

СИМУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ЖНИВАРКИ ОБЧІСУВАЛЬНОГО ТИПУ ДЛЯ ЗБИРАННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

А. М. Пахучий¹, Е. Б. Алієв²

¹ Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва

² Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України

У статті наведені основні результати досліджень з розробки фізико-математичної моделі технологічного процесу збирання насіння льону олійного жнивarkою обчисувального типу і обґрунтування діапазону її режимних параметрів на основі програмної симуляції і чисельного моделювання. В результаті чисельного моделювання процесу сепарації вороху в жнивarkі обчисувального типу 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_n і частки відходу насіння і коробочок із насінням (показник втрат насіння) δ_s від частоти обертання бітер-відбивача n_1 і обчисувального барабана n_2 , положення прозорої зони границі L і її ширини B . Вирішуючи компромісну задачу, а саме максимізації масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarkи (показник якості очищення вороху від домішок) δ_n і мінімізації частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarkи (показник втрат насіння) δ_s отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри жнивarkи 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 складає $\delta_n=42,4$ %, а частка втрат насіння і коробочок із насінням з області жнивarkи відповідно $\delta_s=2,5$ %.

Ключові слова: збирання, льон олійний, жнивarkа, обчисування, насіння, симуляція, моделювання.

Вступ

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 (Shevchenko et al 2017).

Основними причинами стримування виробництва льону олійного є недосконалість техніки для збирання та невідповідність показників якості роботи встановленим вимогам. Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є технологія збирання методом обчисування рослин на корені. Від застосованих робочих органів та компоновальних схем жниварок обчисувального типу, параметрів робочих органів і режимів їх роботи залежить якість процесу комбайнового збирання (Pogorely et al 2000). Своєчасне збирання насіння льону олійного в

оптимальні агротехнічні строки (стан рослин, погодні умови, забур'яненість та інші) за мінімальних втрат і забрудненості обчисаного вороху – одна із важливих наукових задач удосконалення збиральної техніки (Lezhenkin 2010). 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 жнивarki, яка реалізує додатковий аеродинамічний ефект для сепарації обчисаного вороху в її області (Lezhenkin 2005).

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

Значний вклад у вирішення проблеми збирання сільськогосподарських культур методом обчисування рослин на корені внесли П.А. Шабанов (Shabanov 1988), Л.В. Погорілий (Pogorely et al 2000), О.М. Леженкіна (Lezhenkin 2010; Lezhenkin 2005), А.С. Кушнарев (Kuvshinov et al 2016; Kushnarev A et al 2010), Н.Н. Данченко (Danchenko et al 2006), П.В. Сисолін (Sysolin et al 2010) та інші.

Разом з тим, математичні моделі не розглядають комплексно процес взаємодії рослин з робочими органами жнивarki та вплив повітряного потоку на процес сепарації компонентів вороху в її зоні, математичні вирази ускладнені або не мають подальшого практичного використання для створення нових ефективних технічних засобів для збирання рослин на корені.

Таким чином, метою досліджень є розробка фізико-математичної моделі технологічного процесу збирання насіння льону олійного жнивarkою обчисувального типу і обґрунтування діапазону її режимних параметрів на основі програмної симуляції і чисельного моделювання.

Матеріали і методи досліджень

Для дослідження процесу переміщення вороху в області жнивarki обчисувального 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-ε модель турбулентності сполученої течії, поле сили тяжіння, модель реального газу Ван-дер-Ваальса, осереднене по Рейнольдсу рівняння Нов'є-Стокса; модель логранжевої багатофазності і модель дискретних елементів.

Імітація подачі матеріалу відбувалася в зоні очосу гребінки обчисувального барабану. Початкова орієнтація всіх компонентів вороху в просторі є випадкова, а початкова швидкість дорівнювала 0 м/с. Згідно попередніх лабораторних досліджень (Aliiev et al 2017) прийняті наступні фізико-механічні властивості компонентів вороху, які наведені в таблиці 1.

Розрахункова схема жнивarki обчисувального типу із криволінійною формою кожуха представлена на рисунку 1. Область I є прозорою для всіх компонентів вороху (насіння, коробочки із насінням, лушпиння коробочок, часточки стебла). Через область II можуть проходити тільки лушпиння коробочок, що обумовлюється наявністю повітряної сітки із діаметром круглих отворів 1,5 мм.

Таблиця 1

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

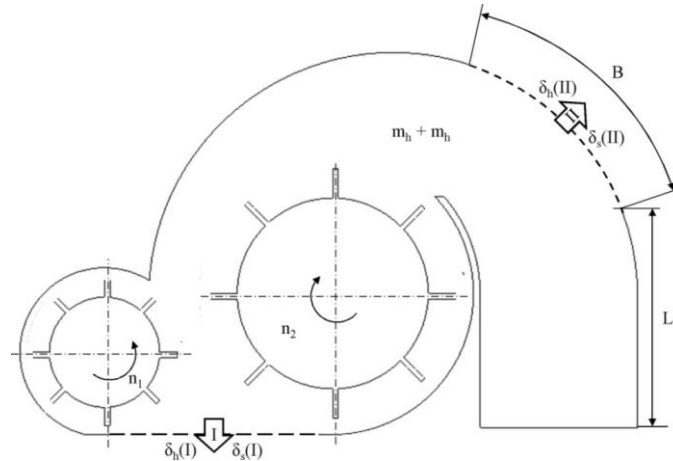


Рис. 1. Розрахункова схема жнивarki обчисувального типу із криволінійною формою кожуха жатки

За фактори чисельного моделювання були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри: частота обертання бітер-відбивача n_1 , частота обертання обчисувального барабана n_2 , положення прозорої зони границь L і її ширина B (межі варіювання представлені в таблиці 2).

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

Таблиця 2

Рівні варіацій факторами чисельного моделювання

Рівні варіацій факторів	Фактори			
	Частота обертання бітер-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	200	200	0,25	0,15

Критеріями оцінки процесу сепарації вороху в жниварці обчисувального типу є масова частка відходу компонентів з області жнивarki. Так, масова частка відходу лушпиння і часточок стебла δ_h з області жнивarki 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 жнивварки розраховується за формулою:

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

де m_h – маса лушпиння і часточок стебла в області жнивварки, кг; m_s – маса насіння і коробочок із насінням в області жнивварки, кг; I, II – області відповідно до рисунку 1.

Масова частка відходу насіння і коробочок із насінням δ_s з області жнивварки 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 жнивварки розраховується за формулою:

$$\delta_s = \delta_s(I) + \delta_s(II) = 100(1 - m_s / (m_h + m_s)) \quad (2)$$

Результати досліджень та їхнє обговорення

В результаті моделювання було отримано візуалізацію розподілу компонентів вороху в області жнивварки обчисувального типу (рис. 2).

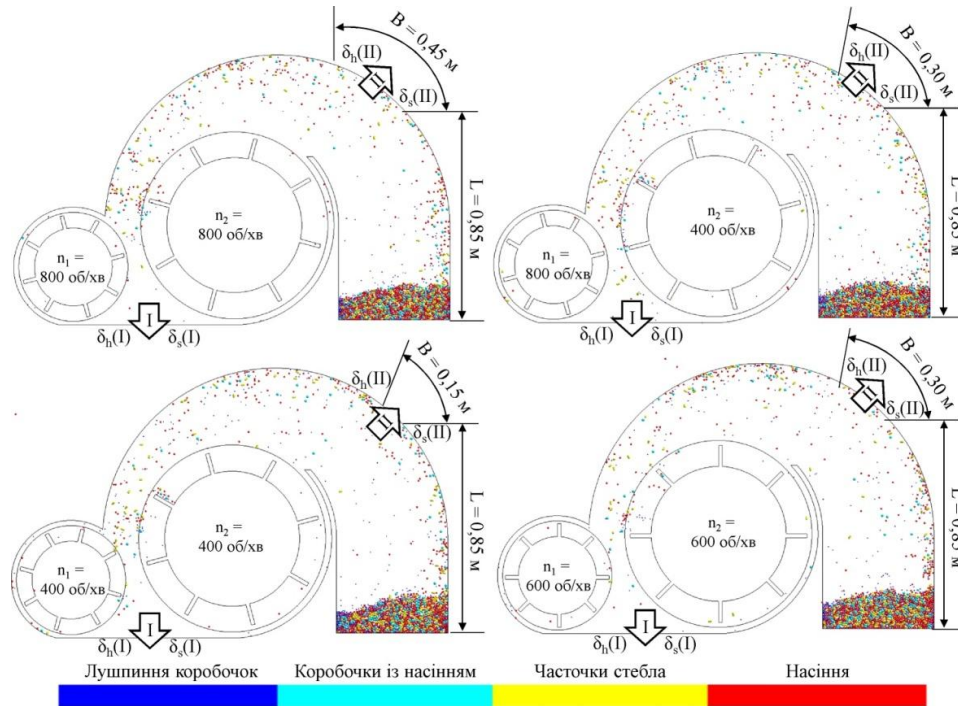


Рис. 2. Візуалізація розподілу компонентів вороху в області жнивварки обчисувального типу

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

$$\begin{aligned} \delta_h = & 33,8704 + 0,687037 x_1 + 0,605556 x_1^2 - 2,87407 x_2 - \\ & - 0,236111 x_1 x_2 - 1,16667 x_2^2 + 3,87222 x_3 + 0,216667 x_1 x_3 + \\ & + 0,108333 x_2 x_3 - 0,172222 x_3^2 + 5,40926 x_4 - 0,125 x_1 x_4 - \\ & - 0,811111 x_2 x_4 + 0,0194444 x_3 x_4 + 0,15 x_4^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Проведена статистична обробка отриманого рівняння (3) зведена в табл. 3. Аналіз табл. 3 дозволяє скоротити незначущі коефіцієнти в рівнянні (3) і представити його у розкдованому вигляді:

$$\begin{aligned} \delta_h = & 9,47596 + 50,784 B + 6,66667 B^2 + 14,8956 L - 2,75556 L^2 - \\ & - 0,0125398 n_1 - 0,00416667 B n_1 + 0,00433333 L n_1 + \\ & + 0,0000151389 n_1^2 + 0,0309824 n_2 - 0,027037 B n_2 + 0,00216667 L n_2 - \\ & - 5,90278 \cdot 10^{-6} n_1 n_2 - 0,0000291667 n_2^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Таблиця 3

Статистична обробка рівняння (3)

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 по чергово фактори досліджень на певному рівні побудовані на рисунку 3 графічні інтерпретації залежності (4).

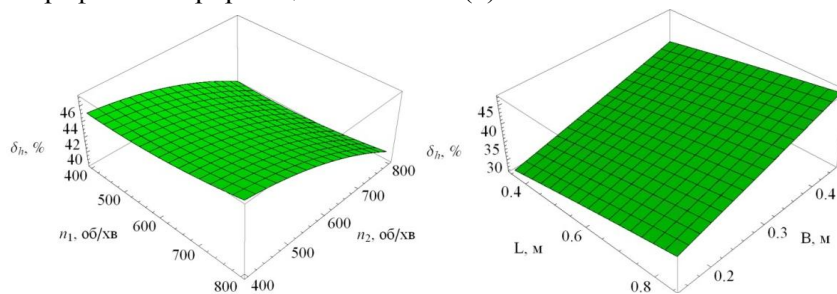


Рис. 3. Залежність масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жнивarki δ_h від факторів досліджень

Для кожного варіанту чисельного дослідження було розраховано масову частку відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивarki δ_s та з

використанням програмного пакету Wolfram Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено залежність від факторів досліджень у закодованому вигляді:

$$\delta_s = 4,09892 - 1,23483 x_1 + 0,755854 x_1^2 - 4,39665 x^2 + 0,167115 x_1 x_2 + 5,49008 x_2^2 + 0,266667 x_3 + 0,0638889 x_1 x_3 + 0,00555556 x_2 x_3 + 0,337037 x_3^2 + 0,275627 x_4 - 0,752957 x_1 x_4 - 0,836738 x_2 x_4 - 0,0138889 x_3 x_4 + 0,212664 x_4^2. \quad (5)$$

Проведена статистична обробка отриманого рівняння (5) зведена в таблиці 4.

Таблиця 4

Статистична обробка рівняння (5)

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 таблиці. 4 дозволяє скоротити незначущі коефіцієнти в рівнянні (5) і представити його у розкодованому вигляді:

$$\delta_s = 68,4187 + 33,6314 B - 5,40444 L + 5,39259 L^2 - 0,0213202 n_1 - 0,0250986 B n_1 + 0,0000188964 n_1^2 - 0,178318 n_2 - 0,0278913 B n_2 + 0,000137252 n_2^2. \quad (6)$$

Фіксуючи по чергово фактори досліджень на певному рівні побудовані на рисунку 4 графічні інтерпретації залежності (6).

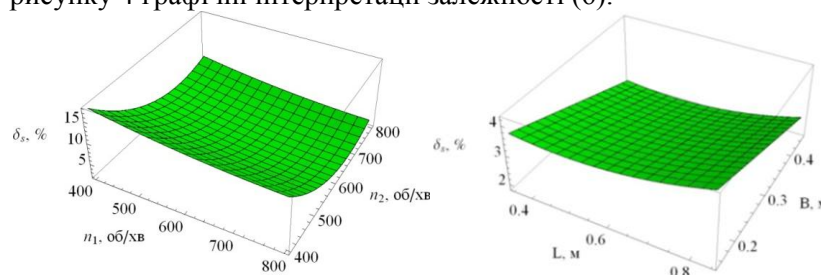


Рис. 4. Залежність масової частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жнивварки δ_s від факторів досліджень

Як видно з рисунку 4 із збільшенням частоти обертання n_1 і ширини прозорої зони границь B зменшується масова частка відходу δ_s . В свою чергу для частоти 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.

Висновки

В результаті чисельного моделювання процесу сепарації вороху в жниварці обчисувального типу 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 бітер-відбивача n_1 і обчисувального барабана n_2 , положення прозорої зони границі L і її ширини B .

Вирішуючи компромісну задачу, а саме максимізації масової частки відходу лушпиння і часточок стебла з області жниварки (показник якості очищення вороху від домішок) δ_h і мінімізації частки відходу насіння і коробочок із насінням з області жниварки (показник втрат насіння) δ_s отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри жниварки 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 складає $\delta_h=42,4$ %, а частка втрат насіння і коробочок із насінням з області жниварки відповідно $\delta_s=2,5$ %.

References

- Aliiev EB, Shevchenko IA (2017). Research of aerodynamic properties of oilseeds. Bulletin of Agrarian Science. № 3 (769): 63-65
- Danchenko NN, Drobashko LA (2006) Agrobiological and biometric characteristics of rice stalk are the main prerequisites for the technology of its hair at the root and automation of this process. Works of TDATA. 43: 73-85
- Kushnarev A, Kravchuk V, Lezhenkin A (2010) Problems of improving grain harvesting. Technics and technologies of the agro-industrial complex. 2: 7-12
- Kuvshinov AA, Maznev DS, Shiryaev VM (2016) Design parameters of the combing drum and modes of operation of LPU on soybean harvesting by the combing method. Modern technologies and technical support of production and processing of agricultural crops. 23: 78–83
- Lezhenkin A (2005) Mechanization of grain harvesting with the use of combing devices: monograph. SPb: SPbGAU: 332
- Lezhenkin A (2010) Methodology of modeling of stationary technology of harvesting of grain crops by a method of their combing on a root. Proceedings of the Tavriya State Agrotechnological University. 10 (8): 136-151.
- Pogorely L, Koval S, Makushin G (2000) Theoretical and experimental studies of combing reapers. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. Collection of scientific works UkrNDIPVT. 3 (17): 14-20
- Shabanov PA (1988) Mechanical and technological bases of threshing of grain crops on a root: dis. ... dr. tech. Science: 05.20.01; Melitopol, 1988: 308

Shevchenko IA, Lyakh VO, Polyakov OI, Soroka AI, Vedmedeva KV, Zhuravel VM, Makhno YuO, Tovstanovska TG, Budilka GI (2017) Oil flax, mustard. The strategy of production of oilseeds in Ukraine (of rare culture). Institute of Oilseed Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Zaporozhye: STATUS: 44.

Sysolin PV, Koval SM, Ivanenko IM (2010) Machines for harvesting grain crops by the method of combing spikelets. "CODE"

СИМУЛЯЦИЯ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ЖАТКИ ОЧЕСЫВАЮЩЕГО ТИПА ДЛЯ СБОРА СЕМЕНА ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

А.Н. Пахучий¹, Э.Б. Алиев²

¹ Харьковський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва,

² Інститут масличних культур Національної академії аграрних наук України

В статье приведены основные результаты исследований по разработке физико-математической модели технологического процесса сбора семян льна масличного жаткой очесывающего типа и обоснование диапазона ее режимных параметров на основе программной симуляции и численного моделирования. В результате численного моделирования процесса сепарации вороха в жатке очесывающего типа с криволинейной формой кожуха с учетом физико-механических свойств его компонентов установлены зависимости массовой доли ухода шелухи и частиц стебля с ее области (показатель качества очистки вороха от примесей) δ_h и доли ухода семян и коробочек с семенами (показатель потерь семян) δ_s от частоты вращения битер-отражателя n_1 и очесывающего барабана n_2 , положение прозрачной зоны границы L и ее ширины B . Решая компромиссную задачу, а именно максимизации массовой доли ухода шелухи и частиц стебля из области жатки (показатель качества очистки вороха от примесей) δ_h и минимизации доли ухода семян и коробочек с семенами из области жатки (показатель потерь семян) δ_s полученные рациональные конструктивно-технологические параметры жатки очесывающего типа с криволинейной формой кожуха: частота вращения битер-отражателя $n_1 = 782$ об/мин, частота вращения очесывающего барабана $n_2 = 671$ об/мин, положение прозрачной зоны границ $L = 0,82$ м и ее ширина $B = 0,45$ м. При этом массовая доля ухода шелухи и частиц стебля составляет $\delta_h = 42,4$ %, а доля потерь семян и коробочек с семенами из области жатки соответственно $\delta_s = 2,5$ %.

Ключевые слова: уборка, лен масличный, жатка, очес, семена, симуляция, моделирование.

SIMULATION OF THE PROCESS STRIPPING HARVESTER FOR THE COLLECTION OF OILSEED FLAX SEEDS

A. Pakhuchyi, E. Aliiev

¹ *Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev,*

² *Institute of Oilseed Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine*

The article presents the main results of research on the development of a physical and mathematical model of the technological process of collecting flax seeds with a combing header and the justification of the range of its operating parameters based on software simulation and numerical modeling. The process of harvesting agricultural crops, including oil flax, is an important technological operation of their production in the agricultural sector of Ukraine. The positive dynamics of the growth of oil flax production, which is due to the growing demand for seeds in the domestic and foreign markets, requires the intensification of harvesting equipment technological processes. The main reasons for restraining the production of oil flax are the imperfection of the equipment for harvesting and the inconsistency of the quality indicators of work with the established requirements. One of the directions for solving this problem is the technology of harvesting by stripping plants on the standing. Timely harvesting of oil flax seeds in optimal agrotechnical terms (plant condition, weather conditions, weediness, etc.) with minimal losses and contamination of the heap is one of the important scientific tasks of improving harvesting technology. Improving the efficiency of collecting oil flax seeds and, as a result, improving the quality of products requires new approaches to the development and implementation of technical means in progressive technologies. As a result of numerical modeling of the separation process of a heap in a combing header with a curvilinear casing shape, taking into account the physical and mechanical properties of its components, the dependences of the mass fraction of husk and stem particles leaving its area (an indicator of the quality of cleaning the heap from impurities) δ_h and the fraction of seeds and capsules leaving with seeds (seed loss index) δ_s from the rotation frequency of the beater-reflector n_1 and the stripping drum n_2 , the position of the transparent zone of the boundary L and its width B . Solving the compromise problem, namely, maximizing the mass fraction of husk and stalk particles leaving the header area (quality indicator cleaning the heap from impurities) δ_h and minimizing the proportion of seeds and seed boxes leaving the header area (seed loss index) δ_s . Obtained rational design and technological parameters of the combing type header with a curved casing: rotation frequency of the beater-reflector $n_1 = 782$ rpm, combing drum rotation speed $n_2 = 671$ rpm, transparent position zone of the boundaries $L = 0.82$ m and its width $B = 0.45$ m. In this case, the mass fraction of husk and stem particles leaving is $\delta_h = 42.4\%$, and the fraction of losses of seeds and capsules with seeds from the header area is in accordance with $\delta_s = 2.5\%$.

Key words: harvesting, oil flax, reaper, stripping, seeds, simulation, modeling.