

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**КОВТУНЕНКО БОГДАН ВАСИЛЬОВИЧ**

УДК 631.3.03

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМІВ РОБОТИ СОЛОМОТРЯСІВ  
ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

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

\_\_\_\_\_ Б. В. Ковтуненко

**Керівник роботи**

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук

**Житомир – 2023**

## АНОТАЦІЯ

**Ковтуненко Богдан Васильович. Обґрунтування параметрів режимів роботи соломотрясів зернозбиральних комбайнів.** – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В роботі виконано аналіз конструкційно-технологічних елементів соломотрясів сучасних зернозбиральних систем. висвітлено основні недоліки та переваги досліджуваних пристроїв. Встановлено взаємозв'язок параметрів і режимів роботи на коефіцієнт сепарації зерна соломотрясами зернозбиральних машин.

Визначено теоретичні залежності якісних показників роботи соломотрясів на різних режимах роботи. Отримано графічні залежності конструкційно-кінематичних показників роботи сепараторів роторного типу від експлуатаційних показників зернозбиральної машини.

Провівши дослідження роботи соломотрясів сучасних МСС, отримали раціональні показники їхньої роботи в молотарці комбайна. Отримали аналітичні вирази, що описують процес сепарації соломи та маси зернового вороху в стебловій частини врожаю. Отримано графічні залежності, які дозволяють описати процес сепарації соломи молотаркою зернозбирального комбайна.

Зроблено висновки по результатах роботи та дані рекомендації по встановленні режимів роботи зернозбиральної машини.

*Ключові слова:* молотильно-сепараційна система, соломотряс, ротор, режими роботи, коефіцієнт сепарації, втрати зерна.

## SUMMARY

**Bohdan Vasylovich Kovtunenکو. Justification of the operating modes parameters of straw shakers of grain harvesters. - *Qualification work on manuscript rights.***

Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 208 Agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2023.

The paper analyzes the structural and technological elements of straw shakers of modern grain harvesting systems. the main disadvantages and advantages of the studied devices are highlighted. The relationship between parameters and modes of operation on the coefficient of grain separation by straw shakers of grain harvesting machines has been established.

The theoretical dependences of the quality indicators of straw shakers in different modes of operation have been determined. Graphical graphic dependences of the structural and kinematic parameters of the rotor-type separators on the operational parameters of the grain harvester were obtained. After conducting a study of the operation of straw shakers of modern MSS, we obtained rational indicators of their operation in the combine thresher.

Analytical expressions were obtained that describe the process of separation of straw and the mass of the grain heap in the stem part of the crop. Graphical dependences were obtained, which allow to describe the process of straw separation by the thresher of the grain harvester. Conclusions were made based on the results of the work and recommendations were given for setting the modes of operation of the grain harvesting machine.

**Key words:** *threshing-separating system, straw shaker, rotor, operating modes, separation coefficient, grain loss.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
<b>1. ОГЛЯД СТАНУ СОЛОМОСЕПАРАЦІЙНИХ СИСТЕМ СУЧАСНИХ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАНІВ</b>	
1.1. Аналіз конструкцій соломотрясів молотарок зернозбиральних машин.....	7
1.2. Обґрунтування запропонованого рішення підвищення ефективності сепарації соломи.....	12
<b>2. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДДІЛЕННЯ ЗЕРНА СОЛОМОТРЯСОМ</b>	
2.1. Обґрунтування параметрів кінематичного режиму роботи клавійного соломотряса.....	16
2.2. Обґрунтування технологічних параметрів та режимів роботи клавійного соломотряса зернозбирального комбайна.....	19
2.3. Кінематичний режим роботи пальцевого активатора соломи .....	23
<b>3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СОЛОМОТРЯСА</b>	
3.1. Методика виконання досліджень.....	26
3.2. Результати досліджень навантаженості соломотрясу комбайна.....	27
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Боротьба за збереження врожаю, шляхом зменшення втрат під час обмолоту зернових чи технічних культур є досить складним завданням, яке ставлять перед собою інженери проектуючи системи зернозбиральних машин. Основною причиною втрат зерна за молотаркою комбайна – є невідповідність встановлених параметрів робочих органів машини обраному режиму збирання. На перший погляд це досить просто, скориставшись рекомендаціями виробника техніки, встановити відповідні параметри МСС відповідно до настанов, культури, яку обмолочуємо. Але поряд цим постає чимала кількість змінних факторів, які вимагають коректування того чи іншого показника молотильно-сепараційної системи. Тобто від інженерно технічної служби вамагається проводити частий контроль процесу збирання комбайновим способом.

Загальні втрати зерна за комбайном, згідно сучасних вимог, не повинні перевищувати 1,0 %, тому завдання по зменшенню втрат ускладнюється. Виходячи з цього технічна задача по вдосконаленню систем зернозбиральних машин є досить актуальною.

**Мета роботи:** підвищення ефективності сепарації соломи шляхом оптимізації режимів роботи соломотряса молотарки зернозбиральної машини.

Щоб досягнути поставленої мети потрібно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз аналогів соломо сепаруючих пристроїв зернозбиральних машин;
- визначити кінематичні та динамічні параметри роботи соломотряса;
- встановити теоретичні залежності конструктивних параметрів та режимів сепарації вороху соломи зернозбиральною машиною.

*Об'єкт дослідження* - технологічний процес сепарації стеблової частини врожаю.

*Предмет дослідження* – вплив конструкційно-кінематичних параметрів соломотряса на показники режимів його роботи.

**Методи виконання роботи.** Розробка проводилась із використанням методів механіко-математичного моделювання, теорії руху матеріалів по робочих поверхнях, числові методи розв'язку задач.

**Перелік публікацій автора за темою роботи:**

1. Заєць М. Л. Обґрунтування параметрів кінематичного режиму роботи клавiшного соломотряса / М. Л. Заєць, Б. В. Ковтуненко // збірник тез IX Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». Житомир: ЖАТФК, 2023. С. 20-23.
2. Заєць М. Л. Визначення режимів роботи роторного соломотряса зернозбирального комбайна / М. Л. Заєць, Б. В. Ковтуненко // Матеріали XXIV міжнародного науково-практичного форуму. Львів: ЛНУП., 2023. С. 417-420.
3. Заєць М.Л. обґрунтування технологічних параметрів та режимів роботи роторного соломотряса зернозбирального комбайна / М. Л. Заєць, Б. В. Ковтуненко // Студентські читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 17-20.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 32 сторінки комп'ютерного тексту, 15 рисунків та 2 таблиці.

# 1. ОГЛЯД СТАНУ СОЛОМОСЕПАРАЦІЙНИХ СИСТЕМ СУЧАСНИХ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАНІВ

## 1.1. Аналіз конструкцій соломотрясів молотарок зернозбиральних машин

Одним із найпоширеніших типів соломосепараційних систем являється клавішний соломотряс, які бувають трьох, чотирьох, п'яти або шести клавішному виконанні (рис. 1). Це дозволяє забезпечувати пасивну сепарацію соломистої маси після обмолоту більшими барабанами. Дану схему застосовують майже всі виробники зернозбиральних комбайнів з класичною молотаркою.



Рис. 1.1. Компоновочна схема клавішно-каскадного соломотряса фірми CLAAS [1]

Чиста сепарація лише на 5,40 метрах. Тут зерно, там солома: солома проходить рівномірним потоком через відкритий знизу соломотряс завдовжки 5,40 м, що забезпечує надійне виділення практично всього залишкового зерна. Окрема скатна дошка спрямовує його до стресової дошки. Така система дозволяє швидко і

легко обробляти навіть великі обсяги соломи. Інтенсивний соломотряси CLAAS. Над кожною клавішею соломотрясу розташовані дві граблини з важелевим приводом, які, активно розпушуючи солому зверху, сприяють її розподілу тонким шаром і рівномірного проходження через соломотряс. Результат: залишкове зерно легко виділяється з соломи і падає через покриття соломотрясу на скатну дошку.

Ви можете контролювати процес сепарації та очищення також легко, як якщо б ви бачили його в дзеркало: прямо з кабіни за допомогою системи контролю пропускної спроможності CLAAS. Вона демонструє високу точність відображення та налаштування та автоматично адаптується до самих різних за складністю культур. Переваги:

- Завдяки можливості паралельного спостереження як найшвидше оптимізувати параметри процесів очищення та сепарації.
- Система контролю пропускної спроможності показує оптимальну швидкість руху машини при обмолоті. [1]

Машини компанії Джон Дір Т-серії облаштовані клавішними сепараторами (рис. 1.2., 1.3.).[2]



Рис. 1.2. Схема роботи клавішного соломотряса комбайна компанії Джон Дір Т-серії[2]





Рис. 1.3. Застосування шестиклавішного соломотрясу

Довга камера похилої камери забезпечує невеликий кут сепарації, чудову видимість над платформою та тонкий однорідний потік маси. Пряма наскрізна подача – основні компоненти, дозаторна камера, зона обмолоту, система очищення та соломотряси, усі мають однакову ширину машини, що використовує кожен сантиметр ширини молотарки комбайна.



Рис. 1.4. Сепаратор соломи барабанного типу фірми Джон Дір Т-серії

Барабанного типу сепаратори, застосовані в гібридних сепараційних системах, дозволяє підвищити ступінь сепарації зерна та зменшити втрати за даною

системою. Але основним недоліком даної компоновки є її складність та підвищення витрат потужності двигуном комбана.

Багатоступеневі 11-ступінчасті соломотряси довжиною 4,60 м для максимальної продуктивності з площею сепарації 6,45 м<sup>2</sup> на 5-ти клавішах, і 7,70 м<sup>2</sup> площі сепарації на 6-клавішних комбайнах. Унікальні клавішні сепаратори для будь-яких умов та культур (рис. 1.5.)



Рис. 1.5. Клавіша багатоступеневого 11-ступінчастого соломотрясу фірми Джон Дір W-серії

Універсальні клавішні блоки призначені для використання на усіх культурах включаючи кукурудзу, ріпак або соняшник. Всі решітки є зварні. Болтові решітки соломотряса ССМ забезпечують можливість заміни сіток на 4, 5 і останньому кроці. Соломотряси можна адаптувати до широкого діапазону культур за низьку вартість.

Основним недоліком даного типу клавішних сепараторів соломи є низька пропускна здатність при сепарації бобових довгостебельних рослин, що зменшує продуктивність збиральної машини, за рахунок падіння робочої швидкості руху. А також концентрація соломи на скредині площі системи.

Заслуговує уваги сепараційна система запропонована виробником зернозбиральної техніки Нью Холанд модель СХ 880, де реаліовано система зміни

кінематичних режимів роботи при різних змінах кінематики руху самого комбана, особливо при роботі на схилах та горбистій місцевості ( рис. 1.6.).[3].

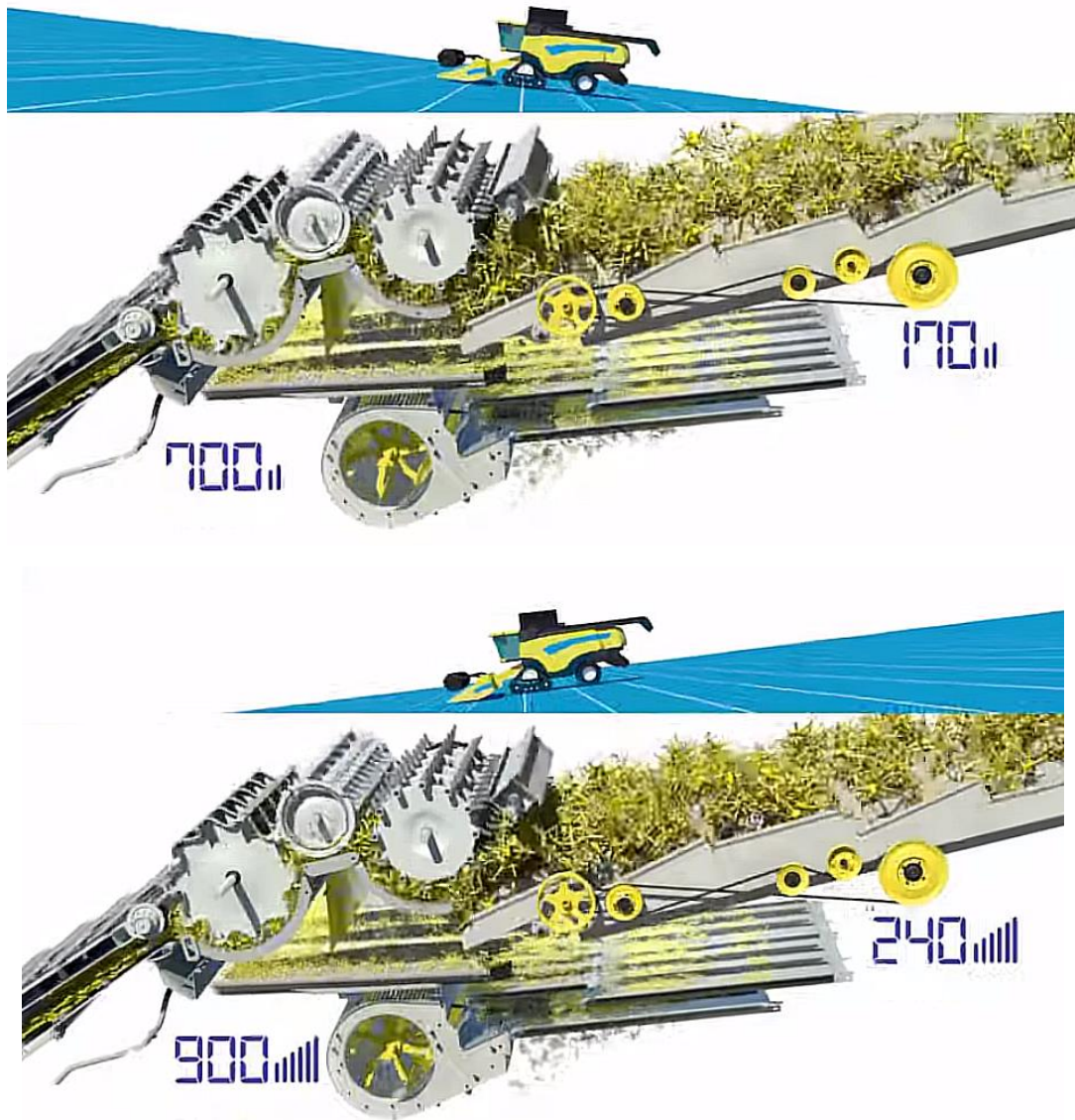


Рис. 1.6. Сепараційна клавішна система запропонована виробником зернозбиральної техніки Нью Холанд модель комбайна СХ 880

В даному випадку відбувається зміна частоти обертання привідних механізмів, в залежності від коефіцієнта нахилу місцевості. Основним проблемою даного способу сепарації є поперечна зміна кута нахилу, що негативно впливає на гравітаційне положення маси на клавішах соломотряса.

Аналізуючи конструкцію та технологічний процес роботи соломотряса комбайнів сімейства МАССЕЙ ФЕРГЮСОН, можна зробити висновок, що

виробник застосував, класичний підхід в розробці та простоту компоновки, що ввібрали в себе всі недоліки попередніх аналогів (рис. 1.7).



Рис.1.7. Соломотряс комбайнів сімейства МАССЕЙ ФЕРГЮСОН

Але є і своя перевага в даному пристрої, це встановлений бітер напрямляч, який призначений забезпечити розподіл соломи за шириною молотарки.

## 1.2. Обґрунтування запропонованого рішення підвищення ефективності сепарації соломи

Виконавши аналіз та огляд компоновочно-технологічних схем відомих конструкцій сепараційних систем клавішних соломотрясів, нами запропоновано нову модернізовану схему по активації процесу сепарації соломи клавішних сомотрясів (рис. 1.8.). що дозволить певною ймовірністю задовільнити аготехнічні та технологічні вимоги до даного типу систем.

В процесі проектування нам потрібно встановити відповідні кінематичні режими його роботи та дослідити ефективність його застосування при різних умовах та режимах експлуатації, використавши комп'ютерне моделювання та симулятор зернозбирального комбайна Тукано 470 компанії Клаас.

Нами запропоновано встановити важільно-пальцевий активатор зміни траєкторії руху соломи по каскадній поверхні шестиклавішного соломотрясу, що дасть можливість, під час сепарації стеблового вороху, додатково зменшити втрати



зерна за соломотрясом до 10%. Тобто загальні втрати вдасться знизити з 1,5% до 1,35%

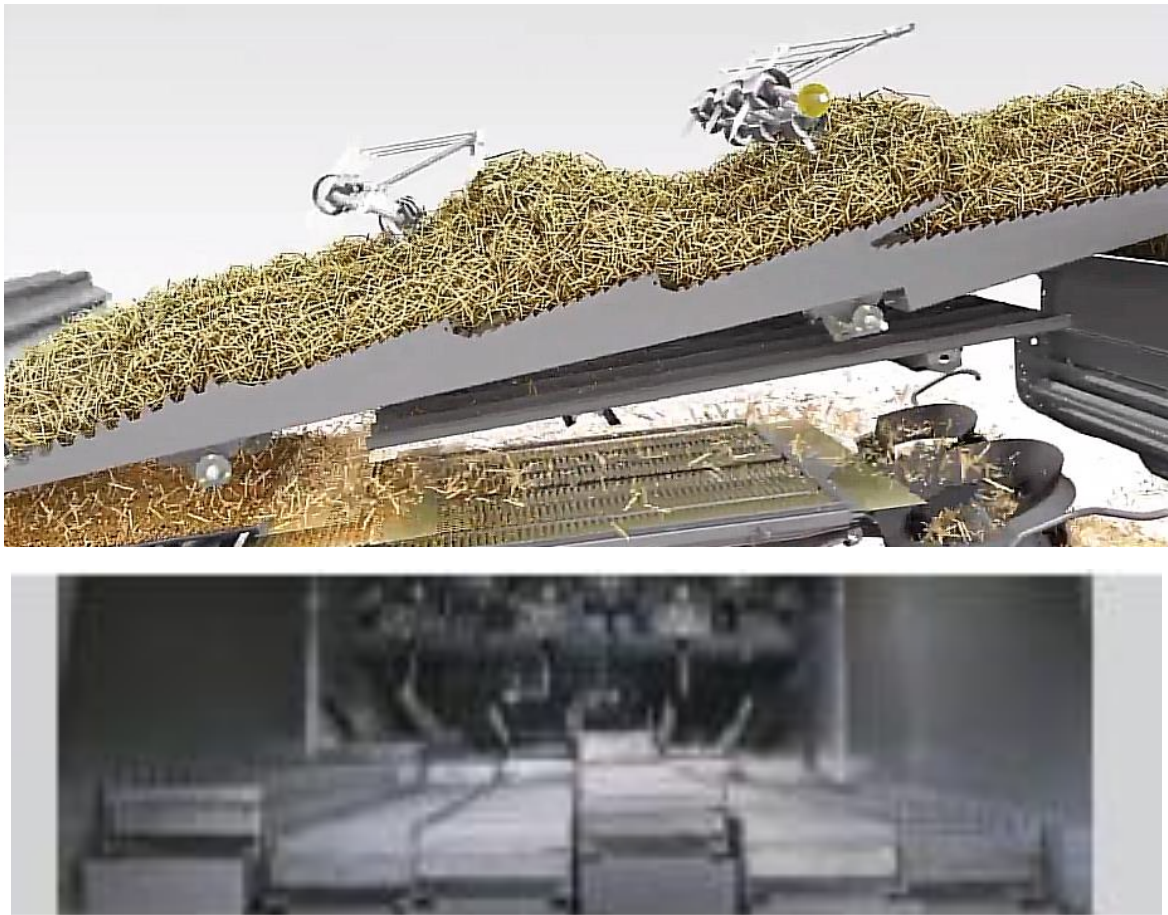


Рис. 1.8. Схема запропонованого пристрою з соломотрясом 3-D

Сепарація відбувається на 4,40 метрах. Солома проходить рівномірним потоком через відкритий знизу соломотряс завдовжки 4,40 м, що забезпечує надійне виділення практично всього залишкового зерна. Окрема скатна дошка спрямовує його до стресової дошки. Така система дозволяє швидко і легко обробляти навіть великі обсяги соломи. Інтенсивний соломотряси CLAAS. Над кожною клавішею соломотрясу розташовані дві граблини з важільним приводом, які, активно розпушуючи соломку зверху, сприяють її розподілу тонким шаром і рівномірного проходження через соломотряс. Результат: залишкове зерно легко виділяється з соломи і падає через покриття соломотрясу на скатну дошку.

Ви можете контролювати процес сепарації та очищення також легко, як якщо б ви бачили його в дзеркало: прямо з кабіни за допомогою системи контролю пропускної спроможності CLAAS. Вона демонструє високу точність відображення та налаштування та автоматично адаптується до самих різних за складністю культур. Переваги:

- Завдяки можливості паралельного спостереження як найшвидше оптимізувати параметри процесів очищення та сепарації.
- Система контролю пропускної спроможності показує оптимальну швидкість руху машини при обмолоті.

**Висновки до розділу 1.** Одним із найпоширеніших типів сепараційних систем є клавішний соломотряс, вони бувають трьох, чотирьох, п'яти або шести клавішному виконанні, що дозволяє забезпечувати пасивну сепарацію соломи після обмолоту бильними барабанами. Дану схему застосовують майже всі виробники зернозбиральних комбайнів з класичною молотаркою.

Універсальні клавішні блоки призначені для використання на усіх культурах включаючи кукурудзу, ріпак або соняшник. Основним недоліком даного типу клавішних сепараторів соломи є низька пропускна здатність при сепарації бобових довгостебельних рослин, що зменшує продуктивність збиральної машини, за рахунок падіння робочої швидкості руху. А також концентрація соломи на скредині площі системи.

В даному випадку відбувається зміна частоти обертання привідних механізмів, в залежності від коефіцієнта нахилу місцевості. Основним проблемою даного способу сепарації є поперечна зміна кута нахилу, що негативно впливає на гравітаційне положення маси на клавішах соломотряса.

Нами запропоновано встановити важільно-пальцевий активатор зміни траєкторії руху соломи по каскадній поверхні шестиклавішного соломотрясу, що дасть можливість, під час сепарації стеблового вороху, додатково зменшити втрати зерна за соломотрясом до 10%. Тобто загальні втрати вдасться знизити з 1,5% до

1,35%. В даному випадку відбувається зміна частоти обертання привідних механізмів, в залежності від коефіцієнта нахилу місцевості. Основним проблемою даного способу сепарації є поперечна зміна кута нахилу, що негативно впливає на гравітаційне положення маси на клавішах соломотряса.

## 2. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДДІЛЕННЯ ЗЕРНА СОЛОМОТРЯСОМ

### 1.2. Обґрунтування параметрів кінематичного режиму роботи клавiшного соломотряса

Соломотряси призначені для видалення з соломи дрібного вороху (зерна, полови), спрямування його на очистку і видалення його з молотарки. В існуючих комбайнах поширений двохвальний клавiшний соломотряс, всі точки клавiші якого здійснюють рух по колу. Двохвальні клавiшні соломотряси бувають чотирьох-, п'яти- і шестиклавiшними в залежності від ширини молотарки. При ширині молотарки до 1200 мм використовується чотирьох клавiшний соломотряс, а при ширині 1500 і більше - п'яти і шестиклавiшні.[6]

Якісні показники роботи соломотряса багато в чому визначаються його кінематичними параметрами.

Кутова швидкість колiнчастого вала:[6]

$$\omega = \sqrt{\frac{K \cdot q}{r}}, \text{ c}^{-1} \quad (2.1)$$

Фаза підкидання: [6]

$$\varphi_0 = \arcsin \frac{C \cdot \cos \alpha}{K}, \text{ град} \quad (2.2)$$

де  $C$  - коефіцієнт запізнення підкидання;  $C = 0,75K$ .

Переміщення соломи за одне підкидання: [7]

$$X = -r \cdot \cos \varphi_0 + \omega r t \cdot \sin \varphi_0 - \frac{q \cdot t^2}{2} \cdot \sin \alpha, \text{ м} \quad (2.3)$$

$$Y = r \cdot \sin \varphi_0 + \omega r t \cdot \cos \varphi_0 - \frac{q \cdot t^2}{2} \cdot \cos \alpha, \text{ м} \quad (2.4)$$

де  $X$  - переміщення соломи вздовж клавiш;

$Y$  - переміщення соломи перпендикулярно поверхні клавiш ;



$t$  - час переміщення соломи;  $t = n \cdot \Delta t$ .

Приймаємо  $\Delta t = 0,02$  с,  $n = 1, 2, 3, \dots, 12$ .

Результати розрахунків заносимо в табл. 1.

В масштабі будуємо траєкторію руху клавiші соломотряса в вигляді кола радіуса  $r$  і траєкторію руху соломи за даними табл. 1.

**Таблиця 1.**

**Параметри траєкторії руху соломи на соломотрясі**

t0	0	x0	-0,0287	y0	0,0320	$\varphi_0$	0
t1	0,02	x1	-0,0134	y1	0,0440	$\varphi_1$	27,909
t2	0,04	x2	0,0015	y2	0,0522	$\varphi_2$	55,818
t3	0,06	x3	0,0159	y3	0,0564	$\varphi_3$	83,726
t4	0,08	x4	0,0298	y4	0,0568	$\varphi_4$	111,635
t5	0,1	x5	0,0433	y5	0,0533	$\varphi_5$	139,544
t6	0,12	x6	0,0562	y6	0,0458	$\varphi_6$	167,453
t7	0,14	x7	0,0687	y7	0,0345	$\varphi_7$	195,362
t8	0,16	x8	0,0807	y8	0,0193	$\varphi_8$	223,270
t9	0,18	x9	0,0922	y9	0,0001	$\varphi_9$	251,179
t10	0,2	x10	0,1033	y10	-0,0229	$\varphi_{10}$	279,088
t11	0,22	x11	0,1139	y11	-0,0498	$\varphi_{11}$	306,997
t12	0,24	x12	0,1240	y12	-0,0806	$\varphi_{12}$	334,906

По отриманих значеннях  $X$  і  $Y$  побудуємо траєкторію руху соломи. Клавiша буде здійснювати коловий рух і вісь колінчастого вала буде займати положення  $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$ , і т.д. Точки  $1'$ ,  $2'$  і т.д. можна знайти, відкладаючи кут  $\varphi$  від положення колінчастого вала в момент підкидання. Коли ордината одночасних точок, в яких знаходиться солома і клавiша будуть однакові (рис.1. Точки  $10'$  і  $10$ ), відбудеться зустріч соломи з клавiшою.

Якщо ординати однойменних точок не співпадають, то момент зустрічі можна вточнити шляхом інтерполяції.

Через точку, яка відповідає положенню колінчастого вала в момент зустрічі (рис.1) точка 11, провести лінію, паралельну осі X і на ній заміряти відстань S. В масштабі воно буде представляти дальність переміщення соломи за одне підкидання.

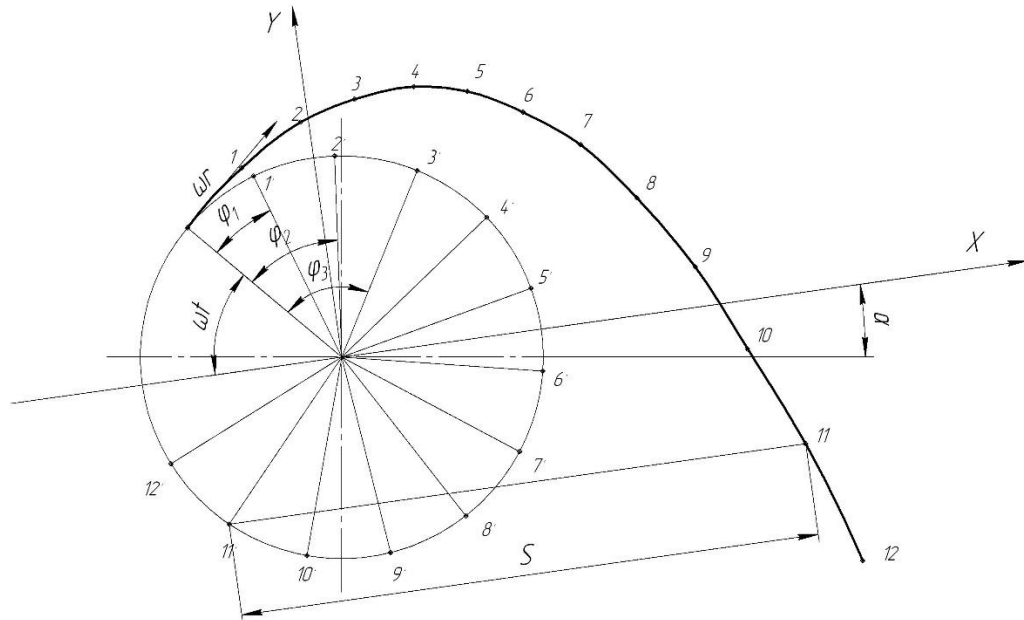


Рис. 2.1. Траєкторія руху соломи вздовж соломотряса

Швидкість руху соломи вздовж соломотряса визначимо[7]:

$$v_c = \frac{S \cdot \omega}{2\pi}; \text{ м/с} \quad (2.5)$$

Товщина шару соломи на соломотрясі[3]:

$$H = \frac{q_c}{B_c \cdot v_c \cdot \gamma}, \text{ м} \quad (2.6)$$

де  $\gamma$  - щільність соломи;  $\gamma = 18 \dots 20 \text{ кг/м}^3$ .

$B_c$  - ширина соломотряса (приймаємо рівною ширині молотарки).

$q_c$  - подача соломи;

$$q_c = q_\phi \cdot \beta, \quad (2.7)$$

де  $q_\phi$  - фактична подача хлібної маси[7];

$$q_{\phi} = \frac{q}{1,67\beta}, \text{ кг/с.} \quad (2.8)$$

Коефіцієнт інтенсивності сепарації зерна соломотрясом[6]:

$$\mu = \frac{\mu_0 \cdot H_0}{H}, \text{ 1/см} \quad (2.9)$$

де  $\mu_0$  - коефіцієнт інтенсивності сепарації зерна соломотрясом при товщині шару соломи  $H_0 = 0,2$  м;  $\mu_0 = 0,018$  см<sup>-1</sup>.

Довжина соломотряса[3]:

$$l_c = \frac{1}{\mu} \cdot \ln\left(\frac{100 - \varepsilon}{P_c}\right), \text{ см} \quad (2.10)$$

де  $P_c$  - допустимі втрати зерна за соломотрясом;

за АТВ  $P_c \leq 0,5\%$ ;

$\varepsilon$  - коефіцієнт сепарації зерна підбарабання;  $\varepsilon = 80...90\%$ .

Кількість клавiш соломотряса[8]:

$$Z_3 = \frac{B_c}{b_k}, \quad (2.11)$$

де  $b_k$  - ширина клавiші, м;  $b_k = 300...350$  мм.

### 1.3. Обґрунтування технологічних параметрів та режимів роботи клавiшного соломотряса зернозбирального комбайна

Клавiшні соломотряси застосовуються для сепарації соломи з метою відокремити дрібний ворох (зерна, полови), спрямувавши його на систему очистки з подальшим видаленням решток. В існуючих комбайнах поширений двовальний клавiшний соломотряс, всі точки клавiші, якого здійснюють плоско паралельний різною фазою обертання колінчастих валів. [9]

Якісні показники роботи соломотряса багато в чому визначаються його технологічними та кінематичними параметрами роботи.

Тому проектування та обґрунтування параметрів та режимів роботи соломотрясів є досить складним та необхідним питанням сьогодення.

Грубим ворохом хлібної маси, яка обмолочена молотильним апаратом складає (30...45 %) соломи, (10...20 %) частинок зерна, (25...30%) полови і (25...30%) зерна. [9]

Під час підкидання соломистого вороху на клавійному соломотрясі зерно поступово проходить крізь солому, що створює просторову решітку, зп рахунок переплетіння стебел, а потім проходить крізь отвори соломотрясу на скатну дошку. Тому процес сепарації зерна соломотрясом характеризується ймовірністю  $\mu_1$  просіюванням крізь просторову решітку соломи і  $\mu_2$  - ймовірністю проходу через решітчасту поверхню самого соломотряса. Що характеризується коефіцієнтом сепарації  $\mu$ , який визначається виразом: [10]

$$\mu = \frac{\mu_1 \cdot \mu_2}{V_{cp} \cdot t_n}, \quad (2.12)$$

де  $V_{cp}$  - середнє значення швидкості переміщення соломи по соломотрясі, м/с;  
 $t_n$  - тривалість сепарації соломиї.

Ймовірність просіювання зерна залежить від того наскільки інтенсивне змінюються параметри отворів просторової решітки. У міру руху соломотрясом кількість зерна постійно зменшується (рис. 2). Цей процес можна описати диференційним рівнянням[2].

$$\frac{dq}{dl} = -\mu \cdot q, \quad (2.13)$$

де  $dq$  - кількість зерна, що відділяється соломотрясом на ділянці  $dl$  елементарної робочої довжини соломотряса;

$l$  - шлях від початку соломотряса до ділянки  $dl$ .

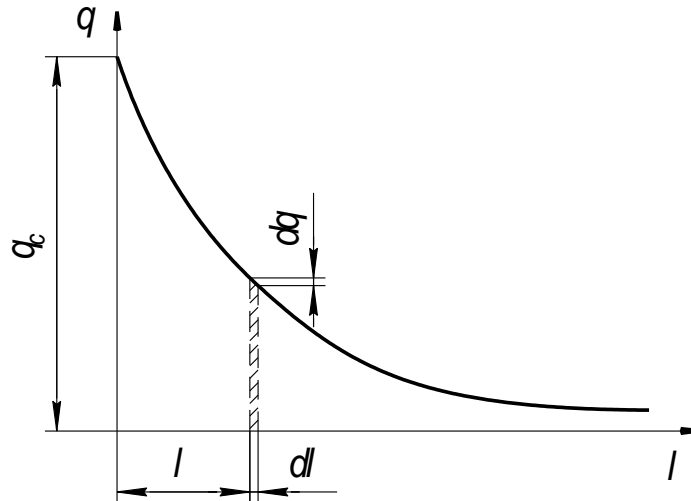


Рис. 2.2. Графічна залежність зміни наявності зерна у соломі  $q$  по шляху  $l$  від початкової точки до заданої ділянки соломотряса

Розв'язавши рівняння отримаємо:

$$q_0 = q_c \cdot e^{-\mu \cdot l}, \quad (2.14)$$

де  $q_0$  - кількість зерна на соломотрясі на шляху  $l$ ;

$q_c$  - кількість зерна, яке потрапило на соломотряс.

Конструкційна довжина соломотрясів сучасних комбайнів становить від 2,5...4,6 м.

Коефіцієнт сепарації  $\mu$  залежить від товщини шару соломи  $h$  на поверхні соломотряса, це можна записати залежністю:

$$\mu \cdot h^n = const, \quad (2.15)$$

де  $n=0,8...1,2$  (більші значення відповідають важким умовам роботи).

В нашому випадку становить  $h=0,2$  м, коефіцієнт солемистості  $\beta=0,66$ , коефіцієнт сепарації становить  $\mu=1,8$  м<sup>-1</sup>.

Якісна сепарація зерна соломотрясом досягається при оптимальному кінематичному показнику режиму його роботи. Враховуючи нерівномірність подачі соломи молотильним апаратом та кількості стебл на одному метрі площі, неправильне налаштування, через недосвідченість та низьку кваліфікацію

оператора, нерівномірне завантаження молотарки має сягати до  $30 \pm 3\%$ . Що створює зміну кінематичних показників роботи колінчастих валів приводу та зростання кутових прискорень на шківках приводу.

Показником, який характеризує завантаження клавіш соломотряса, приймають напруженість соломотряса: [10].

$$m'_0 = \frac{m'_c}{S}, \quad (2.16)$$

де  $m'_c = 0.75 \cdot q_0$  - ( $q_0$  - секундна подача маси у молотильний апарат);

$S$  - площа сепарації соломотряса,  $m^2$ .

становить  $m'_0 = 0,26 \dots 0,28$  кг/(с· $m^2$ ). Що обмежеться допустимими втратами за соломотрясом [0,5 %].

Кількість зерна, що потрапляє в соломотряс за одиницю часу, визначимо[10].:

$$q'_c = (1 - \sigma) \cdot \beta \cdot q_0, \quad (2.17)$$

де  $\sigma$  - коефіцієнт просіювання зерна через підбарабання молотильного барабану;

$\beta$  - коефіцієнт солоmistості.

Втрати зерна на соломотрясі у % визначимо[2].

$$\varepsilon = 100 \cdot e^{-\mu \cdot l}. \quad (2.18)$$

Секундна подача соломи  $V'$ , у соломотряс буде визначатись: [10].

$$V' = \frac{q_0 \cdot (1 - \beta)}{\rho}, \quad (2.19)$$

де  $\rho$  - щільність соломи, на виході з барабану молотарки на соломотряс,  $\rho = 13 \dots 20$  кг/ $m^3$ .

Тривалість сепарації грубого вороху солонив на соломотрясі буде становити:[12].

$$t = \frac{l}{V_{cp}}. \quad (2.20)$$

Визначимо кількість соломи, що одночасно перебуває на соломотрясі:

$$V = V' \cdot t = \frac{V' \cdot l}{V_{cp}}. \quad (2.21)$$

Даний об'єм соломи можна визначити наступним чином:

$$V = h_{cp} \cdot l \cdot B, \quad (2.22)$$

де  $h_{cp}$  - середнє значення товщини шару соломи на поверхні соломотрясу;

$l$  і  $B$  - довжина та ширина, тобто площа соломотряса.

Звідки

$$h_{cp} \cdot l \cdot B = \frac{V' \cdot l}{V_{cp}},$$

тоді

$$h_{cp} = \frac{q_0 \cdot (1 - \beta)}{\rho \cdot V_{cp} \cdot B}. \quad (2.23)$$

#### 1.4. Кінематичний режим роботи пальцевого активатора соломи

Кінематичний режим роботи пальцевого активатора соломи, повинен бути узгодженим із кінематичним показником режиму роботи клавіш соломотряса, що визначається аналогічним коефіцієнтом:[11]

$$k = \frac{\omega^2 \cdot r}{g}, \quad (2.24)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість кривошипа колінчастого валу пальцевого активатора,  $c^{-1}$ ;

$r$  - радіус кривошипа валу пальцевого активатора, м;

$g$  - прискорення вільного падіння.

Аналізуючи залежність втрати вільного зерна на соломотрясі від показника кінематичного режиму його роботи, бачимо (рис. 2.3), що мінімальні втрати відбуваються при величині  $k = 2, 2 \dots 2, 6$ .

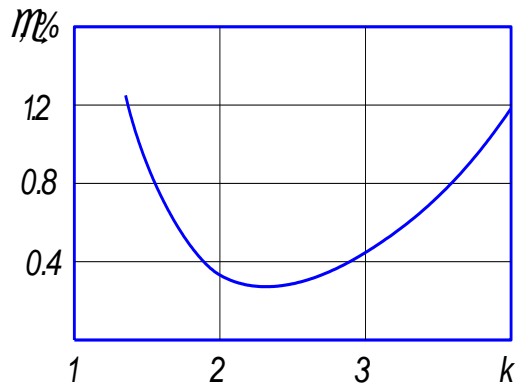


Рис.2.3. Графічна залежність втрат зерна від режиму роботи соломотряса та активатора соломи

Забезпечення оптимального кінематичного режиму роботи активатора соломи та соломотрясу, стає можливим за співвідношення між  $r$  і  $\omega$ . Стандартно встановлюють  $r = 0,05$  м і  $\omega = 20 \dots 24$  с<sup>-1</sup>. За даних умов, швидкість переміщення соломи соломотрясом буде становити  $V_{cp} = 0,3 \dots 0,4$  м/с.

Вносячи зміни режиму роботи соломотрясу та активатора, до наступних значень кінематичного режиму, можемо забезпечити наступні напрям руху частинок соломи поверхнею соломотрясу:

- рух соломи вниз:

$$k_u < \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varphi - \varepsilon)};$$

- ковзання соломи вгору:

$$k_z < \frac{\sin(\varphi + \alpha)}{\cos(\varphi + \varepsilon)};$$

- підкидання соломи від площини клавiші:

$$k_e < \frac{\cos \alpha}{\sin \varepsilon},$$

де  $\varphi$  - кут тертя стеблового вороху, град.;

$\alpha$  - кут нахилу клавiш соломотрясу, град.;

$\varepsilon$  - кут між горизонтальною площиною встановлення соломотрясу та напрямом коливань активатора, град.



З метою забезпечити рух соломистої маси соломотрясом без відриву із ковзанням назад значення кінематичного режиму роботи  $k_p$  має забезпечитись у межах:

$$k_e > k_p > k_z > k_n. \quad (2.25)$$

Кут тертя соломи зернових колосових по сталі становить  $\varphi = 18...30^\circ$  тоді кут нахилу соломотрясу в нерухомому стані має бути меншим від встановленої величини.

**Висновки до розділу 2.** Отримано оптимальні параметри кінематичного режиму роботи клавішного соломотряса з пальцевим активатором сепарації соломи, встановлено що при сепарації допустимої маси згідно пропускнуї здатності молотарки комбана, дозволяє визначати раціональні параметри роботи соломотряса зернозбиральної машини.

Забезпечення оптимального кінематичного режиму роботи активатора соломи та соломотрясу, стає можливим за співвідношення між  $r$  і  $\omega$ . Стандартно встановлюють  $r = 0,05$  м і  $\omega = 20...24$  с<sup>-1</sup>. За даних умов, швидкість переміщення соломи соломотрясом буде становити  $V_{cp} = 0,3...0,4$  м/с.

Кут  $\varphi = 18...30^\circ$  нахилу соломотрясу в нерухомому стані має бути меншим від встановленої величини. З метою забезпечити рух маси соломотрясом без відриву із ковзанням назад значення кінематичного режиму роботи  $k_p$  має забезпечитись у межах:  $k_e > k_p > k_z > k_n$ . Аналізуючи залежність втрати вільного зерна на соломотрясі від показника кінематичного режиму його роботи, бачимо, що мінімальні втрати відбуваються при величині  $k = 2,2...2,6$ .

## 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СОЛОМОТРЯСА

### 2.1. Методика виконання досліджень

Дослідження проводились за допомогою симулятора зернозбирального комбайна Клаас ТУКАНО (claas\_tucano\_cebis120). Який дозволяє отримати результати сепарації соломистої маси, з врахуванням швидкості збирання машиною, завантаженості соломотрясу та зміни коефіцієнта сепарації, шляхом регулювання частоти обертання активатора соломи, пальцевого типу.

Базові налаштування машини в режимі роботи виконуються поворотним перемикачем SEBIS (B) (Рис.3.1) • Додаткова кнопка швидкого доступу забезпечує швидкий перехід до додаткових функцій (E) • Положення поворотного перемикача відображається на екрані (H). • Навігація в меню та зміна значень виконуються за допомогою інкрементального датчика SEBIS або кнопки швидкого доступу відповідно (A/D). • Компактна карта флеш-пам'яті спрощує обмін даними • Новинка: за допомогою кнопки QUICK ACCESS здійснюється безпосередній виклик останнього зміни меню. Крім того, існує можливість швидкого доступу до зображення камери.



Рис. 3.1. Базові налаштування машини в режимі роботи молотарки

Пульт з'єднаний з сидінням комбайнера і може бути гнучким, регулюватись.

Функціональні вимикачі:

A - Інкрементний датчик SEBIS.

B - Поворотний перемикач SEBIS.

C - Кнопка Escape

D - Інкрем. датчик швидкого доступу

E - Поворотний вимикач швидкого доступу

F - Кнопка виклику довідки

G - Кнопка QUICK ACCESS

H - Монітор SEBIS

I - Увімкнути/вимкнути жниварку

J - Увімкнути/вимкнути молотилку

K - Реверс

L - Увімк./вимк. ріпакових ножів зліва

M - Поперечне регулювання жниварки/зміна значень меню швидкого доступу/регулювання довжини столу жниварки VARIO

N - Вибір датчиків LASER PILOT ліворуч/праворуч

O - Повний привод

P - Частота обертання вала двигуна (три ступеня)

## 2.2. Результати досліджень навантаженості соломотрясу комбайна

На рисунках зображено величину навантаженості соломотрясу молотарки при різних режимах коефіцієнта кінематичного режиму роботи в межах від  $k=2,2...2,6$ . Що дозволило отримати графічне зображення навантаження та ступінь сепарації соломотрясом стеблового вороху, на різних швидкостях обмолоту та подачі маси на клавіші. Це дасть можливість оптимально підібрати параметри роботи молотильно- сепараційної системи ( МСС) зернозбирального комбайна.

На рис. 3.2. зображено роботу МСС без налаштування  $k=2$ .

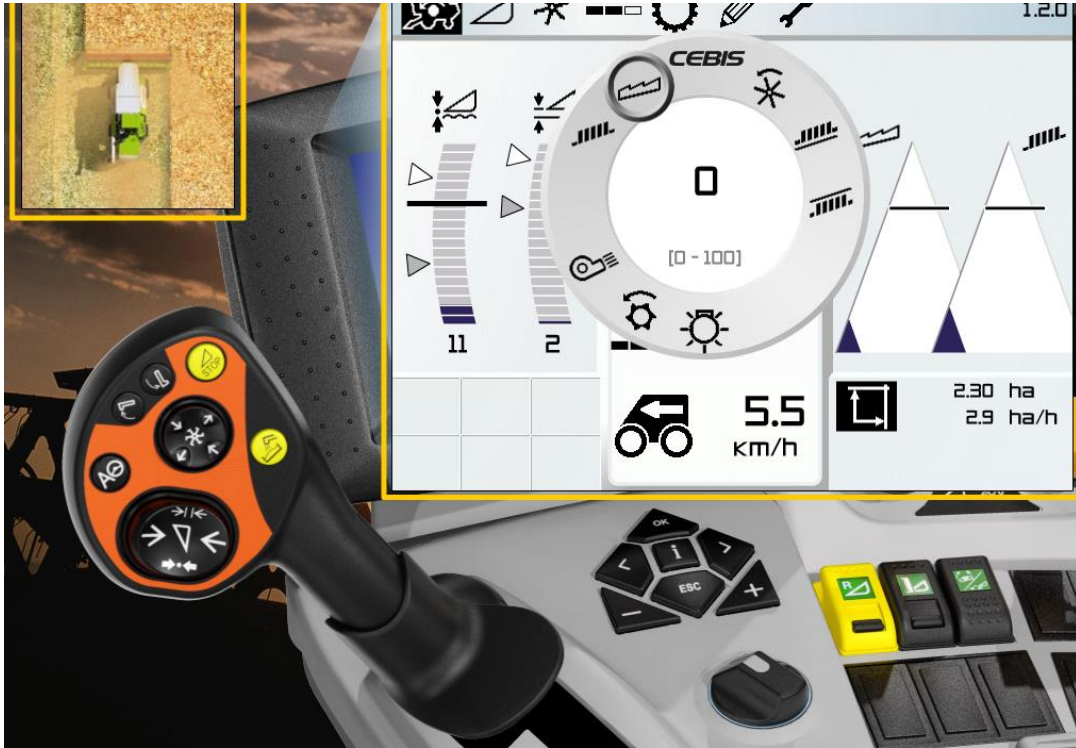


Рис. 3.2. Робота МСС без налаштування  $k=0$

Як видно з рисунка завантаженість солоотрясу мінімальна навіть при досить великій швидкості подачі маси.



Рис. 3.3. Робота МСС з налаштування  $k=5$

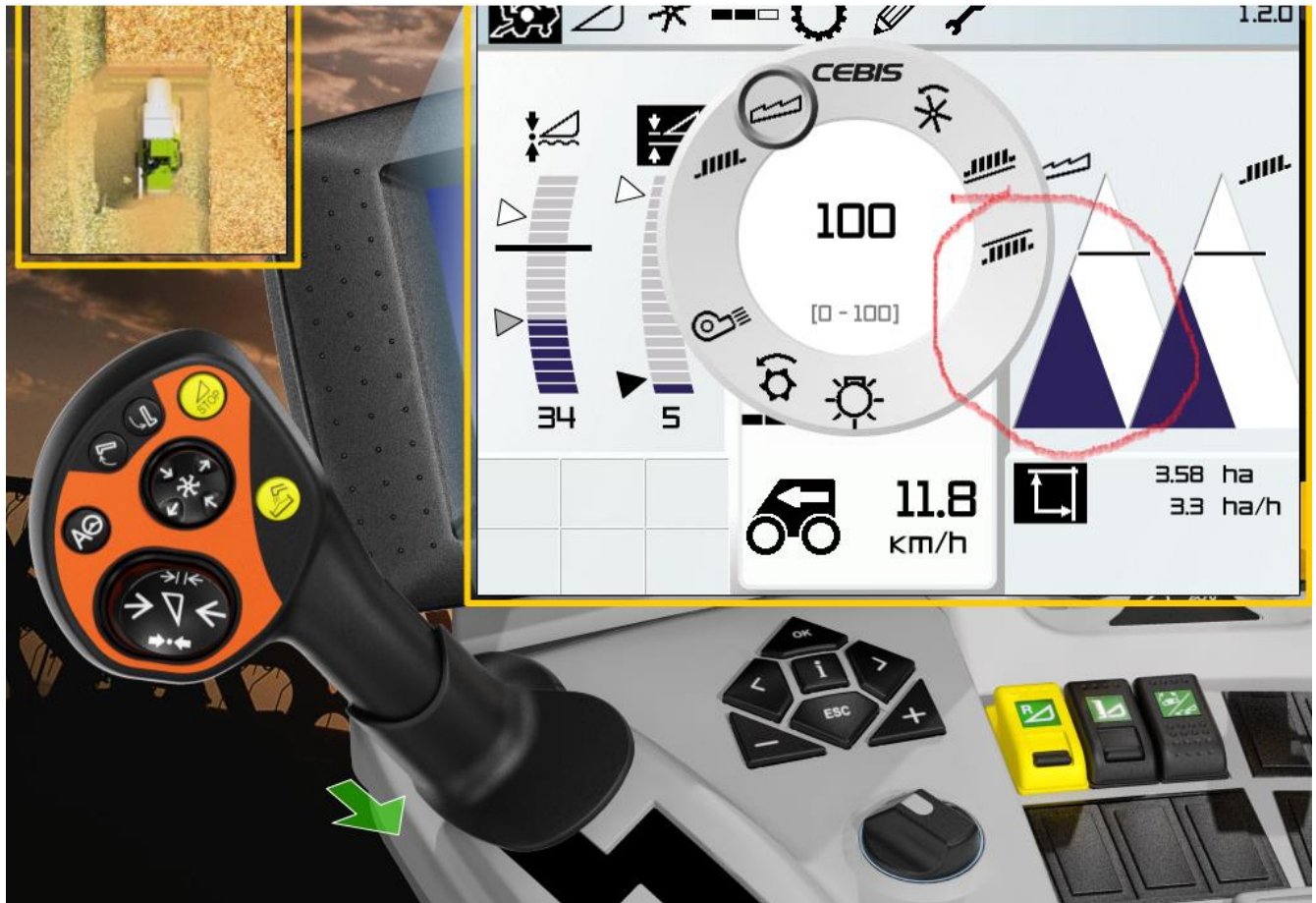


Рис. 3.4. Робота МСС з налаштування  $k=10$

**Висновки до розділу 3.** Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок, що при різних режимах завантаженості соломотряса та коефіцієнтах сепарації система досить ефективно та рівномірно розподіляє подачу стеблової маси. Забезпечує високу ступінь відділення зерна соломи, цьому сприяє встановлений активатор сепарації соломи, що встановлений над соломотрясом. Це свідчить про високу ефективність застосування данрго пристрою та доцільність його застосування у класичних МСС з клавішними сепараційними системами.

Дані дослідження підтверджують, нашу гіпотезу про зростання продуктивності роботи соломотряса до 30 %.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Одним із найпоширеніших типів сепараційних систем є клавішний соломотряс, вони бувають трьох, чотирьох, п'яти або шести клавішному виконанні, що дозволяє забезпечувати пасивну сепарацію соломи після обмолоту бильними барабанами. Основним недоліком даного типу клавішних сепараторів соломи є низька пропускна здатність при сепарації бобових довгостебельних рослин, що зменшує продуктивність збиральної машини, за рахунок падіння робочої швидкості руху. А також концентрація соломи на скредині площі системи.
2. Нами запропоновано встановити важільно-пальцевий активатор зміни траєкторії руху соломи по каскадній поверхні шестиклавішного соломотрясу, що дасть можливість, під час сепарації стеблового вороху, додатково зменшити втрати зерна за соломотрясом до 10%. Тобто загальні втрати вдасться знизити з 1,5% до 1,35%.
3. Отримано оптимальні параметри кінематичного режиму роботи клавішного соломотряса з пальцевим активатором сепарації соломи, встановлено що при сепарації допустимої маси згідно пропускної здатності молотарки комбана, дозволяє визначати раціональні параметри роботи соломотряса зернозбиральної машини. Забезпечення оптимального кінематичного режиму роботи активатора соломи та соломотрясу, стає можливим за співвідношення між  $r$  і  $\omega$ . Стандартно встановлюють  $r = 0,05$  м і  $\omega = 20 \dots 24$  с<sup>-1</sup>. За даних умов, швидкість переміщення соломи соломотрясом буде становити  $V_{cp} = 0,3 \dots 0,4$  м/с. З метою забезпечити рух маси соломотрясом без відриву із ковзанням назад значення кінематичного режиму роботи  $k_p$  має забезпечитись у межах:  $k_s > k_p > k_z > k_n$ .
4. Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок, що при різних режимах завантаженості соломотряса та коефіцієнтах сепарації система досить ефективно та рівномірно розподіляє подачу стеблової маси. Це свідчить про високу ефективність застосування даного пристрою та доцільність його застосування у класичних МСС з клавішними сепараційними системами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. [www.claas.com.ua](http://www.claas.com.ua).
2. <https://www.deere.ua/uk/>
3. <https://agriculture.newholland.com › uk-ua>
4. <https://amacoint.com › partner>
5. <https://case-ukraine.com.ua>
6. Комаристов В.Ю., Дунай М.Ф. Сільськогосподарські машини. К.: Вища школа, 1987. 248с.
7. Бойко А.І., Свірень М.О., Шмат С.І., Ножнов М.М. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин. К., 2003. 203 с.
8. Сисолін П.В., Рибак Т.І., Сало В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 2. К.: Урожай, 2002. 364 с.
9. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. К.: Урожай, 2001. 384 с.
10. Хайліс Г.А. Коновалюк Д.М. Розрахунок робочих органів збиральних машин: Навч. посібник. К.: НМК ВО, 1991. 199 с.
11. Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. Київ: УСГА, 1992. 240с.
12. Заєць М. Л. Результати дослідження впливу рівномірності розподілу пожнивних решток на глибину сівби та урожайність сільськогосподарських культур / М. Л. Заєць // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2021. Вип. 51.,– Кропивницький, ЦНТУ, 2021 р. С. 36-45.
13. Заєць М. Л. Система точного припосівного дозування рідких добрив / М. Л. Заєць, // Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції

«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2021. С. 13-16.

14. Заєць Максим. Результати дослідження впливу рівномірності розподілу поживних решток на глибину сівби та урожайність сільськогосподарських культур/ М. Л. Заєць // Органічне виробництво і продовольча безпека : збірник праць учасників X Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 100-річчю Поліського національного університету, 21–22 квітня 2022 р. Житомир : Поліський національний університет, 2022. С. 325-328.