738 x_2 x_4 - 0.0138889 x_3 x_4 + 0.212664 x_4^2$$

Критерій Стюдента

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
a00	4.09892	0.600928	6.82099	3.36731×10^{-9}
a10	-1.23483	0.245328	-5.03337	3.95925×10^{-6}
a20	-4.39665	0.245328	-17.9215	4.71598×10^{-27}
a30	0.266667	0.245328	1.08698	0.280999
a40	0.275627	0.245328	1.1235	0.265293
a12	0.167115	0.300464	0.556188	0.579963
a13	0.0638889	0.300464	0.212634	0.832268
a14	-0.752957	0.300464	-2.50598	0.0146845
a23	0.00555556	0.300464	0.0184899	0.985304
a24	-0.836738	0.300464	-2.78482	0.00698207
a34	-0.0138889	0.300464	-0.0462248	0.963271
a11	0.755854	0.424921	1.77881	0.0798755
a22	5.49008	0.424921	12.9203	9.69836×10^{-20}
a33	0.337037	0.424921	0.793177	0.430517
a44	0.212664	0.424921	0.50048	0.618402

"Закодоване скорочене"

```
P[x1_, x2_, x3_, x4_] := 4.098924731180886` -
  1.234826762246145` x1 + 0.7558542413381328` x1^2 - 4.39665471923546` x2 +
  5.490083632019218` x2^2 + 0.2666666666666666` x3 + 0.33703703703703713` x3^2 +
  0.2756272401433699` x4 - 0.752956989247334` x1 x4 - 0.8367383512544917` x2 x4
```

P[x1, x2, x3, x4]

"Розкодоване скорочене"

```
x10 = 600;
dx1 = 200;
x20 = 600;
dx2 = 200;
x30 = 0.6;
dx3 = 0.25;
x40 = 0.3;
dx4 = 0.15;
```

```
PP[n1_, n2_, L_, B_] := P[(n1 - x10) / dx1, (n2 - x20) / dx2, (L - x30) / dx3, (B - x40) / dx4];
```

```
Expand[PP[n1, n2, L, B]]
```

"Оптимум"

```
Opt = FindMinimum[{PP[n1, n2, L, B], x10 - dx1 ≤ n1 ≤ x10 + dx1,
  x20 - dx2 ≤ n2 ≤ x20 + dx2, x30 - dx3 ≤ L ≤ x30 + dx3, x40 - dx4 ≤ B ≤ x40 + dx4},
  {n1, x10 + dx1}, {n2, x20 + dx2}, {L, x30 + dx3}, {B, x40 + dx4}]
```

```
n1opt = n1 /. Last[Opt];
```

```
n2opt = n2 /. Last[Opt];
```

```
Lopt = L /. Last[Opt];
```

```
Bopt = B /. Last[Opt];
```

"Графики"

```
Plot3D[{PP[n1, n2, Lopt, Bopt]}, {n1, x10 - dx1, x10 + dx1},
  {n2, x20 - dx2, x20 + dx2}, PlotStyle -> {Green},
  AxesLabel -> {"n1, об/хв ", " n2, об/хв ", "δs, % "}, LabelStyle -> (FontSize -> 14)]
Plot3D[{PP[nlopt, n2opt, L, B]}, {L, x30 - dx3, x30 + dx3},
  {B, x40 - dx4, x40 + dx4}, PlotStyle -> {Green},
  AxesLabel -> {"L, м ", " B, м ", "δs, % "}, LabelStyle -> (FontSize -> 14)]
Expand[PP[A10, B10, C10, D10]]
```

Закодоване скорочене

$$4.09892 - 1.23483 x_1 + 0.755854 x_1^2 - 4.39665 x_2 + 5.49008 x_2^2 + 0.266667 x_3 + 0.337037 x_3^2 + 0.275627 x_4 - 0.752957 x_1 x_4 - 0.836738 x_2 x_4$$

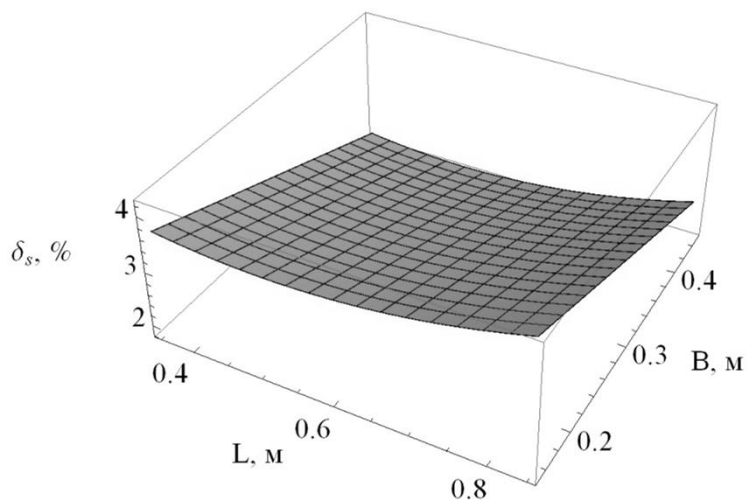
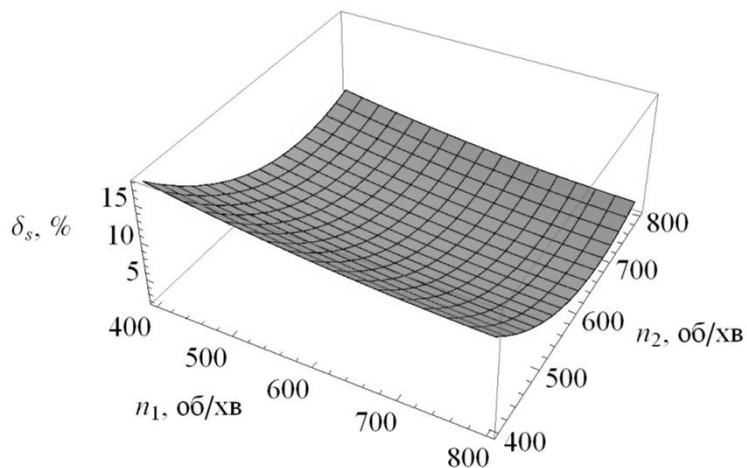
Розкодоване скорочене

$$68.4187 + 33.6314 B - 5.40444 L + 5.39259 L^2 - 0.0213202 n_1 - 0.0250986 B n_1 + 0.0000188964 n_1^2 - 0.178318 n_2 - 0.0278913 B n_2 + 0.000137252 n_2^2$$

ОПТИМУМ

```
{1.8427, {n1 -> 800., n2 -> 695.324, L -> 0.501099, B -> 0.45}}
```

Графики



$$68.4187 - 0.0213202 A10 + 0.0000188964 A10^2 - 0.178318 B10 + 0.000137252 B10^2 - 5.40444 C10 + 5.39259 C10^2 + 33.6314 D10 - 0.0250986 A10 D10 - 0.0278913 B10 D10$$

Додаток Е

Матриця плану експериментальних досліджень режимних параметрів жнивarki
обчисувального типу

№	n_1 , об/хв.	n_2 , об/хв.	L, м	B, м	(x_1)	(x_2)	(x_3)	(x_4)
1	960	920	0,8	0,4	1	1	0	0
2	960	420	0,8	0,4	1	-1	0	0
3	600	920	0,8	0,4	-1	1	0	0
4	600	420	0,8	0,4	-1	-1	0	0
5	780	670	1	0,6	0	0	1	1
6	780	670	1	0,2	0	0	1	-1
7	780	670	0,6	0,6	0	0	-1	1
8	780	670	0,6	0,2	0	0	-1	-1
9	780	670	0,8	0,4	0	0	0	0
10	960	670	0,8	0,6	1	0	0	1
11	960	670	0,8	0,2	1	0	0	-1
12	600	670	0,8	0,6	-1	0	0	1
13	600	670	0,8	0,2	-1	0	0	-1
14	780	920	1	0,4	0	1	1	0
15	780	920	0,6	0,4	0	1	-1	0
16	780	420	1	0,4	0	-1	1	0
17	780	420	0,6	0,4	0	-1	-1	0
18	780	670	0,8	0,4	0	0	0	0
19	960	670	1	0,4	1	0	1	0
20	960	670	0,6	0,4	1	0	-1	0
21	600	670	1	0,4	-1	0	1	0
22	600	670	0,6	0,4	-1	0	-1	0
23	780	920	0,8	0,6	0	1	0	1
24	780	920	0,8	0,2	0	1	0	-1
25	780	420	0,8	0,6	0	-1	0	1
26	780	420	0,8	0,2	0	-1	0	-1
27	780	670	0,8	0,4	0	0	0	0

Додаток Ж

Результати експериментальних досліджень режимних параметрів жниварки обчісувального типу

№	Маса до обчісування, г	Маса стеблової частина, г	Маса насіння в області жниварки, г	Маса часток стебла в області жниварки, г	Маса коробочок із насінням в області жниварки, г	Маса лушпиння в області жниварки, г	Маса відходу лушпиння і часток стебла з області жниварки, г	Маса відходу насіння і коробочок із насінням з області жниварки, г	Відхід лушпиння і часток стебла, %	Відхід насіння і коробочок із насінням, %	Потужність, кВт
1,1	196.0	62.9	50.2	23.8	22.5	6.5	16.2	13.9	34.8	16.0	3.2
1,2	201.0	76.6	43.4	21.7	21.9	9.1	15.2	13.2	33.0	16.8	2.9
1,3	203.0	76.3	45.2	17.8	25.8	10.2	14.8	12.9	34.5	15.4	3.3
Сер.	200.0	72.0	46.3	21.1	23.4	8.6	15.4	13.3	34.1	16.0	3.1
2,1	197.3	52.8	51.7	25.3	21.0	7.3	32.2	7.0	49.7	8.8	2.5
2,2	202.3	66.1	44.9	23.2	20.4	9.9	31.4	6.5	48.7	9.0	2.5
2,3	205.3	65.4	47.7	19.3	23.3	11.0	31.8	6.8	51.2	8.7	2.6
Сер.	201.6	61.4	48.1	22.6	21.6	9.4	31.8	6.8	49.8	8.8	2.9
3,1	199.6	58.0	54.2	26.8	18.5	8.1	17.1	16.9	32.9	18.9	2.8
3,2	203.6	73.3	46.4	26.7	18.9	6.7	15.7	15.9	31.9	19.6	2.9
3,3	208.6	73.6	51.2	22.8	19.8	7.8	16.7	16.7	35.3	19.0	3.1
Сер.	203.9	68.3	50.6	25.4	19.1	7.5	16.5	16.5	33.3	19.2	3.0
4,1	201.0	69.5	43.7	18.4	30.1	8.9	21.9	8.5	44.5	10.4	2.1
4,2	195.0	74.9	32.6	20.5	32.1	5.5	21.3	8.1	45.0	11.2	2.2
4,3	202.0	79.1	36.7	19.4	29.8	6.6	21.9	8.5	45.7	11.4	2.2
Сер.	199.3	74.5	37.6	19.4	30.7	7.0	21.7	8.4	45.1	11.0	2.5
5,1	204.0	72.0	48.8	15.3	26.2	8.8	30.1	2.8	55.5	3.6	2.5
5,2	200.0	67.7	49.4	17.7	22.6	11.4	29.1	2.1	50.0	2.8	2.6
5,3	201.0	68.4	50.2	16.8	22.7	10.3	29.9	2.7	52.5	3.5	2.7

Продовження додатку Ж

№	Маса до обчислення, г	Маса стеблової частина, г	Маса насіння в області жнивarki, г	Маса часток стебла в області жнивarki, г	Маса коробочок із насінням в області жнивarki, г	Маса лушпиння в області жнивarki, г	Маса відходу лушпиння і часток стебла з області жнивarki, г	Маса відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki, г	Відхід лушпиння і часток стебла, %	Відхід насіння і коробочок із насінням, %	Потужність, кВт
Сер.	201.7	69.4	49.5	16.6	23.8	10.2	29.7	2.5	52.6	3.3	2.6
6,1	205.3	85.6	50.3	16.8	24.7	7.6	15.1	5.1	38.3	6.4	2.9
6,2	200.3	78.6	49.9	18.2	22.1	11.2	15.5	4.8	34.6	6.3	2.7
6,3	203.3	82.5	52.7	20.3	20.2	7.1	15.9	4.6	36.8	5.9	3.2
Сер.	203.0	82.2	51.0	18.4	22.3	8.6	15.5	4.8	36.5	6.2	3.1
7,1	206.6	82.6	51.8	20.3	23.2	4.4	22.2	2.1	47.3	2.7	2.7
7,2	201.6	75.8	51.4	19.7	20.6	10.0	23.0	1.2	43.6	1.7	2.5
7,3	204.6	80.2	54.2	23.8	18.7	3.9	22.6	1.2	44.9	1.6	2.7
Сер.	204.3	79.5	52.5	21.3	20.8	6.1	22.6	1.5	45.2	2.0	2.7
8,1	199.0	95.8	50.3	13.8	17.4	9.6	8.7	3.5	27.1	4.9	2.9
8,2	198.0	89.5	51.2	14.9	27.0	5.0	7.7	2.7	27.9	3.4	3.0
8,3	203.0	98.1	48.8	17.3	22.4	4.6	8.5	3.3	27.9	4.4	3.1
Сер.	200.0	94.5	50.1	15.3	22.3	6.4	8.3	3.2	27.6	4.2	3.0
9,1	202.3	86.3	53.8	16.3	13.9	11.4	17.1	3.5	38.2	4.9	3.0
9,2	201.3	86.0	54.7	18.4	23.5	1.8	14.9	2.0	42.5	2.4	3.1
9,3	205.3	92.6	51.3	20.8	19.9	1.4	16.3	3.0	42.4	4.0	3.0
Сер.	203.0	88.3	53.3	18.5	19.1	4.9	16.1	2.8	40.8	3.7	2.9
10,1	204.0	79.7	49.6	15.5	25.1	4.9	27.5	1.7	57.4	2.2	2.7
10,2	205.0	83.1	48.5	14.6	25.8	6.2	26.1	0.7	55.7	0.9	2.6
10,3	203.0	74.4	52.6	16.5	27.0	5.0	26.5	1.0	55.2	1.2	2.8
Сер.	204.0	79.1	50.2	15.5	26.0	7.7	26.7	1.1	53.5	1.5	2.9

Продовження додатку Ж

№	Маса до обчисування, г	Маса стеблової частина, г	Маса насіння в області жнивarki, г	Маса часток стебла в області жнивarki, г	Маса коробочок із насінням в області жнивarki, г	Маса лушпиння в області жнивarki, г	Маса відходу лушпиння і часток стебла з області жнивarki, г	Маса відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki, г	Відхід лушпиння і часток стебла, %	Відхід насіння і коробочок із насінням, %	Потужність, кВт
11,1	205.3	91.4	51.1	19.0	23.6	1.7	12.6	5.9	37.8	7.4	3.2
11,2	208.3	97.8	52.0	18.1	22.3	3.0	10.6	4.5	33.4	5.7	3.4
11,3	205.3	83.7	55.1	20.0	24.5	4.1	12.2	5.7	33.6	6.6	3.3
Сер.	206.3	91.0	52.7	19.0	23.5	2.9	11.8	5.4	34.9	6.6	3.2
12,1	208.6	78.5	54.6	21.5	20.1	3.4	24.9	5.7	50.0	7.1	2.6
12,2	210.6	85.1	54.5	19.6	19.8	3.8	23.3	4.6	49.8	5.8	2.4
12,3	206.6	68.4	56.6	23.5	23.0	6.9	23.5	4.7	43.5	5.6	2.5
Сер.	208.6	77.3	55.2	21.5	21.0	3.7	23.9	5.0	48.6	6.2	2.4
13,1	200.0	103.9	44.7	14.4	16.3	5.7	10.3	4.7	33.8	7.1	2.9
13,2	198.0	101.7	45.6	12.5	17.2	7.8	9.3	4.0	31.4	5.9	2.8
13,3	196.0	103.3	43.7	10.4	17.9	7.1	9.5	4.1	35.1	6.3	2.9
Сер.	198.0	103.0	44.7	12.4	17.1	6.9	9.7	4.3	33.4	6.4	3.2
14,1	203.0	86.4	45.6	11.5	26.0	7.0	10.2	16.4	35.4	18.7	3.3
14,2	201.0	77.3	49.4	14.6	25.9	7.1	11.4	15.3	34.3	16.9	2.9
14,3	202.0	77.4	47.6	14.5	28.9	6.1	12.6	15.0	37.9	16.4	3.1
Сер.	202.0	80.4	47.5	13.5	26.9	6.7	11.4	15.6	35.9	17.3	3.0
15,1	206.3	86.7	49.1	14.0	22.5	8.8	10.1	15.2	30.6	17.5	3.2
15,2	203.3	83.5	51.9	16.1	23.4	5.9	8.5	14.0	27.8	15.7	3.0
15,3	205.3	85.1	51.1	18.0	25.4	2.9	8.7	14.2	29.3	15.7	3.3
Сер.	205.0	85.1	50.7	16.0	23.8	5.9	9.1	14.5	29.2	16.3	3.2
16,1	207.6	81.1	50.6	15.5	21.0	9.6	22.4	7.4	47.2	9.4	2.4

Продовження додатку Ж

№	Маса до обчисування, г	Маса стеблової частина, г	Маса насіння в області жнивarki, г	Маса часток стебла в області жнивarki, г	Маса коробочок із насінням в області жнивarki, г	Маса лушпиння в області жнивarki, г	Маса відходу лушпиння і часток стебла з області жнивarki, г	Маса відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki, г	Відхід лушпиння і часток стебла, %	Відхід насіння і коробочок із насінням, %	Потужність, кВт
16,2	206.6	81.6	55.4	18.6	19.9	3.7	21.0	6.4	48.5	7.9	2.7
16,3	208.6	76.8	54.6	20.5	21.9	4.7	22.6	7.6	47.3	9.0	2.7
Сер.	207.6	79.8	53.5	18.2	20.9	6.0	22.0	7.1	47.6	8.8	2.4
17,1	204.0	74.1	52.6	16.5	28.1	7.9	18.0	6.8	42.5	7.8	2.2
17,2	199.0	68.8	54.7	17.4	27.2	6.8	17.6	6.5	42.2	7.4	2.4
17,3	201.0	67.4	53.6	19.5	26.9	8.1	18.4	7.1	40.0	8.1	2.7
Сер.	201.3	70.1	53.6	17.8	27.4	7.6	18.0	6.8	41.5	7.7	2.6
18,1	205.3	77.0	54.1	19.0	26.6	5.7	19.1	3.9	43.6	4.6	2.8
18,2	202.3	75.7	58.2	19.9	23.7	4.6	17.5	2.7	41.6	3.2	3.0
18,3	204.3	73.3	57.1	21.0	23.4	6.9	18.9	3.7	40.4	4.4	2.9
Сер.	204.0	75.3	56.5	20.0	24.6	5.7	18.5	3.4	41.8	4.1	3.0
19,1	203.0	85.2	50.8	13.3	25.2	6.8	17.9	3.8	47.1	4.8	2.9
19,2	201.0	82.9	52.8	13.3	26.2	6.8	16.3	2.7	44.7	3.3	3.1
19,3	204.0	85.6	51.7	14.4	24.3	6.7	17.7	3.7	45.6	4.6	3.0
Сер.	202.7	84.6	51.8	13.7	25.2	6.8	17.3	3.4	45.8	4.2	2.8
20,1	204.3	87.0	52.3	15.8	23.7	6.8	16.0	2.7	41.5	3.5	2.9
20,2	203.3	85.2	55.3	14.8	23.7	7.6	14.8	1.9	39.8	2.3	2.9
20,3	207.3	86.2	55.2	17.9	20.8	9.5	15.4	2.3	36.0	2.9	3.2
Сер.	205.0	86.2	54.3	16.2	22.7	8.6	15.4	2.3	38.4	2.9	2.9
21,1	207.6	75.5	55.8	19.3	20.2	8.6	21.9	6.4	44.1	7.7	2.9
21,2	204.6	75.3	56.8	16.3	22.2	8.4	20.3	5.2	45.2	6.2	2.5

Продовження додатку Ж

№	Маса до обчисування, г	Маса стеблової частина, г	Маса насіння в області жнивarki, г	Маса часток стебла в області жнивarki, г	Маса коробочок із насінням в області жнивarki, г	Маса лушпиння в області жнивarki, г	Маса відходу лушпиння і часток стебла з області жнивarki, г	Маса відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki, г	Відхід лушпиння і часток стебла, %	Відхід насіння і коробочок із насінням, %	Потужність, кВт
21,3	208.6	74.0	56.7	21.4	19.3	12.3	19.9	4.9	37.2	6.1	2.7
Сер.	206.9	74.9	56.4	19.0	20.6	9.4	20.7	5.5	42.2	6.7	2.5
22,1	201.0	90.6	39.4	16.6	28.1	6.9	14.6	4.8	38.3	6.6	2.6
22,2	200.0	90.3	40.8	15.3	29.0	8.0	13.0	3.7	35.8	5.0	2.8
22,3	202.0	91.9	41.7	16.4	26.1	6.9	14.4	4.7	38.2	6.4	2.5
Сер.	201.0	90.9	40.6	16.1	27.7	7.3	14.0	4.4	37.4	6.0	2.8
23,1	199.0	74.7	47.5	16.5	22.0	9.0	17.7	11.6	41.0	14.3	2.8
23,2	204.0	80.8	48.3	17.7	24.1	6.9	15.9	10.3	39.3	12.4	2.9
23,3	202.0	74.7	49.6	17.5	22.8	9.2	17.1	11.1	39.0	13.3	2.8
Сер.	201.7	76.7	48.5	17.2	23.0	8.4	16.9	11.0	39.8	13.3	2.8
24,1	200.3	71.1	49.0	20.0	20.5	8.2	12.9	18.6	31.4	21.1	3.3
24,2	205.3	73.2	49.8	21.2	22.6	9.7	11.3	17.5	26.7	19.4	3.3
24,3	205.3	71.8	53.1	20.0	19.3	11.0	12.1	18.0	28.0	20.0	3.4
Сер.	203.6	72.1	50.6	20.4	20.8	11.2	12.1	18.0	27.7	20.2	3.5
25,1	202.6	55.1	51.5	23.5	18.0	5.0	41.6	7.9	59.4	10.2	2.4
25,2	206.6	55.9	51.3	22.7	21.1	8.5	40.2	6.9	56.3	8.7	2.1
25,3	208.6	58.2	56.6	23.5	15.8	7.8	40.0	6.7	56.1	8.5	2.5
Сер.	205.9	56.4	53.1	23.2	18.3	7.1	40.6	7.2	57.3	9.1	2.4
26,1	198.0	97.5	34.5	17.6	23.1	6.9	13.3	5.1	35.2	8.2	2.6
26,2	199.0	101.9	33.7	16.4	22.2	7.8	12.5	4.5	34.1	7.5	2.6
26,3	203.0	101.2	35.4	17.7	25.8	5.2	12.9	4.8	36.1	7.3	3.0

№	Маса до обчислення, г	Маса стеблової частина, г	Маса насіння в області жнивarki, г	Маса часток стебла в області жнивarki, г	Маса коробочок із насінням в області жнивarki, г	Маса лушпиння в області жнивarki, г	Маса відходу лушпиння і часток стебла з області жнивarki, г	Маса відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki, г	Відхід лушпиння і часток стебла, %	Відхід насіння і коробочок із насінням, %	Потужність, кВт
Сер.	200.0	100.2	34.5	17.2	23.7	6.6	12.9	4.8	35.1	7.7	2.8
27,1	200.0	104.3	40.4	12.7	20.8	5.2	13.9	2.7	43.6	4.3	2.6
27,2	202.0	106.0	41.6	11.5	19.1	7.9	13.5	2.5	41.0	3.9	2.6
27,3	203.0	104.7	42.5	14.6	19.9	5.1	13.7	2.6	41.0	4.0	3.1
Сер.	201.7	105.0	41.5	12.9	19.9	6.1	13.7	2.6	41.8	4.1	3.0



Додаток 3

Вихідні данні для визначення економічних показників нової машини

Показники	Одиниці виміру	Умовні позначення	Вихідні дані
Кількість i -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання основного технологічного процесу, технічного обслуговування та ремонтування машини	L_i	люди	1
Тривалість зайнятості i -го виробничого персоналу	t_i	год	10
Погодинна тарифна ставка оплати праці на i -му виді робіт	r_i	грн/люд.-год	300
Коефіцієнт, що враховує доплати до годинної ставки за продукцію, класність, стаж роботи тощо	k_d		0,3
Коефіцієнт нарахувань на заробітну плату (пенсійний фонд, соціальне страхування, фонд сприяння зайнятості)	n_i		0,15
Питомі витрати палива	q	кг/га	3,5
Ціна одного кілограма палива	C_n	грн/кг	29,04
Коефіцієнт, що враховує вартість мастильних матеріалів	k_n		0,25
Питомі витрати i -го виду технологічного матеріалу	h_i	кг (м, шт.)/га	0,1
Ціна одиниці i -го технологічного матеріалу	C_{mi}	грн/кг (м, шт.)	200
Затрати праці i -ої категорії працівників на удосконалення та монтування устаткування	z_{ni}	люд.-год	0,1
Вартість матеріалів, які використані на удосконаленні та монтуванні машини	C_d	грн	1000
Річні витрати на зберігання та страхування машини	$S_{зсм}$	грн	0,1

Додаток К

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор харківського
національного аграрного
університету ім. В.В. Докучаєва

 О.В. Ульяниченко
 « 4 » квітня 2019 р.
 

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор
ТОВ «Укр.Агро-сервіс»

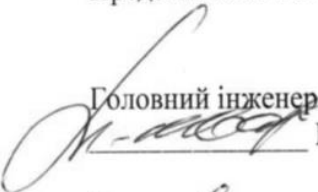

 О.І. Рябінов
 « 4 » квітня 2019 р.
 

 АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
 результатів науково-дослідної роботи

Ми, що нижче підписалися, представники ТОВ «Укр.Агро-сервіс» - головний інженер Шварцман Михайло Юхимович, головний конструктор Тимченко Олександр Володимирович, та представник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка Козаченко Олексій Васильович – керівник науково дослідної роботи і представники Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва – аспірант Пахучий А.М., кандидат технічних наук Дьяконов С.О., з іншої сторони, склали акт про те, що результати НДР по підвищенню ефективності застосування жниварок обчісуючого типу для збирання льону олійного, що виконана на кафедрі технічного забезпечення агропромислового виробництва Харківського НАУ ім. В.В. Докучаєва, впровадженні в ТОВ «Укр.Агро-сервіс».

1. Вид впровадження результатів: Результати теоретичних і експериментальних досліджень удосконаленої жниварки для збирання льону олійного.
2. Форма впровадження: передача результатів, теоретичних, експериментальних досліджень та схем робочих органів очісуючої жниварки в ТОВ «Укр.Агро-сервіс» для наступного використання при проектуванні і виготовленні робочих органів жниварок обчісуючого типу
3. Дослідна виробнича перевірка застосування удосконаленої жниварки показала її ефективність при збиранні льону олійного, що зумовлює підвищення якості збирання насіння.

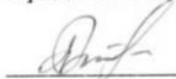

Представники ТОВ «Укр.Агро-сервіс»


 Головний інженер
 М.Ю. Шварцман

 Головний конструктор
 О.В. Тимченко

Представник ХНТУСГ ім. П. Василенка


 О.В. Козаченко

Представники ХНАУ ім. В.В. Докучаєва


 А.М. Пахучий

 С.О. Дьяконов

Додаток Л

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

директор ТОВ «Югран»



Харківська обл., Ізюмський район,
с. Федорівка
Михайлов Ю. О.

2019 р.

АКТ

**проведення виробничих випробувань експериментальної жнивarki
обчісууючого типу для збирання насіння льону олійного**

Ми, що нижче підписалися, представники ТОВ «Югран» Харківська обл., Ізюмський район, с. Федорівка інженер з експлуатації манінно-тракторного парку Чукін В.С., головний агроном Білоруков К.А. і представник Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва (ХНАУ ім. В.В. Докучаєва) старший викладач Пахучий А.М. склали цей акт про те, що в період збирального сезону 2019 року в ТОВ «Югран» були проведені порівняльні випробування експериментальної жнивarki обчісууючого типу для збирання насіння льону олійного.

Випробуваннями передбачалося визначення якісних та енергетичних (за витратою палива) показників на збиранні насіння льону олійного серійною жнивarkою 24GHCP (ширина 7,3 м) та експериментальною жнивarkою обчісууючого типу, які агрегувалися з зернозбиральним комбайном «New Holland CX 6090».

Умови проведення випробувань відповідали наступним агротехнічним характеристикам: рельєф поля: повздовжній ухил – 1,5° - 2°, поперечний ухил – 1,2° -1,5°; довжина гону – 600 м; висота рослин – 0,40 – 0,50 м; густина рослин – 70 шт.м²; урожайність – 2 т/га; ширина захвату жниварок – 7 м; вологість насіння – 12 %; Випробування проводилися на збиранні насіння льону олійного сорту «Блакитно-помаранчевий».

Основними оціночними показниками при проведенні випробувань було обрано показники: повнота збирання насіння льону олійного, при контролі втрат за жнивarkою і комбайном у відповідності із загальними вимогами; продуктивність комбайну; чистота насіння у бункері; витрати пального.

Дослідження показали, що експериментальна жнивarka обчісууючого типу виробництва ТОВ «Укр. Агро-сервіс» (м. Харків, Україна) має в 2,1 вищу продуктивність; на 5,2 % перевищує показник повноти збирання (насінням – на 3,5 %, коробочками з насінням – на 0,8 %, недообчісування – на 1,2%); чистота насіння в бункері комбайна склала 98,0 %, що на 7 % перевищує показники якості збирання серійної жнивarki. Витрати пального

комбайном при виконанні процесу збирання насіння льону олійного з експериментальною жниваркою склали 4,5 л/га, серійною жниваркою – 8,3 л/га. Встановлено, що, на відміну від серійного аналога, експериментальна жниварка здійснює процес збирання врожаю насіння льону олійного без забивання робочих органів.

Таким чином, за результатами виконаних випробувань можна стверджувати про високу якість виконання процесу збирання насіння льону олійного експериментальної жниваркою обчислюючого типу та доцільність впровадження її у виробництво.

Представники ТОВ «Югран»:

Інженер з експлуатації машинно тракторного парку

Головний агроном



Чукін В.Є. Чукін В.Є.

Білоруков К. А. Білоруков К. А.

Представник Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва

Пахучий А.М. Пахучий А.М.

