

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ТЕМУ:
**«ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБМОЛОТУ ТА
ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І
РЕЖИМІВ РОБОТИ МОЛОТАРКИ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти
освітнього ступеня «магістр»
освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
денної форми навчання

Микола НАГНИБІДА

Керівник:

кандидат технічних наук,
доцент

Степан ЗАМОЙСЬКИЙ

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____

Шкала ECTS _____

«___» грудня 2025 р.

Допускається до захисту:

«___» грудня 2025 р.

Гарант освітньо-професійної програми
«Агроінженерія» спеціальності
208 «Агроінженерія»,
кандидат технічних наук, доцент

Василь ДУГАНЕЦЬ

м. Кам'янець-Подільський, 2025

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	4
АНОТАЦІЯ	5
РЕФЕРАТ	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ .	7
ВСТУП.....	8
1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1. Аналіз механіко-технологічних властивостей качанів і зерна кукурудзи	11
1.2. Аналіз молотарок кукурудзи	16
1.3. Постановка завдань дослідження	29
Висновки до першого розділу.....	30
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБМОЛОТУ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ	31
2.1. Модель функціонування молотарки качанів кукурудзи	31
2.2. Дослідження руху качанів кукурудзи в молотильній камері	38
2.3. Визначення основних показників роботи молотарки качанів кукурудзи.....	49
Висновки до другого розділу	59
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МОЛОТАРКИ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ	61
3.1. Програма і завдання експериментальних досліджень.....	61
3.2. Експериментальна установка.....	62
3.3. Методика визначення механіко-технологічних властивостей качанів і зерна кукурудзи	69
3.4. Методика проведення однофакторних експериментів	71
Висновки до третього розділу	76
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	77
4.1. Результати визначення механіко-технологічних властивостей качанів і зерна кукурудзи	77
4.2. Результати лабораторних експериментальних досліджень	78
Висновки до четвертого розділу	79

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ МОЛОТАРКИ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ.....	81
5.1. Розрахунок економічної ефективності застосування молотарки качанів кукурудзи	81
5.2. Рекомендації по використанню молотарки качанів кукурудзи у виробництві.....	83
Висновки до п'ятого розділу.....	85
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	88
ДОДАТОК А Матеріали комп'ютерної презентації.....	92
ДОДАТОК Б Копії друкованих тез доповідей	100

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША
Освітній ступінь «магістр»
Спеціальність 208 Агроінженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій РУДЬ

04 квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувачеві вищої освіти

НАГНИБІДІ
Миколі Миколайовичу

Тема роботи: «ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБМОЛОТУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ МОЛОТАРКИ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ»

Керівник роботи: доцент ЗАМОЙСЬКИЙ Степан Михайлович

Затверджено наказом по Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від 04 квітня 2025 року № 355с.

Строк подання закінченої кваліфікаційної роботи 20 листопада 2025 року.

Вихідні дані до роботи:

1. Науково-технічна література, авторські свідоцтва і патенти на винаходи молотарок качанів кукурудзи.
2. Протоколи випробування молотарок качанів кукурудзи.
3. Результати дослідження та випробування молотарок качанів кукурудзи.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ.

1. Сучасний стан питання та задачі дослідження.
2. Теоретичне дослідження технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи.
3. Програма і методика експериментальних досліджень молотарки качанів кукурудзи.
4. Результати експериментальних досліджень.
5. Економічна ефективність використання та рекомендації щодо використання молотарки качанів кукурудзи.

Загальні висновки і рекомендації.

Список використаних джерел.

Додатки.

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі магістра представлено підвищення ефективності процесу обмолоту та обґрунтування технологічних параметрів і режимів роботи молотарки качанів кукурудзи.

На підставі результатів проведеного аналізу способів, пристроїв і робочих органів молотарок качанів кукурудзи та наукових робіт з дослідження технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи.

Проведено теоретичні дослідження, на основі яких одержано математичні моделі технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи молотаркою з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері, а також математичні залежності, які дозволяють визначити основні конструктивно-режимні параметри молотарки.

На підставі проведених досліджень розроблено конструкцію молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері, працездатність і ефективність якої перевірено в лабораторних і виробничих умовах.

Розраховано техніко-економічна ефективність застосування молотарки качанів кукурудзи.

THE SUMMARY

The master's thesis presents the improvement of the efficiency of the threshing process and the justification of the technological parameters and modes of operation of the corn cob thresher.

Based on the results of the analysis of methods, devices and working bodies of corn cob threshers and scientific works on the research of the technological process of threshing corn cobs.

Theoretical studies were conducted, based on which mathematical models of the technological process of threshing corn cobs with a thresher were obtained with a rational distribution of impact and friction forces in the threshing chamber, as well as mathematical dependencies that allow determining the main structural and operational parameters of the thresher.

On the basis of the conducted research, a design of a corn cob thresher with a rational distribution of impact and friction forces in the threshing chamber was developed, the performance and efficiency of which was tested in laboratory and production conditions.

The technical and economic efficiency of using a corn cob thresher is calculated.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 87 аркушах формату А4, яка вміщує 5 розділів, 7 таблиць, 61 рисунок, 44 найменування використаних джерел і презентаційного матеріалу на 16 аркушах.

Мета магістерської роботи підвищення ефективності процесу обмолоту та обґрунтування технологічних параметрів і режимів роботи молотарки качанів кукурудзи.

На підставі результатів проведеного аналізу способів, пристроїв і робочих органів молотарок качанів кукурудзи та наукових робіт з дослідження технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи доведено необхідність розробки молотарки з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері, яка здатна обмолочувати качани всіх цільових призначень відповідно до агровимог з максимальною продуктивністю і мінімальними енергоємністю та матеріаломісткістю.

Розроблено класифікацію способів, пристроїв і робочих органів молотарок качанів кукурудзи та структурний граф аксіально-роторної системи обмолоту, що дозволило розробити конструктивно-технологічну схему молотарки качанів кукурудзи з трисекційною декою, кожна секція якої складається з чотирьох притискних елементів, та побудувати розрахункову модель її функціонування.

Проведено теоретичні дослідження, на основі яких одержано математичні моделі технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи молотаркою з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері, а також математичні залежності, які дозволяють визначити основні конструктивно-режимні параметри молотарки.

З метою підтвердження результатів теоретичних досліджень сплановано та проведено попередні однофакторні та багатофакторні експерименти. В результаті багатофакторного експерименту отримано регресійні залежності енергоємності та комплексного показника якості обмолоту, виконано оптимізацію та вирішено компромісну задачу, в результаті чого отримано раціональні конструктивно-режимні параметри молотарки, які забезпечують мінімальну енергоємність процесу обмолоту при потрібній якості обмолоченого зерна.

На підставі проведених досліджень розроблено конструкцію молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері, працездатність і ефективність якої перевірено в лабораторних і виробничих умовах, що дозволило розробити рекомендації щодо ефективного використання молотарки у виробництві, які передано сільськогосподарським підприємствам Хмельницької області.

Ключові слова: ОБМОЛОТ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЄМНІСТЬ, ЯКІСТЬ.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ

Скорочення	Розшифровка скорочень
ВАТ	Відкрите акціонерне товариство
КРМ	Кваліфікаційна робота магістра
ЕК	Екзаменаційна комісія
МТА	Машинно-тракторний агрегат
m	маса проби в природному стані, кг
m_m	маса висушеної проби (твердої фази)
m_b	маса вологи (рідкої фази)
m_c	маси вологи і сухого ґрунту
W_n	польова (загальна) вологоємність
W_a	абсолютна вологість ґрунту
a	глибина заглиблення голок диска, м
k	коефіцієнт пропорційності, $k = 1,2$ кг/см
P	горизонтальна складова, Н
b	довжина лунки, м
n	число зубів на диску
R	радіус кола, при якому диск рухається без ковзання, м
d	діаметр голки, м
h	глибина обробітку, м
θ	кут сколювання ґрунту
φ	кут тертя голки об ґрунт
h_{max}	максимальна глибина обробітку
a	висота стерні
d	діаметр маточини
n	частота обертання уповільненого диска
n_o	частота обертання диска- шляховимірювача
a_n	деформація стискання пружини, см

ВСТУП

Актуальність роботи. Одне з провідних місць серед зернових і кормових культур займає кукурудза. Ця культура має низку цінних якостей, широко використовуваних в агропромисловому комплексі.

В даний час з кукурудзи виробляють близько 3500 видів продукції. Велике значення ця культура має як високоенергетичний корм для всіх видів тварин і птахів. Щоб збалансувати корм по науково обґрунтованим раціонів, потрібно мати в складі комбікормів не менше 30-40% високоенергетичного зерна кукурудзи.

Тому збільшення обсягів виробництва зерна кукурудзи є однією з перспективних завдань сільського господарства. Для вирішення цього завдання необхідно підвищувати ефективність виконання технологічних процесів виробництва та обробки зерна кукурудзи шляхом удосконалення існуючої та розробки нової більш ефективної техніки.

При виробництві зерна кукурудзи, найбільш трудомісткою є збирання її врожаю - 60...80% від загальних трудовитрат [1]. Завершальним етапом збирання кукурудзи є обмолот качанів, якість якого характеризується двома основними показниками: пошкодженням зерна і недомолоту качанів.

В даний час створено значну кількість молотильних пристроїв різних за принципами і технологічними схемами обмолоту. Однак мало хто з них здатні обмолочувати качани кукурудзи всіх цільових призначень (насінневе, продовольче і фуражне зерно) відповідно до агрономічних вимог. Як правило, такі машини енерго- і матеріалоємні.

В основному в сільському господарстві України використовуються одноцільові молотарки качанів кукурудзи (здатні обмолочувати качани кукурудзи тільки одного цільового призначення). Широке використання одноцільових молотарок обумовлено тим, що недостатньо вивчені причини появи пошкоджень зерна при обмолоті та шляхи зниження їх кількості [2-4].

Тому розробка нових, більш досконалих молотарок кукурудзи здатних обмолочувати качани всіх цільових призначень є вельми актуальним завданням.

Для реалізації цього завдання необхідно більш глибоке вивчення технологічного процесу обмолоту і причин появи макро- і мікропошкодження зерна кукурудзи при цьому процесі.

Мета і завдання досліджень. Підвищення ефективності технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи шляхом розробки конструкції молотарки з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері.

Об'єкт дослідження – технологічний процес обмолоту качанів кукурудзи молотаркою з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері.

Предмет дослідження – визначення закономірностей технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи молотаркою з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводились з використанням основних методів системного аналізу, теорії удару, контактної задачі теорії пружності Герца і основних положень фізико-математичних наук. Експериментальні дослідження проводилися відповідно до самостійно розробленими і відомими методиками в лабораторних умовах на розробленій автором експериментальній установці з використанням методів планування одно- і багатофакторного експерименту і статистичної обробки результатів дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів полягає:

- вперше розроблено розрахункову модель функціонування молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері;
- створено математичну модель процесу обмолоту качанів кукурудзи, яка вперше зв'язує швидкість руху качана в молотильній камері і силу його зустрічного удару об шип підпружиненого обмолочуючого елемента деки, з урахуванням можливості переміщення зерна в тілі стрижня (вдавлення в стрижень);
- встановлені нові закономірності впливу конструктивно-режимних параметрів молотарки качанів кукурудзи з трехсекційною декою, кожна секція якої складається з чотирьох пружних обмолочуючих елементів, на ефективність технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи;

- вперше обґрунтовано конструктивно-режимні параметри молотарки з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері;
- з урахуванням енергетичних та якісних показників технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи.

Практичне значення одержаних результатів:

Новизна всіх конструкторських рішень, реалізована у новій молотарці кукурудзи, підтверджена патентом України на корисну модель № 113087. Результати досліджень взяті до впровадження під час удосконалення існуючої та розробки нової техніки.

Апробація результатів роботи. Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень роботи доповідались на: щорічних конференціях професорсько-викладацького складу та аспірантів Закладу вищої освіти «Подільський державний університету» (2024-2025 рр.).

Публікації. Основні результати дослідження відображені у 2 публікаціях, з них 2 статті у науково-фахових виданнях.

1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз механіко-технологічних властивостей качанів і зерна кукурудзи

У процесі виконання технологічного процесу обмолоту качани кукурудзи, взаємодіючи з робочими органами молотарок, піддаються впливу сил удару і тертя і по різному реагують на ці дії, що обумовлено їх механіко-технологічними властивостями.

До механіко-технологічних властивостей качанів кукурудзи відносяться: вологість зерна і качана, розмірні дані качанів і зерна, об'ємна вага, міцність зв'язку зерна зі стрижнем, коефіцієнт тертя руху f_q і спокою f_c , теплопровідність, в'язкість, аеродинамічний опір, швидкість витання зерна і т. д.

Вологість - найважливіша характеристика качанів кукурудзи при обмолоті, яка впливає на інші властивості. При обмолоті насінневої кукурудзи процентний вміст води в качані не повинно перевищувати 16% 3, 4 %. Вологість зерна і стрижня кукурудзяного качана різні і по різному впливають на процес обмолоту. За співвідношенням вологості зерна і стрижня існує певна залежність (рис. 1.1), яку визначив М.Г. Голік [5].

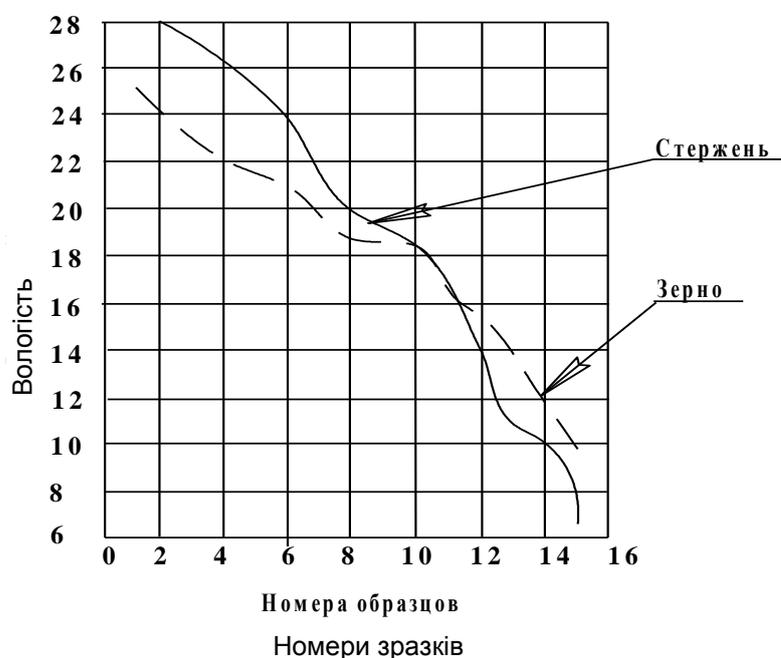


Рис. 1.1. Графік вологості зерна і стрижня при різній вологості качана кукурудзи

Гігроскопічні властивості зерна і стрижня різні: при вологості качана до 16,7%, вологість зерна більше вологості стрижня. При вологості качана більше 16,7%

вологість зерна кукурудзи менше вологості стрижня. Це необхідно враховувати при вирішенні різних питань, пов'язаних з режимами обмолоту та сушіння качанів кукурудзи.

Від вологості, а також щільності і температури залежить кут природного укусу зерна кукурудзи. При зміні вологості зерна від 11,5 до 19% (на 7,5%) кут природного укусу зерна кукурудзи підвищується всього лише на 2,5 град, при підвищенні вологості від 19 до 26,5% - на 19,5...20, 2 град, тобто приблизно в 8 разів більше, ніж у першому випадку. Отже, кут природного укусу зерна кукурудзи потрібно приймати з урахуванням його вологості [5-6].

До розмірних даних кукурудзяних качанів відносяться: довжина качана, максимальний і мінімальний діаметр качана і плодоніжки. У районі Хмельницької області переважає довжина качанів 10...26 см [7-9]. У посушливі роки зазначені розміри менше звичайних на 10...20%.

Розмірні дані качанів кукурудзи впливають на конструктивні параметри молотарок [7, 9].

Розміри качанів кукурудзи вільних від обгорток наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Розміри плодоніжок і качанів кукурудзи, вільних від обгорток

Сорт	Діаметр в середній частині, мм		Довжина, мм	
	плодоніжки	початка	плодоніжки	початка
Луганський 287 МВ				
середній	12	45	130	180
максимальний	19	53	320	260
мінімальний	6	37	40	100
Дар 347 МВ				
середній	12	43	180	190
максимальний	18	50	440	260
мінімальний	8	36	90	130
Гибрид 140				
середній	14	44	170	210
максимальний	23	53	370	280
мінімальний	6	31	50	140

Міцність зв'язку зерна зі качаном залежить від вологості зерна і впливає на обмолочуваність качана [7, 10].

Об'ємний (насіпний) вага качанів кукурудзи залежить від ступеня їх очищення і коливається від 330 до 470 кг/м³; насипна вага зерна п'ятої фази стиглості становить

600...700 кг/м³ [7, 9]. Питома вага качанів кукурудзи є важливою характеристикою, що впливає на продуктивність молотарок кукурудзи і витрати енергії на обмолот. Об'ємна вага качанів кукурудзи наведена в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Об'ємний (насипний) вага кукурудзяних качанів

Найменування матеріалу	Вологість, %	Питома вага, кг/м ³	Примітка
Початки ручного прибирання: Гибрид 140	27	460...470	Початки ретельно очищені від обгортки
Гибрид ВІР 42	23	430...450	Початки ретельно очищені від обгортки
Початки Стерлінг після очищення гладкими вальцями	24	360...380	Качанів з обгортками до 25% до числа штук в пробі
Початки Стерлінг після очищення хескерними вальцями	17	330...340	Качанів з обгортками до 30 %

Експериментально доведено [3, 4], що енергоємність обмолоту і вік качана перебувають у зворотній залежності. Міцність зв'язку зерна зі стрижнем наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Міцність зв'язку зерна зі стрижнем

Показники	Фази стиглості	
	4-а	5-а
1. Вологість зерна, %	35,0...18,0	15,0
2. Зусилля висмикування зерна, Н	16,0...21,0	24,1
3. Зусилля корчування одного зерна, Н	7,0...8,0	6,0

Як видно з таблиці 1.3, зусилля висмикування ізольованого зерна збільшується з віком від 16,0 до 24,1 Н, тоді як зусилля корчування зменшується від 8,0 до 6,0 Н. Це пояснюється силами тертя зерна по зерну, збільшуються при нахилі зерна в качані на кут корчування. У процесі нахилу неминуче зміщення

кожного зерна щодо суміжних, тобто неминуче тертя, яке тим менше, ніж спелее качан [3-5].

Схема корчування зерна кільцем представлена на рис. 1.2.

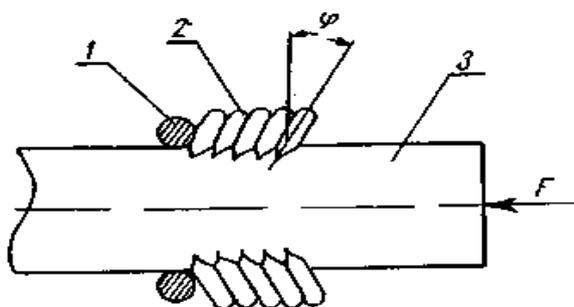


Рис. 1.2. Схема корчування зерна кільцем:

1 - кільце; 2 - зерна піддослідного пояса; 3 - стрижень качана

Механічну міцність зерна оцінюють показником твердості і руйнівним навантаженням при статичному стисненні, а також при вигині.

Із збільшенням терміну зберігання зерна відбувається зміцнення його тканин, і показники деформації збільшуються. Дані про механічної міцності дозрівання зерна наведено в табл. 1.4. Зміна міцності зерна по фазах стиглості виявлено не тільки при випробуванні статичними навантаженнями, але і динамічними [7].

Таблиця 1.4

Зміна міцності зерна при його дозріванні

Показники	Фази стиглості			Схема навантажень
	3-я	4-я	5-я	
Твердість τ , кг/мм ²	0,10	0,47	1,22	
Руйнуюче навантаження, кг/мм ²	0,10	0,25...0,35	0,43	
Руйнуюче навантаження, кг/мм ²	0,010	0,023...0,032	0,047	
Вологість зерна, %	49	42...30	17	

Властивості поверхні качана характеризуються коефіцієнтами тертя: динамічним (ковзання) f_q і спокою f_c . Найбільш високі значення f_q і f_c отримані по гумі, найменші - по фанері і полотну [7, 11]. Значення динамічного коефіцієнта тертя залежно від матеріалу поверхні наведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Значення динамічного коефіцієнта тертя залежно від матеріалу поверхні при швидкості тертя до 3 м/с

Найменування	Влажність, %	Поверхня				
		фанера соснова	ПОЛОТНО СНОПОВЕ- Зальне	сталь оцинкова на	сталь листова	гума технічна
Зерно 4-й фази стиглості	36	0,34	0,31	0,39	0,57	0,62
Зерно 5-й фази стиглості	15	0,24	0,31	0,33	0,25...0,30	0,54

При взаємному терті деяких продуктів урожаю приблизні значення f_c складають: зерно по зерну – 0,36 [3].

У деяких умовах замість ковзання може мати місце кочення. Для сухих качанів спостерігається кочення при таких мінімальних кутах нахилу поверхні (у градусах до горизонту), представлених в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Мінімальний кут нахилу поверхні (у градусах до горизонту)

Найменування	Поверхня			
	фанера	полотно	листова сталь	гума
Початок без обгортки	13	14	15	14
Початок в обгортці	17	19	18	18

Швидкість витання зерна кукурудзи ряду сортів коливається від 12,5 до 14 м/с, а стрижнів з вологістю 11% - від 10 до 17 м / с [5].

Наведені дані про качанах, зерно та стрижнях качанів повинні враховуватися при розробці нової кукурудзянооброблювальних техніки, у тому числі і молотарок качанів кукурудзи. Розмірні характеристики качанів кукурудзи визначають конструктивні параметри молотарок.

Розмірні характеристики сортів кукурудзи Луганський 287 МВ і Дар 347 МВ (табл. 1.1), а також міцнісні властивості зерна (табл. 1.5) і динамічний

коефіцієнт тертя в залежності від матеріалу поверхні (табл. 1.6) використані при розробці нової молотарки.

Аналіз робіт з вивчення механіко-технологічних властивостей качанів кукурудзи дозволив зробити висновки, які необхідно врахувати при розробці нової молотарки качанів кукурудзи, а саме:

- на якість відділення зерна від стрижня істотний вплив робить вологість зерна;
- вплив міцності зв'язку зерна зі стрижнем на кількість макро і ушкоджень його зародка при обмолоті вивчено недостатньо.

1.2. Аналіз молотарок кукурудзи

В даний час в сільському господарстві використовується велика кількість різних молотарок качанів кукурудзи, для узагальнення та систематизації яких необхідно зробити аналіз існуючих конструкцій та їх робочих органів. Це дозволить визначити найбільш раціональну існуючу молотарку качанів кукурудзи та виявити шляхи її вдосконалення.

Технологічний процес барабанно-деків молотарки кукурудзи застосовується при збиранні кукурудзи на зерно зернозбиральних комбайном з поля (пряме комбайнування) [8, 11] і обмолоті досушених качанів стаціонарними молотарками кукурудзи (роздільне збирання зерна кукурудзи) [8, 12].

При обмолоті качанів кукурудзи зернозбиральних комбайном відділення зерна від качанів відбувається під дією зустрічних ударних навантажень, здійснюваних бичами або штифтами барабана, і протягування їх між робочими поверхнями молотарки [1, 10].

У зв'язку з тим, що частота обертання барабана при збиранні кукурудзи зернозбиральних комбайном становить $450 \pm 50 \text{ хв}^{-1}$ [7], час контакту качанів з обмолочують елементом порівняно невелика, а ударні навантаження великі, що призводить до неприпустимих пошкоджень зерна, великого відсотка недомолоту і потреби в домолачивающем і сепарує пристрої (Соломотряс і т. д.).

Аналіз механіко-технологічних властивостей качанів кукурудзи показав, що при зниженні вологості зерна (з 35% до 16%) істотно знижується його міцність зв'язку

зі стрижнем качана [3, 5]. Схеми барабанно-декових молотильних пристроїв представлені на рис. 1.3.

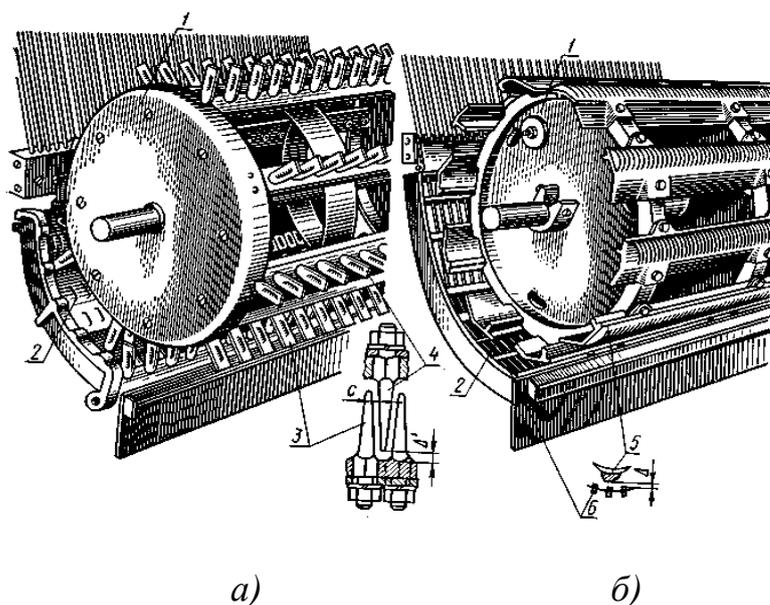


Рис. 1.3. Схеми барабанно-декових молотильних пристроїв:

а) штифтового, б) бильного; 1 - барабан; 2 - дека, 3 - штифт деки; 4 - штифт барабана; 5 - бич; 6 - поперечна планка

Таким чином, можна зробити наступні висновки:

- насінневу кукурудзу доцільно обмолочувати при вологості до 16%, що неможливо при збиранні зерна з поля [3, 21];
- для досягнення раціональних режимів обмолоту насінневої кукурудзи необхідна сушка качанів [5, с. 44];
- фуражну і продовольчу кукурудзу можна обмолочувати при більш високій вологості, що виключає додаткові витрати на сушку.

Після сушіння обмолот качанів кукурудзи ведуть стаціонарними молотарками різних конструкцій, в тому числі і барабанно-декові [18], технологічний процес яких показаний на рис. 1.4.

Завдяки тому, що качани мають оптимальну вологість, у стаціонарних барабанно-деків молотарка кукурудзи, значно знижується відсоток недомолоту, який за агротехнічним вимогам, не повинен перевищувати 1,5...3% (залежно від

цільового призначення зерна) [3-5, 8]. Молотарки такої конструкції мають високу продуктивність і очищають зерно від дрібного вороху.

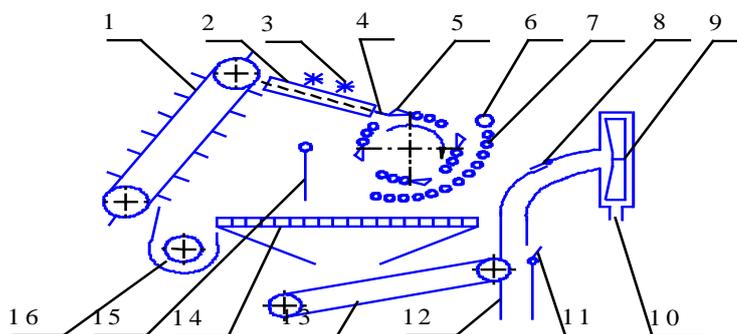


Рис. 1.4. Технологічна схема стаціонарної барабанно-декової молотарки качанів кукурудзи:

1 - завантажувальний транспортер; 2 - напрямні вальці, 3 - притискний пристрій, 4 - скатний пластина, 5 - молотильний барабан; 6 - орієнтує валець; 7 - дека; 8 - оглядовий люк; 9 - вентилятор; 10 - вихідний патрубок; 11 - регулювальна заслінка; 12 - аспіраційна колонка; 13 - стрічковий транспортер; 14 - решето; 15 - шторка; 16 шнек

Однак барабанно-декові молотарки качанів кукурудзи дією великих ударних навантажень травмують зерно, що виключає можливість обмолоту качанів насінневої кукурудзи відповідно до аготребовання виробництва посівного матеріалу.

Ефективне виконання технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи барабанно-дековою молотаркою забезпечується тільки при обмолоті фуражної або продовольчої кукурудзи.

До основних недоліків таких конструкцій відносяться: великі витрати енергії і необхідність у домолачивающем пристрої, що ускладнює конструкцію молотарки і збільшує її матеріаломісткість.

Конструкції машин для обмолоту качанів кукурудзи, розроблені сільськими раціоналізаторами, представлені на рис. 1.5.

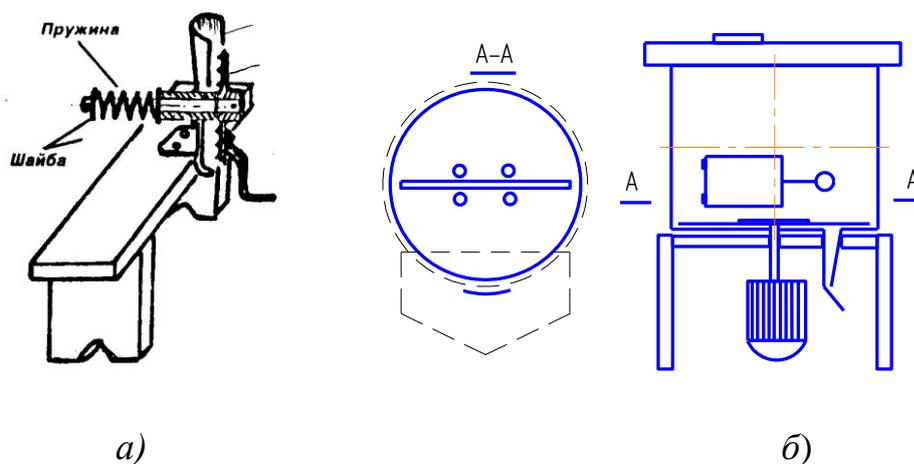


Рис. 1.5. Дискові машини для обмолоту качанів кукурудзи:

а) з подпружиненим притискним пристроєм, б) без притискного диска

В особистих підсобних господарствах також використовуються пристрої для обмолоту кукурудзи з ручним приводом [5, с. 2], робочий орган яких виконаний у вигляді склянки з шипами на його внутрішній поверхні (рис. 1.6).

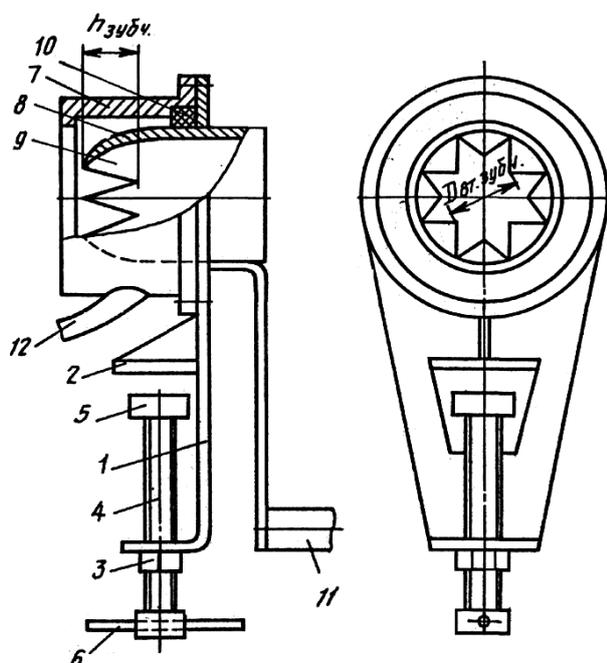


Рис. 1.6. Пристрій для обмолоту кукурудзи:

1 - рама; 2, 5 - опорна площадка; 3 - гайка; 4 - гвинт; 6 - ручка; 7 - стакан; 8 - втулка; 9 - зубець; 10 - кільце; 11 - рукоядка

Основними недоліками таких машин є: застосування ручної праці, низька продуктивність, відсутність можливості обмолочувати качани всіх цільових призначень, великий відсоток дроблення зерна.

Високою продуктивністю володіють багатодискові молотарки [3-5], а також молотарки з конусними дисками [6] (рис. 1.7) і комбіновані молотарки (рис. 1.8).

До переваг цих машини відносяться: підвищена продуктивність, автоматичне регулювання зусилля притиснення качанів до рухомого диска, низький відсоток недомолоту, автоматизований процес завантаження качанів в молотильний камеру, максимальне використання робочої поверхні рухомого диска. До недоліків: складність конструкції, складність в експлуатації, великі витрати енергії і велика матеріаломісткість, а також висока вартість машини.

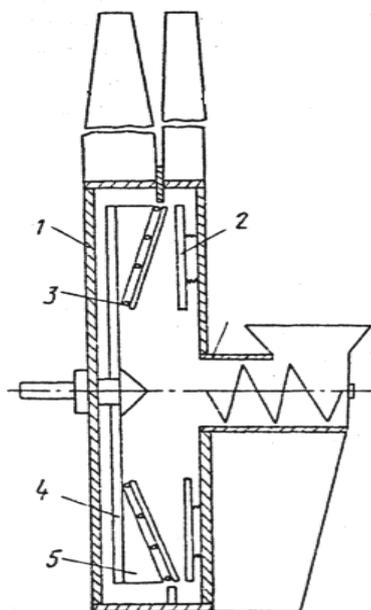


Рис. 1.7. Схема дискової молотарки кукурудзи з подпружиненим притискним диском:

1 - корпус; 2 - прижимний диск; 3 - конусний диск; 4 - пластина; 5 - лопатка

Обмолот качанів кукурудзи під дією сил тертя покладений в основу стрічкових, пневматичних і вальцьових молотарок кукурудзи. Пневматична молотарка кукурудзи представлена на рис. 1.9.

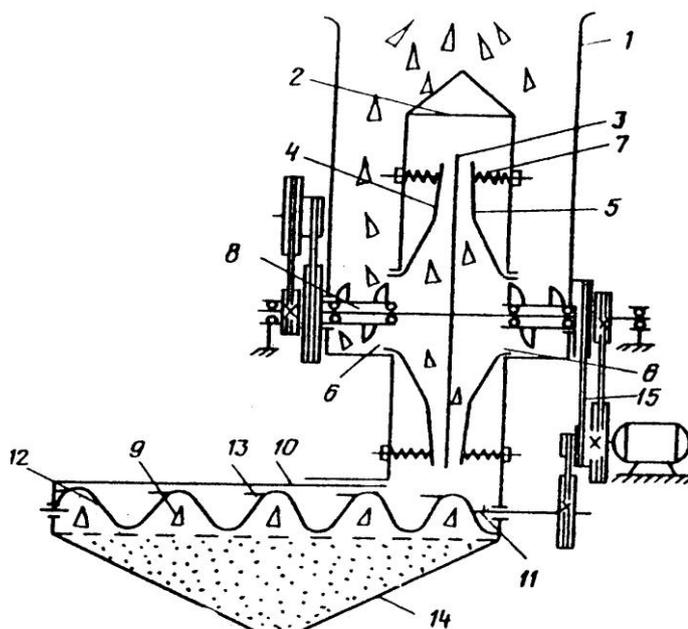


Рис. 1.8. Комбінована обмолочуюча установка:

1 - бункер; 2 - кожух; 3 - рухливий диск; 4, 5 - нерухливі диски; 6 - вікно; 7 - пружина; 8 - шнек; 9 - сепаруючий пристрій; 10 - циліндр; 11 - шнек; 12 - навивка; 13 - палець; 14 - приймач; 15 - привід

Обмолот в даній конструкції відбувається при переміщенні качанів кукурудзи під дією стисненого повітря, по похилій, рифленою стінці насадка.

У зв'язку з тим, що в пневматичних молотарка кукурудзи повністю відсутня ударний вплив на качан, відсоток пошкодження зародка в партії обмолоченого зерна не перевищить допустимого значення 10%.

Для забезпечення ефективного виконання технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи такими молотарками необхідно виробляти подачу повітря в молотильний камеру під високим тиском. Створення високого тиску вимагає використання компресорів великої потужності, що значно ускладнює конструкцію, вимагає великих матеріальних і енергетичних витрат, а також збільшує кількість обслуговуючого персоналу.

Стрічкові молотарки кукурудзи, включають в себе обмолочують перфоровану стрічку, підпірну рухому стрічку і привід.

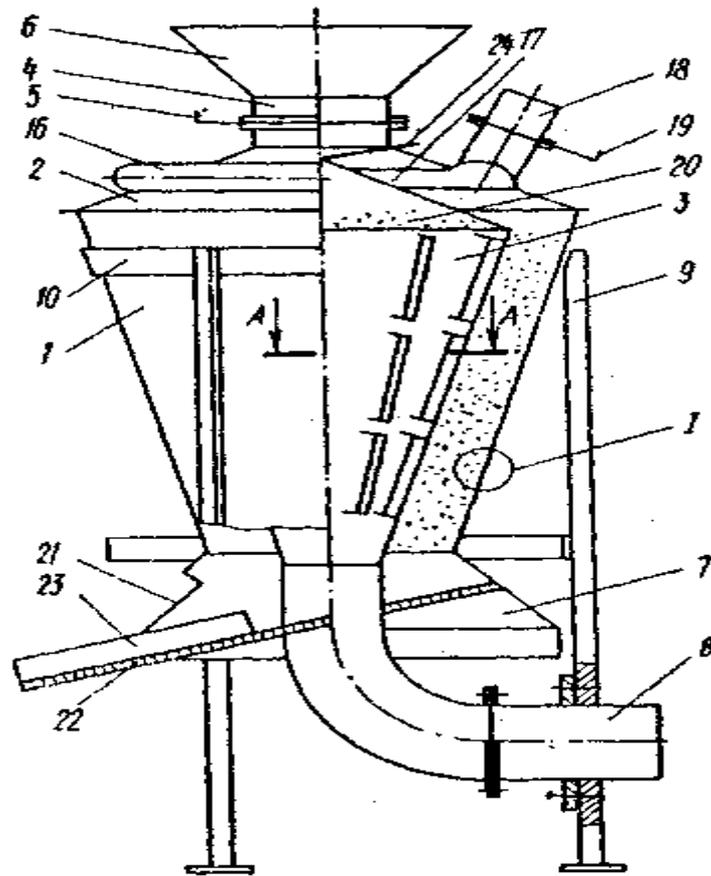


Рис. 1.9. Пневматична молотарка кукурудзи:

1 - орпус циклону; 2 - кришка; 3 - насадок; 4 - горловина; 5 - засувка; 6 - воронка; 7 - розширювач; 8 - патрубок; 9 - стійка; 10 - пояс; 11 - жалюзі; 12 - щілини; 13 - виступи; 14 - ванти; 15 - контргайка; 16 - колектор; 17 - кільцева проточка; 18 - патрубок; 19 - засувка; 20 - спрямляючий пристрій; 21 - розвантажувальне вікно; 22 - сепаруюча решітка; 23 - бортики; 24 - фіксатор

Конструкції стрічкових молотарок прості, зручні в експлуатації, не вимагають домолачиваючих пристроїв, можуть виробляти обмолот качанів кукурудзи відповідно до агротребованія виробництва посівного матеріалу.

Однак високопродуктивні стрічкові молотарки качанів кукурудзи володіють великими габаритними розмірами, вимагають згачительних енерговитрат, крім того стрічки швидко зношуються і втрачають свої фрикційні властивості. Технологічний процес обмолоту качанів кукурудзи стрічкової молотаркою кукурудзи зображений на рис. 1.10.

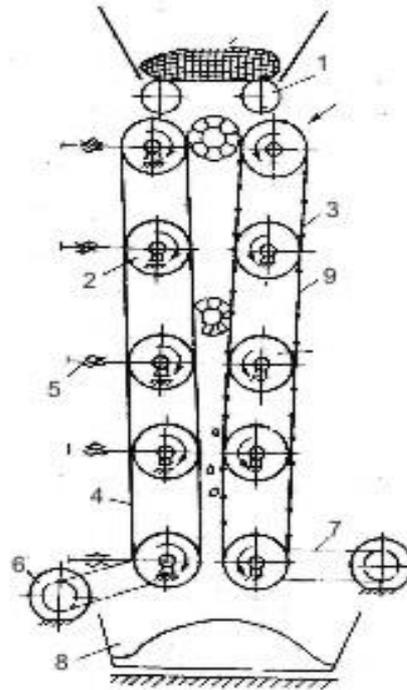


Рис. 1.10. Стрічкове молотильних пристрій для кукурудзи:

1 - орієнтуючі вальці; 2 - опорний валець; 3 - валець перфований оболочувальної стрічки; 4 - підпірна стрічка; 5 - механізм регулювання; 6,7 - привід; 8 - бункер; 9 - обмолочуюча перфорована стрічка

Вальцові молотарки кукурудзи виробляють обмолот під дією різниці швидкостей обертання обмолочують вальців. Молотарки даної конструкції здатні обмолочувати насінневу кукурудзу відповідно до агротребованія і забезпечують високу продуктивність. Однак вальцові молотарки володіють високою матеріаломісткістю і вимагають великих витрат енергії. Технологічний процес вальцовий молотарки кукурудзи зображений на рис. 1.11.

Аксіально-роторні молотарки кукурудзи одержали найбільше поширення в сільськогосподарських підприємствах, а також підприємствах з переробки продукції рослинництва України та інших країн, що виробляють зерно кукурудзи.

Для прибирання стиглої кукурудзи з обмолотом качанів у полі крім комбайнів з класичною (барабанної) молотаркою застосовують комбайни з аксіально-роторної молотильної системою, такі як: КЗСР-9М [7],

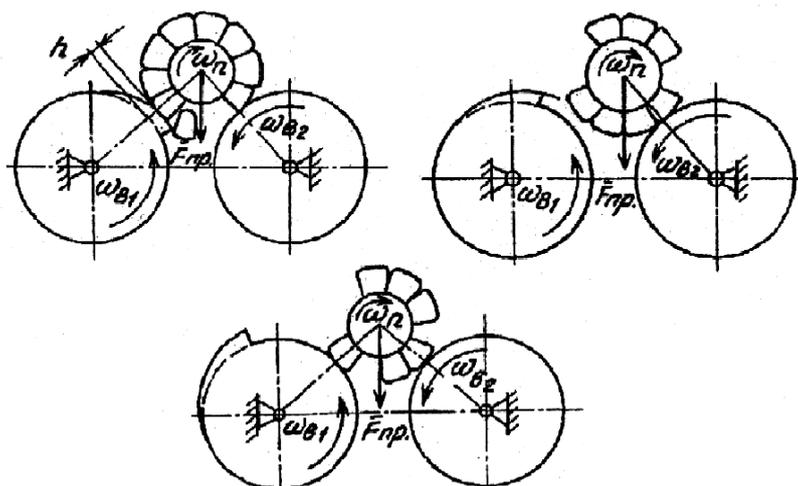


Рис. 1.11. Схема обмолоту качанів кукурудзи вальцьовий молотаркою

Схема комбайнів з аксіально-роторної молотаркою кукурудзи показана на рис. 1.12.

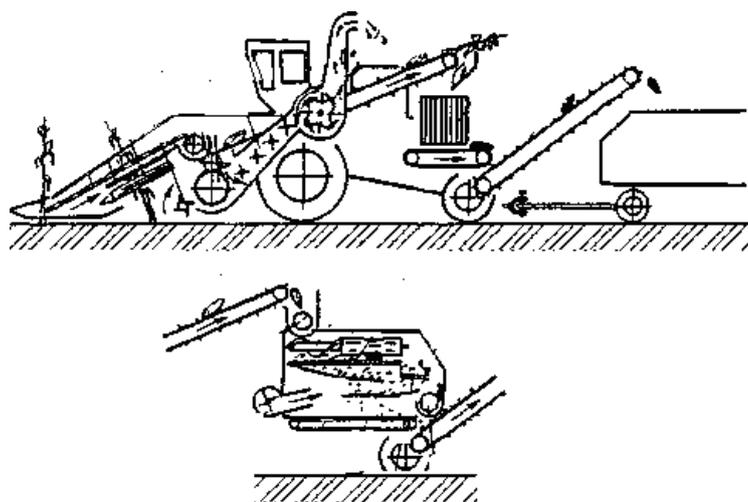


Рис. 1.12. Технологічний процес комбайна КСКУ-6 з пристосуванням для обмолоту

Аксіально-роторні молотарки кукурудзи розрізняють за такими ознаками: за кількістю ступенів обмолоту - одноступінчасті і двоступінчасті; по конструкції ротора - шнекові, конусні, штифтові з прямим і гвинтовим розташуванням штифтів, гвинтові з однозаходний і многозаходная гвинтом і складні; по конструкції деки - з пруткової і перфорованої декою; по наявності напрямителем -

з напрямителями і без напрямителем; за функціональними особливостями деки - з нерухомою і активної декою.

Питому енергоємність можна визначити за відомою формулою [6]

$$\varepsilon_y = \frac{N}{Q}, \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}, \quad (1.1)$$

де N – потужність, потрібна на привід молотарки, кВт;

Q – продуктивність молотилки, т/ч.

Питому матеріаломісткість можна визначити за відомою формулою [13]

$$M_y = \frac{M}{Q}, \text{ кг}\cdot\text{ч/т}, \quad (1.2)$$

де M – маса молотилки, кг;

Q – продуктивність молотилки, т/ч.

Коефіцієнт універсальності можна визначити за формулою

$$K_{yH} = 1 / n, \quad (1.3)$$

де n – кількість цільових призначень зерна кукурудзи, отриманого при обмолоті однієї і тієї ж молотаркою.

На підставі порівняльної оцінки технічних характеристик були відібрані чотири найкращі машини (МКП-12, МКП-30, МКПУ і ДММ-1) і проведено їх багатокритеріальна оцінка згідно з методикою обґрунтування конструктивно-технологічних схем викладених в [6].

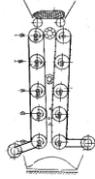
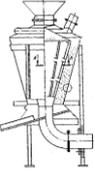
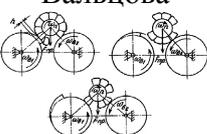
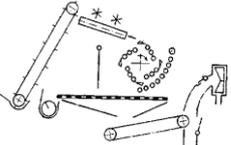
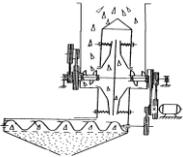
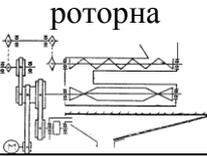
Узагальнюючий короткий аналіз існуючих конструкцій молотарок кукурудзи представлений в табл. 1.6 и 1.7.

З табл. 1.6 и 1.7 видно, що в існуючих конструкціях молотарок качанів кукурудзи раціональному розподілу сил удару і тертя в молотильної камері сприяє подпружиніванієм робочих органів.

Це знижує витрати енергії, потрібної на обмолот і підвищує якість обмолоченого зерна.

Таблиця 1.6

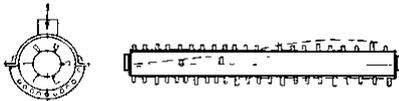
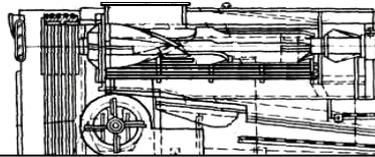
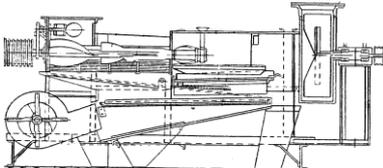
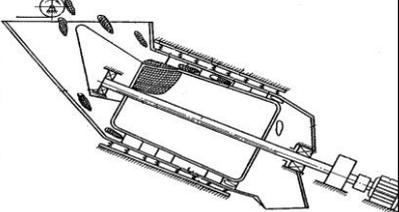
Аналіз існуючих конструкцій молотарок качанів кукурудзи

Тип машини	Розробники і дослідники	Підпружинені робочі органи	Призначення		Висока продуктивність	Низька питома енергоємність
			обмолот насіннєвої кукурудзи	обмолот фуражної кукурудзи		
Стрічкова 	Кравченко В.С., Куцєєв В.В. [15]	+	+	-	-	-
Пневматична 	Хабаров А.М. [11]	-	+	-	-	-
Вальцова 	Кравченко В.С, Анищенко С.В. [17]	+	+	+	-	-
Барабанно-декова 	Креймерман Г.І. [5] Туровский Б.І. [19]	+	-	+	+	+
Дискова 	Ткаченко В.А., Гриценко В.Т., Висоцький М.І., Лесуков М.В. [15]	+	-	+	-	-
Комбінована 	Прихода М.М., Федюшкин А.М. [13]	+	+	+	+	+
Аксиально-ротарна 	Кравченко В.С., Курасов В.С. [14]	+	+	+	+	+

Для узагальнення та систематизації існуючих способів, пристроїв та робочих органів молотарок качанів кукурудзи нами запропонована їх класифікація (рис. 1.25) [6].

Таблиця 1.7

Аналіз існуючих конструкцій молотарок качанів кукурудзи

Марка та схема молотарки	Розробник і дослідники	Призначення		Висока продуктивність	Низька питома енергоємність	Низькака Теріалосм-костість
		Обмолотнанасінневої кукурудзи	обмолот фуражної і продовольчої кукурудзи			
<p>ДММ-1</p> 	Тоганбаєв Т.К. [15]	-	+	-	-	+
<p>НКМ</p> 	[5]	-	+	+	-	+
<p>МКП--У</p> 	Анищенко С.В. [18], Голик М. Г. [3], Креймерман Г.І. [5]	+	+	+	+	-
<p>МКП-12</p> 	Голик М. Г. [3], Креймерман Г.І. [5]	+	+	+	-	-
	Яковлєв А.І., Туманов М.В., Рябко Е.В. [14]	+	+	-	+	-

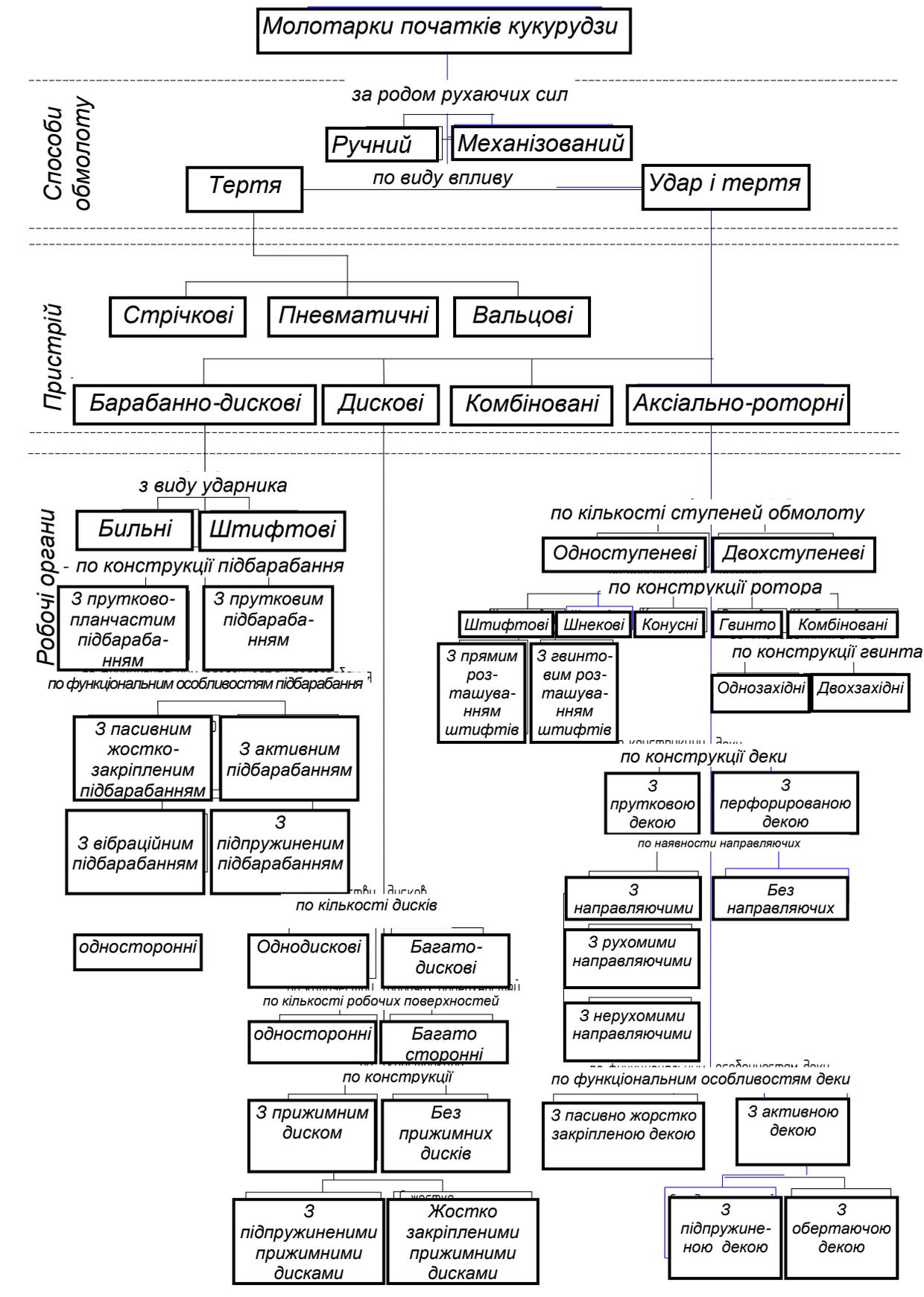


Рис. 1.25. Класифікація способів, пристроїв та робочих органів молотарок качанів кукурудзи

1.3. Постановка завдань дослідження

На підставі проведеного аналізу нами висувається концепція підвищення ефективності технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи шляхом подпружинюванням робочих органів молотарки, що дозволяє автоматично регулювати силу притиснення качана до робочих органів і сприяє раціональному розподілу сил удару і тертя в молотильній камері.

Мета цієї роботи - підвищення ефективності технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи шляхом розробки конструкції молотарки з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз і розробити класифікацію існуючих способів, пристроїв і робочих органів молотарок качанів кукурудзи, проаналізувати наукові праці з дослідження технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи і виявити шляхи підвищення його ефективності.

2. Розробити і обґрунтувати конструктивно-технологічну схему молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері, яка забезпечує мінімальну енергоємність процесу обмолоту і необхідну якість зерна при обмолоті качанів кукурудзи всіх цільових призначень.

3. Теоретично обґрунтувати технологічний процес обмолоту і параметри робочих органів молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері.

4. Експериментально підтвердити результати теоретичних досліджень, отримати оптимальні значення конструктивно-режимних параметрів молотарки і визначити їх вплив на ефективність технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи.

5. На основі експериментально-теоретичних досліджень розробити конструкцію молотарки качанів кукурудзи, провести її техніко-економічну оцінку і розробити рекомендації щодо ефективного використання молотарки качанів кукурудзи у виробництві.

Висновки до першого розділу

На підставі проведеного аналізу існуючих способів обмолоту конструкцій молотарок качанів кукурудзи і наукових робіт з дослідження технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи можна зробити наступні висновки:

1. В даний час сільське господарство України потребує молотарка кукурудзи, які забезпечують ефективне виконання технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи всіх цільових призначень (насіннева кукурудза, продовольче або фуражне зерно).

2. При розробці нових молотарок необхідно враховувати розмірні характеристики качанів кукурудзи, так як вони визначають конструктивні параметри молотарки.

3. Найбільш перспективним є механізований спосіб обмолоту з спільною дією удару і тертя, так як він забезпечує необхідну продуктивність молотарки, і ефективне виконання технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи.

4. Зазначені вище недоліки існуючих молотарок кукурудзи дають підставу зробити висновок про доцільність розробки нової молотарки качанів кукурудзи.

5. Найбільш перспективною для подальшого дослідження є аксіально-роторна молотарка качанів кукурудзи.

6. Підвищити ефективність технологічного процесу обмолоту можна шляхом подпружинюванням робочих органів молотарок, що сприяє раціональному розподілу сил удару і тертя в молотильній камері.

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБМОЛОТУ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ

Метою теоретичних досліджень є математичне обґрунтування технологічного процесу обмолоту і визначення параметрів робочих органів молотарки качанів кукурудзи.

2.1. Модель функціонування молотарки качанів кукурудзи

Аналіз існуючих способів, пристроїв і робочих органів механізованих молотарок качанів кукурудзи дозволив розробити більш повну їх класифікацію. Аналіз переваг і недоліків молотарок показав, що найбільш перспективними для подальших досліджень є аксіально-роторні молотарки. В даний час розроблено велику кількість їх конструктивно-технологічних схем (КТС).

Перед нами була поставлена задача - вибрати раціональну конструктивно-технологічну схему молотарки, яка б забезпечувала мінімальну енергоємність процесу обмолоту і необхідну якість зерна при обмолоті качанів кукурудзи всіх цільових призначень.

Вибрати раціональну конструктивно-технологічну схему молотарки можна застосувавши методи системного аналізу, а саме побудувавши структурний граф аксіально-роторної системи обмолоту качанів кукурудзи (рис. 2.1) [6].

На структурній схемі зображено трирівнева система підпорядкування елементів, тобто система відносин підпорядкування і підлеглості разом з відносинами взаємодії. Елементи системи третього рівня $C_1^3, C_2^3, C_3^3, C_4^3, C_5^3, C_6^3, C_7^3$ підпорядковані елементів системи другого рівня $C_1^2, C_2^2, C_3^2, C_4^2$, а вони в свою чергу елементам першого рівня C_1^1, C_2^1, C_3^1 . Система відносин підпорядкування і підлеглості позначена суцільними стрілками.

Елементи системи в процесі роботи взаємодіють між собою і від їх взаємодії залежить якість виконання технологічного процесу. Відносини взаємодії позначені пунктирними стрілками.

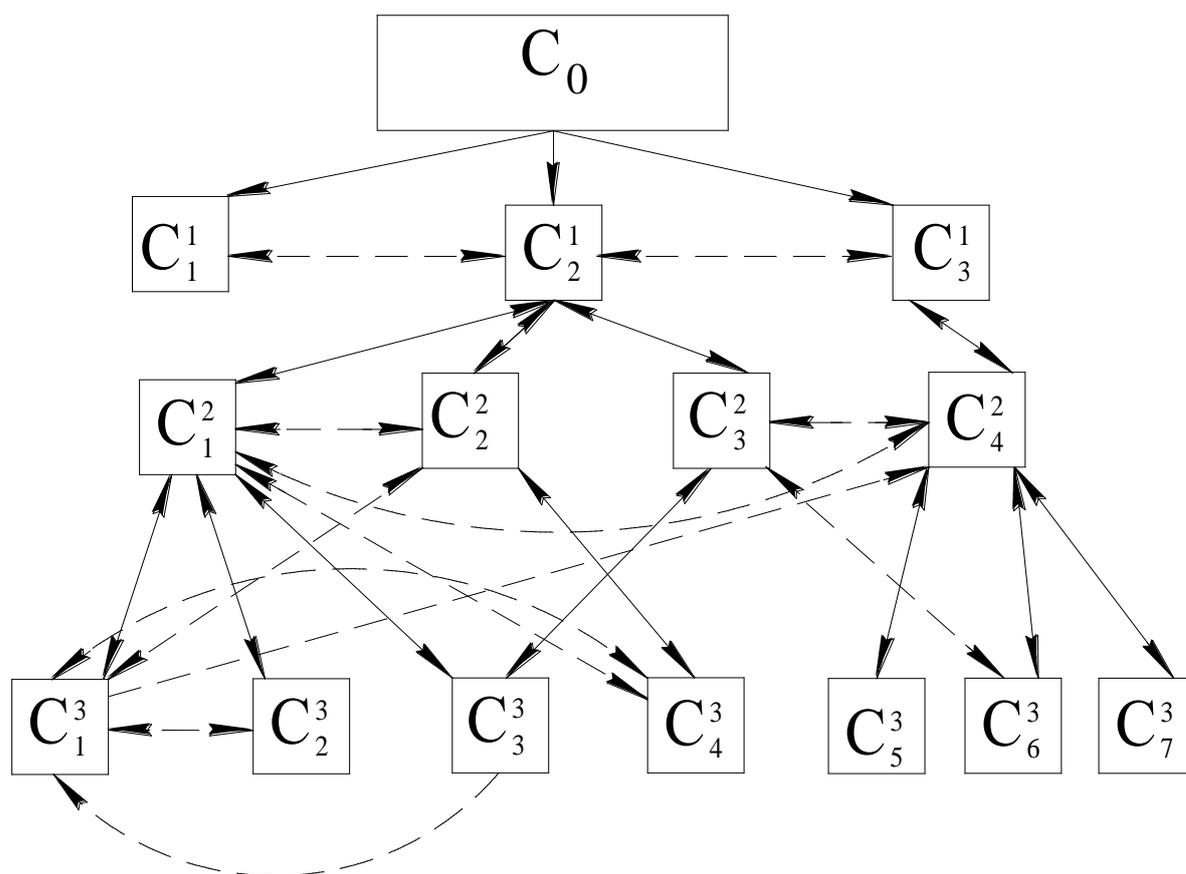


Рис. 2.1. Структурний граф аксіально-роторної системи обмолоту качанів кукурудзи:

————— - відносини підпорядкування і підлеглості;

←-----> - відношення взаємодії;

C_1^1 - завантажувальний лоток; C_2^1 - камера обмолоту; C_3^1 - зерновий бункер; C_1^2 - дека; C_2^2 - ротор; C_3^2 - механізм приводу; C_4^2 - повітряна очищення; C_1^3 - додаткові пристрої деки; C_2^3 - засувка вивантажного вікна; C_3^3 - механізм приводу деки; C_4^3 - додаткові пристрої ротора; C_5^3 - решето; C_5^3 - вентилятор; C_6^3 - система вивантаження обмолоченого зерна; C_7^3 - лоток для відводу обмолочених стрижнів

З структурного графа випливає, що максимальна кількість взаємодій з різними елементами конструкцій молотарок належить деці C_1^2 і її додатковим пристроям C_1^3 . Виходячи з цього можна висунути припущення, що удосконалення деки і її додаткових елементів підвищить ефективність виконання технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи.

По своїй фізичній суті обмолот качанів кукурудзи - це нанесення ударів по качанів і протягування їх між робочими поверхнями молотильного пристрою.

Внаслідок удару і сил тертя, що виникають при проштовхуванні, порушуються зв'язку зерна зі стрижнем качана [6].

При обмолоті удар призводить не тільки до відділення зерна від стрижня, а й викликає його різні пошкодження. Кількість пошкоджень зерна строго обмежується агротехнічними вимогами, що пред'являються до молотарок кукурудзи. У свою чергу удар необхідний для руйнування цілісності качана тільки в початковий момент обмолоту. Далі зерно відділяється під дією сил тертя об робочі поверхні молотильної камери і один про одного, тому дуже важливо раціонально використовувати сили удару і тертя, що сприяють обмолоту.

На підставі вищевикладеного можна висунути таку робочу гіпотезу - підвищити ефективність технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи можна шляхом зниження енергоємності та підвищення якості обмолоту за рахунок удосконалення конструкції деки здатної раціонально розподіляти сили удару і тертя в молотильній камері.

Винахідники і дослідники неодноразово намагалися вдосконалити деку молотарки качанів кукурудзи. В даний час використовуються молотарки з пасивної (жорстко закріпленої) і активної (подпружиненої, що обертається і вібраційної) декою [6].

Широке поширення отримали молотарки з комбінованої декою, що складається з двох секцій, такі як МК-30 і реконструйована МКП-5П. Перша секція пасивна (жорстко закріплена), а друга - активна (подпружиненная). Друга секція служить домолачиваючим пристроєм, що відокремлює зерно в труднообмолачиваємій передньої частини качана, де його діаметр мінімальний.

Виходячи з вищевикладеного, в конструктивно-технологічною схемою молотарки качанів кукурудзи нами пропонується застосувати деку, що складається з декількох секцій, в кожній з яких раціонально використовуються сили удару і тертя, що сприяють обмолоту, що досягається підпружиненням окремих ділянок деки (рис. 2.2).

Принцип роботи багатофункціональної молотарки качанів кукурудзи: качани через загрузочний лоток 1 попадають між гвинтові бичі корпуса 2, та

конічного ротора 3, який отримує привід від електродвигуна 6, через ремінну передачу 7. Напряв гвинтової лінії корпусу та ротора, напрям обертання останнього сприяють руху качанів в верх по конусу з обмолотом зерна.

У зв'язку з різною швидкістю дії бичів на качани по висоті ротора, очікується різна ступінь пошкодження зерна.

Установка вигрузних лотків на різній висоті корпусу дозволяє отримувати зерно на насіння (лоток 1), продовольче (лоток 2), та на корм (лоток 3). Відцентровому переміщенню зерна сприяє потік повітря 14 від крилачів встановених на валу ротора 4.

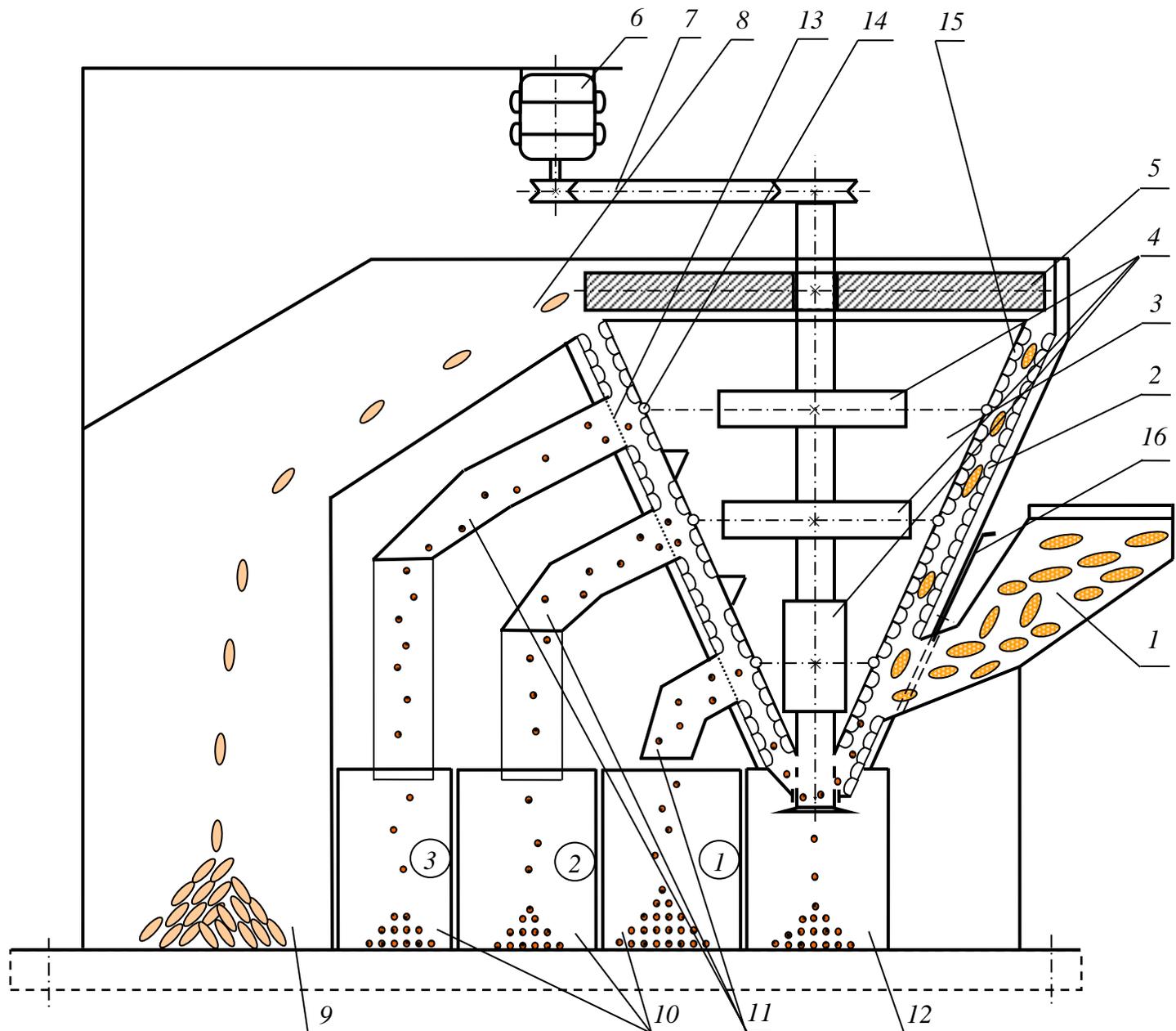
Вимолочені качани захвачують вигрузним крилачем 5 і подаються у відповідний бункер. Процес безперервний.

Після вибору конструктивно-технологічної схеми молотарки качанів кукурудзи, побудова плану теоретичних досліджень спрощує розрахункова модель функціонування молотарки. Модель функціонування також дозволяє представити технологічний процес обмолоту в наочній графічній формі і у вигляді математичної моделі взаємозв'язку параметрів молотарки. Крім цього, за допомогою моделі функціонування можна виявити критерії оцінки ефективності виконання технологічного процесу обмолоту.

Для якісного теоретичного дослідження необхідно розробити модель функціонування всієї машини, незалежно від того, яке з взаємопов'язаних ланок є об'єктом дослідження.

Розрахункова модель функціонування розроблюваної молотарки качанів кукурудзи складається з трьох частин (ланок): завантажувального лотка (ЗЛ), камери обмолоту (КО), системи відводу обмолочених стрижнів і збору зерна (СО) (рис. 2.3).

Сукупність цих ланок характеризує послідовність виконання операцій технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи.



1. Загрузочний лоток;
 2. Корпус з протиударними елементами;
 3. Конусний ротор;
 4. Крилач ротора;
 5. Крилач вигрузний;
 6. Електродвигун;
 7. Ремінна передача;
 8. Вигрузний лоток;
 9. Тара обмолочених качанів;
 10. Лоток для зерна:
 ① – на насіння;
 ② – продовольче;
 ③ – на корм.
 11. Лоток сходу;
 12. Бункер для залишків;
 13. Решето;
 14. Потік повітря;
 15. Ударні елементи;
 16. Заслінка.

Рис. 2.2. Конструктивно-технологічною схемою молотарки качанів кукурудзи

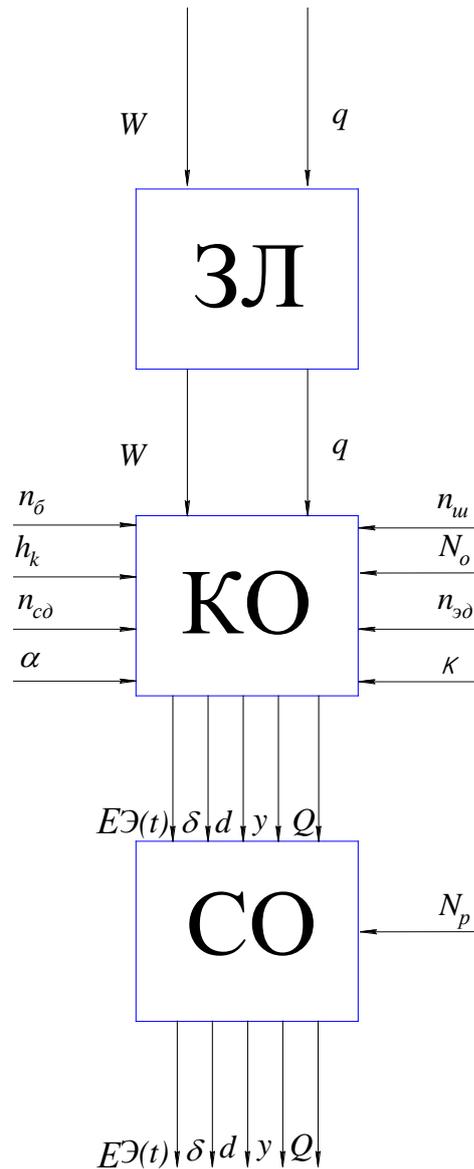


Рис. 2.3. Розрахункова модель функціонування молотарки качанів кукурудзи

Ефективність виконання технологічного процесу обмолоту залежить від умов роботи молотарки. Задаються умови роботи можна назвати вхідними сигналами, до яких відносяться: величина подачі качанів в молотильний камеру q і їх вологість W .

В процесі роботи молотарка качанів кукурудзи (як система в цілому) реагує на вхідні сигнали. Результатом реакції є вихідні показники, до яких відносяться: продуктивність Q , енергоємність процесу обмолоту $E_{(t)}$, показник недомолоту δ , ступінь дроблення зерна d , відсоток макро- і мікропошкодження y .

На вихідні показники може впливати: частота обертання ротора n_{δ} , зазор в молотильної камері h_k , кількість шипів $n_{ш}$, кількість притискних обмолочують елементів деки $n_{ед}$, кількість секцій деки $n_{сд}$, кут нахилу молотильної камери α , жорсткість пружин елементів деки κ . Енергетичною характеристикою моделі є потужність, потрібна на обмолот N_o і привід решета очистки N_p .

Як видно з моделі функціонування, оцінити ефективність виконання технологічного процесу обмолоту можна по питомої енергоємності процесу і комплексним показником якості обмолоту.

Питому енергоємність процесу обмолоту качанів кукурудзи можна визначити за відомою формулою [6]

$$E = \frac{N_o}{Q}, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}, \quad (2.1)$$

де E - питома енергоємність процесу обмолоту качанів кукурудзи, кВт · год./т;

N_o - потужність витрачається на обмолот, кВт;

Q - продуктивність молотарки, т/год.

Комплексний показник якості обмолоту можна визначити за формулою

$$\eta_k = \delta + d + y, \%, \quad (2.2)$$

де E - питома енергоємність процесу обмолоту качанів кукурудзи, кВт · год./т;

N_o - потужність витрачається на обмолот, кВт;

Q - продуктивність молотарки, т/год.

Комплексний показник якості обмолоту можна визначити за формулою

$$\Phi(W(t), q, n_{\delta}, h_k, n_{ш}, n_{ед}, \alpha, \kappa, n_{сд}, N_o, N_p, y, d, \delta, Q, E(t)) = 0. \quad (2.3)$$

Таким чином, розрахункова модель функціонування молотарки показала, що технологічний процес обмолоту качанів кукурудзи - це складний процес, пов'язаний з великою кількістю реакцій системи на поставлені умови роботи. Знаючи початкові умови, оцінити ефективність виконання технологічного процесу можна за допомогою показника енергоємності процесу і комплексного показника якості обмолоту.

2.2. Дослідження руху качанів кукурудзи в молотильній камері

Метою даного дослідження є теоретичне обґрунтування технологічного процесу обмолоту і параметрів робочих органів молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері.

Існуючі результати досліджень не дозволяють визначити оптимальні значення сил удару і тертя в молотильній камері, оскільки в досліджуваній молотарці використовується дека нової конструкції.

У зв'язку з вищевикладеним необхідно провести теоретичне дослідження руху качанів кукурудзи в молотильній камері і отримати математичні залежності, що дозволяють визначити конструктивно-режимні параметри молотарки, при яких раціонально використовуються сили удару і тертя в молотильній камері.

У процесі руху в молотильній камері на качани впливають проштовхуюча сила ротора N_{np} , сила тяжіння маси $G = mg$, сила тертя качанів кукурудзи по ротору F_1 , притискає сила пружин обмолочують елементів деки F_{np} , сила тертя качанів кукурудзи по шипам деки F_2 , сила тертя качанів кукурудзи по навивці ротора F_3 , сила тертя між качанами кукурудзи F_4 і відцентрова сила, що притискає качани до шипів $F_5 = m\omega^2 r$ (рис. 2.4).

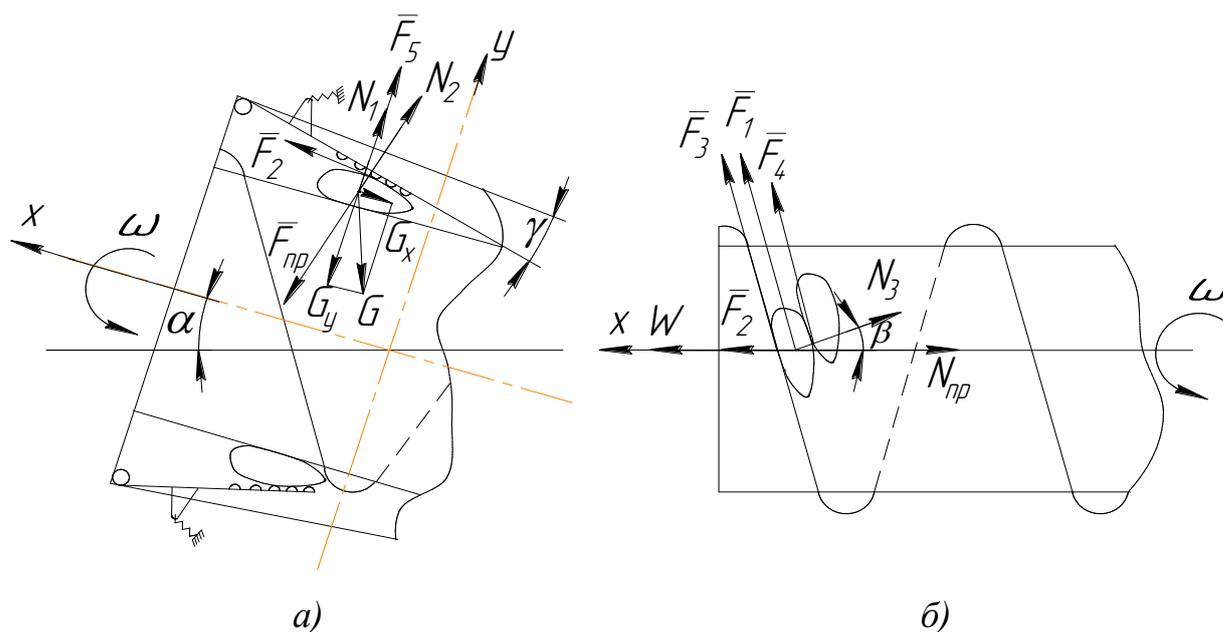


Рис. 2.4. Схема сил діючих на качани кукурудзи при обмолоті:

а) в молотильній камері; б) на роторі

Як видно з рис. 2.4, при переміщенні качанів в молотильній камері на них діє кілька сил тертя, які сприяють відділенню зерна від стрижня. Однак вони створюють опір переміщенню качанів до вивантажувального лотка, тому їх спільна дію можна назвати загальним опором переміщенню качанів кукурудзи в молотильній камері. Для визначення загального опору переміщенню качанів кукурудзи необхідно визначити всі сили тертя в молотильній камері.

Сила тертя качана кукурудзи по ротору визначається виразом

$$F_1 = f_1 \cdot N_1, \text{ Н}, \quad (2.4)$$

де f_1 - коефіцієнт тертя зерна кукурудзи по сталі;

N_1 - реакція ротора визначається з рівняння рівноваги сил діючих на початок, в проекції на вісь ординат.

$$\sum y = 0; \quad (2.5)$$

$$N_1 + F_5 - G_y - F_{np} \cdot \cos \gamma = 0, \quad (2.6)$$

де F_5 - центробіжна сила, Н;

G_y - горизонтальна складова сили тяжіння, Н;

F_{np} - сила додаткового притискання качана до шипів, Н;

γ - кут нахилу подпружиненого обмолочують елемента деки, град.

Звідки

$$N_1 = F_{np} \cdot \cos \gamma + G_y - F_5 = \kappa \cdot X \cdot \cos \gamma + m_1 \cdot g \cdot \cos \alpha - m_1 \cdot \omega^2 \cdot r, \text{ Н}, \quad (2.7)$$

де κ - коефіцієнт жорсткості пружини, Н / м;

X - деформація пружини, м;

m_1 - маса качана кукурудзи, кг;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

α - кут нахилу молотильної камери, град;

ω - окружна швидкість ротора, с⁻¹;

r - радіус ротора, м.

Підставивши (2.7) в (2.4), отримаємо

$$F_1 = f_1 \cdot (\kappa \cdot X \cdot \cos \gamma + m_1 \cdot g \cdot \cos \alpha - m_1 \cdot \omega^2 \cdot r), \text{ Н}. \quad (2.8)$$

Сила тертя качана кукурудзи по шипу деки визначається виразом

$$F_2 = f_1 \cdot N_2, \text{ Н}, \quad (2.9)$$

де N_2 - реакція качана на дію подпружиненого обмолочують елемента деки.

$$N_2 = F_{np} = \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma, \text{ Н.} \quad (2.10)$$

Підставимо (2.10) в (2.9), отримаємо

$$F_2 = f_1 \cdot \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma, \text{ Н.} \quad (2.11)$$

Сила тертя качана кукурудзи по навивці ротора визначається виразом

$$F_3 = f_1 \cdot N_3, \text{ Н,} \quad (2.12)$$

де N_3 - реакція навивки ротора на дію подпружиненого обмолочують елемента деки.

$$N_3 = F_2 \cdot \cos\beta = \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma \cdot \cos\beta, \text{ Н,} \quad (2.13)$$

де β - кут підйому гвинтової навивки шнека, град.

Підставивши (2.13) в (2.12) отримаємо

$$F_3 = f_1 \cdot \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma \cdot \cos\beta, \text{ Н.} \quad (2.14)$$

Сила тертя між качанами кукурудзи визначається виразом

$$F_4 = n \cdot f_2 \cdot m_1 \cdot g \cdot \cos\alpha, \text{ Н,} \quad (2.15)$$

де n - кількість качанів, що труться одна об одну в молотильній камері, шт.;

f_2 - коефіцієнт тертя зерна кукурудзи по зерну.

Отже, загальний опір прощтовхувальній силі ротора дорівнюватиме

$$W = \overline{F_1} + \overline{F_2} + \overline{F_3} + \overline{F_4}, \text{ Н.} \quad (2.16)$$

Спроектуювши векторне рівність (2.16) на вісь абсцис отримаємо

$$W = (F_1 + F_3 + F_4) \cdot \sin\beta + F_2, \text{ Н.} \quad (2.17)$$

Підставивши вирази (2.8), (2.11), (2.14) і (2.15) в (2.17), а також зробивши відповідні перетворення, з огляду на що в молотильній камері одночасно перебуває кілька качанів кукурудзи отримаємо

$$W = \sin\beta \cdot (f_1 \cdot n_1 \cdot (\kappa \cdot X \cdot \cos\gamma + m_1 \cdot g \cdot \cos\alpha - m_1 \cdot \omega^2 \cdot r + \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma \cdot \cos\beta) + n f_2 \cdot m_1 \cdot g \cdot \cos\alpha) + n_1 f_1 \cdot \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma, \quad (2.18)$$

де n_1 - кількість качанів одночасно знаходяться в молотильній камері, шт.

Відомо, що основним фактором, що впливає на вид і кількість пошкоджень зерна при обмолоті, є сила удару качана про робочі поверхні молотарки, яка залежить від швидкості руху ротора [6]. Тому дуже важливо знати загальний опір

переміщенню качана в молотильної камері, так як воно показує, за рахунок чого можна компенсувати зниження швидкості ротора для створення більш м'яких режимів обмолоту насінневої кукурудзи. В даному випадку компенсацію зниження швидкості ротора можна зробити за рахунок збільшення сил тертя об шипи пружних обмолочують елементів деки (шляхом підвищення жорсткості пружин).

Частота обертання ротора чинить максимальний вплив на швидкість руху качана в молотильної камері і є важливою складовою, яка визначає продуктивність молотарки. Тому важливо знати, при якій частоті обертання ротора, швидкість руху качана буде такою, що сила його удару об поверхню шипа підпружиненого обмолочують елемента призведе до початку руйнування зерна (до кордону міцності властивостей зерна) [6]. Ця швидкість руху качана і буде максимально допустимою. Особливу важливість набуває максимально допустима сила удару, яка веде до кордону міцності властивостей зерна при обмолоті насінневої кукурудзи, оскільки кількість пошкоджених зерен тут строго обмежена агро вимогами.

З вищевикладеного можна припустити, що раціональну частоту обертання ротора, як для насінневої, так і для продовольчої і фуражної кукурудзи, можна визначити шляхом порівняння значення сили удару качана по робочій поверхні в молотильній камері при заданій швидкості руху качана з максимально допустимою силою удару

$$P \leq [P], \text{ Н}, \quad (2.19)$$

де P - сила удару качана по робочі поверхні в молотильної камері при заданій швидкості руху ротора, Н;

$[P]$ - максимально допустима сила удару, яка веде до кордону міцності властивостей зерна, Н.

Випробування зерна кукурудзи сорту БУК-3 при вологості до 20% на балістичному маятнику показали, що при швидкості руху ударника 1,5 м / с час удару склало 0,0024 с, а сила удару становила 680 Н, при цьому зерно знаходилося на межі міцності властивостей і його повна абсолютна деформація Δ_a склало $0,45 \times 10^{-3}$ м [6].

Припустивши, що в подібних умовах зерно і стрижні більшості сортів кукурудзи будуть вести себе аналогічно, приймаємо значення гранично допустимої сили удару для зерна $[P_3] = 680$ Н, а для стержня качана - $[P_c] = 2000$ Н.

Позначивши масу і швидкість качана кукурудзи в молотильної камері через m_1 і V_1 , відповідно, а масу і швидкість підпружиненого обмолочують елемента деки через m_2 і V_2 , можна записати наступні вирази зміни швидкостей в процесі зіткнення

$$m_1 \cdot \left(\frac{dV_1}{dt} \right) = -P, \text{ Н}, \quad (2.20)$$

$$m_2 \cdot \left(\frac{dV_2}{dt} \right) = -P, \text{ Н}, \quad (2.21)$$

де t - час зіткнення.

Позначимо через a величину зближення зерна в качані і шипа підпружиненого обмолоту елемента деки, обумовлену локальним стисненням в точці контакту.

Тоді,

$$a' = V_1 + V_2. \quad (2.22)$$

Припустивши, що співвідношення Герца між силою і деформацією, встановлене для статичних умов, може бути застосовано для задач про удар, силу удару качана про шип підпружиненого обмолочують елемента визначимо з відомого вислову [6]

$$P = n_A \cdot a^{3/2}, \text{ Н}, \quad (2.23)$$

де a - величина зближення шипа і зерна, м;

N_2 - поправочний коефіцієнт Герца, Н / м.

Величину N_2 можна визначити з виразу [6]:

$$n_A = \frac{4 \cdot \sqrt{R_1}}{3 \cdot \pi \cdot (k_1 + k_2)}, \text{ Н/м}, \quad (2.24)$$

де R_1 - радіус кривизни шипа в точці контакту з зерном, м [6];

k_1 і k_2 - відповідно, коефіцієнти, що залежать від модуля Юнга і коефіцієнта Пуассона зерна і шипа [6]. м

$$k_1 = (1 - \nu_1^2) / \pi \cdot E_1, \quad (2.25)$$

$$k_2 = (1 - \nu_2^2) / \pi \cdot E_2, \quad (2.26)$$

де E_1 и E_2 - відповідно, модуль Юнга зерна кукурудзи і шипа, Па;

ν_1 і ν_2 - відповідно, коефіцієнт Пуассона зерна кукурудзи і шипа. Тепер за методикою викладеною в [4], диференціюючи вираз (2.22) і комбінуючи його з (2.20) і (2.21), отримаємо

$$a'' = \frac{dV_1}{dt} + \frac{dV_2}{dt} = -\frac{P}{m_1} - \frac{P}{m_2} = -P \cdot \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \right) \quad (2.27)$$

Підставляючи (2.23) в (2.27), отримаємо

$$a'' = -n_\Gamma \cdot M \cdot a^{3/2}, \quad (2.28)$$

де

$$M = \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \right), \text{ кг}. \quad (2.29)$$

Помноживши обидві частини рівняння (2.28) на a' , отримаємо

$$a' \cdot a'' = -n_\Gamma \cdot M \cdot a^{3/2} \cdot a'. \quad (2.30)$$

У вигляді диференціального рівняння вираз (2.30) набуде вигляду

$$a' \cdot \frac{da'}{dt} = -n_\Gamma \cdot M \cdot a^{3/2} \cdot \frac{da}{dt}. \quad (2.31)$$

Розділивши обидві частини рівняння (2.31) на dt , отримаємо

$$a' \cdot da' = -n_\Gamma \cdot M \cdot a^{3/2} \cdot da. \quad (2.32)$$

Інтегруючи отримане співвідношення, отримуємо

$$\int a' \cdot da' = -n_\Gamma \cdot M \int a^{3/2} \cdot da;$$

$$\frac{(\dot{a}')^2}{2} + \tilde{n} = -\frac{2}{5} n_A \cdot M \cdot \dot{a}^{5/2}, \quad (2.33)$$

$$\text{при } \alpha = 0; \quad c = -\frac{(a')^2}{2} = \frac{V^2}{2}. \quad (2.34)$$

де V - швидкість руху качана кукурудзи на початку удару, при $(t = 0)$, м/с.

З огляду на (2.34) вираз (2.33) набуде вигляду

$$a'^2 - V^2 = -\frac{4}{5} M \cdot n_\Gamma \cdot a^{5/2}. \quad (2.35)$$

Максимальна деформація, a досягається при $a' = 0$

$$a = \left(\frac{5 \cdot V^2}{4 \cdot M \cdot n_r} \right)^{2/5}. \quad (2.36)$$

Підставивши (2.36) в (2.23), а також зробивши відповідні перетворення, отримаємо

$$P = n_r^{2/5} \cdot \left(\frac{5 \cdot V^2}{4 \cdot M} \right)^{3/5}. \quad (2.37)$$

Об'єднуючи вирази (2.24), (2.29) і (2.37), отримаємо рівняння, що зв'яже швидкість руху качана в молотильній камері і силу його зустрічного удару з шипом

$$P = \left(\frac{4 \cdot \sqrt{R_1}}{3 \cdot \pi \cdot (k_1 + k_2)} \right)^{2/5} \cdot \left(\frac{5 \cdot V^2}{4 \cdot \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \right)} \right)^{3/5}, \text{ Н.} \quad (2.38)$$

Отриманий вираз справедливо тільки за умови прямого центрального удару, коли ударний імпульс спрямований уздовж лінії удару по жорстко закріпленому зерну. Зерно в качані кукурудзи можна вважати жорстко закріпленим, так як воно має можливість при стисненні качана переміщатися в тілі стрижня, вдавлюватися в нього на глибину $l = 0 \dots 3$ мм [6]. Відповідно до теорії Герца, в точці дотику поверхонь з різних матеріалів місцева деформація може бути визначена за формулою [6]

$$\Delta l_1 = \left[\frac{9 \cdot P \cdot \psi^2}{16 \cdot E_1^2 \cdot R_1} \cdot (1 - \nu_1^2)^2 \right]^{1/3}, \text{ м,} \quad (2.39)$$

$$\Delta l_2 = \left[\frac{9 \cdot P \cdot \psi^2}{64 \cdot E_2^2 \cdot R_2} \cdot (1 - \nu_3^2)^2 \right]^{1/3}, \text{ м,} \quad (2.40)$$

де Δl_1 і Δl_2 - місцева деформація зерна і стрижня качана кукурудзи від сили удару P , відповідно, м;

E_1 і E_2 - модуль пружності зерна і стрижня качана кукурудзи, відповідно, Па;

R_1 і R_2 - кривизна зерна в точках контакту, м;

ψ - наведена константа пружності;

ν_1 і ν_3 - коефіцієнти Пуассона зерна і стрижня качана кукурудзи.

Оскільки коефіцієнт Пуассона взагалі для всіх матеріалів змінюється в межах від 0 до 0,5 а $E_1 \gg E_2$, приймаємо $\nu_1 = \nu_2$ і $\psi = 1$. Тоді з відносини виразів (2.22) і (2.23) можна визначити величину зменшення напруги в зерні при ударі об шип Ω , коли зерно прикріплено до менш щільному стрижня качана [4]

$$\Omega = 1 - \Delta l_1 / \Delta l_2 = 1 - 1,6 \frac{E_2^{2/3} \cdot R_2^{1/3}}{E_1^{2/3} \cdot R_1^{1/3}}. \quad (2.41)$$

Тоді, враховуючи вирази (2.38), отримаємо рівняння, що зв'язує швидкість руху качана в молотильній камері і силу його зустрічного удару з шипом, з урахуванням можливості переміщення зерна в тілі стрижня (вдавлення в стрижень на глибину від 0 до 3 мм)

$$P_\epsilon = \left(1 - 1,6 \frac{E_2^{2/3} \cdot R_2^{1/3}}{E_1^{2/3} \cdot R_1^{1/3}} \right) \cdot \left(\frac{4 \cdot \sqrt{R_1}}{3 \cdot \pi \cdot (k_1 + k_2)} \right)^{2/5} \cdot \left(\frac{5 \cdot V^2}{4 \cdot \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \right)} \right)^{3/5}, \text{ Н.} \quad (2.42)$$

Шипи подпружиненого обмолочують елемента деки розташовані під деяким кутом до осі обертання ротора. Тому при ударі качана по шипу доцільно розглядати косою, а не центральний удар. В цьому випадку ударний імпульс спрямований не тільки уздовж лінії удару, але і перпендикулярно їй (В площині, дотичній до соударяючихся поверхонь). За механічної сутності ударний імпульс є аналогом ударної сили реакції, що виникає при контакті соударяючихся тел, і може бути визначений за формулою [6]

$$S = P_\epsilon \cdot t, \text{ Н}\cdot\text{с}, \quad (2.43)$$

де P_ϵ - сила зустрічного удару, Н;

t - час удару, с.

Як вже було сказано, при косому ударі ударний імпульс розкладається на дві складові, нормальну $S_H = P_H \cdot t$ і дотичну $S_K = P_K \cdot t$ (рис. 2.5)

$$S_P = S_H + S_K, \text{ Н}\cdot\text{с}. \quad (2.44)$$

Відповідно до гіпотези Рауса величину дотичного ударного імпульсу визначимо за формулою [6]

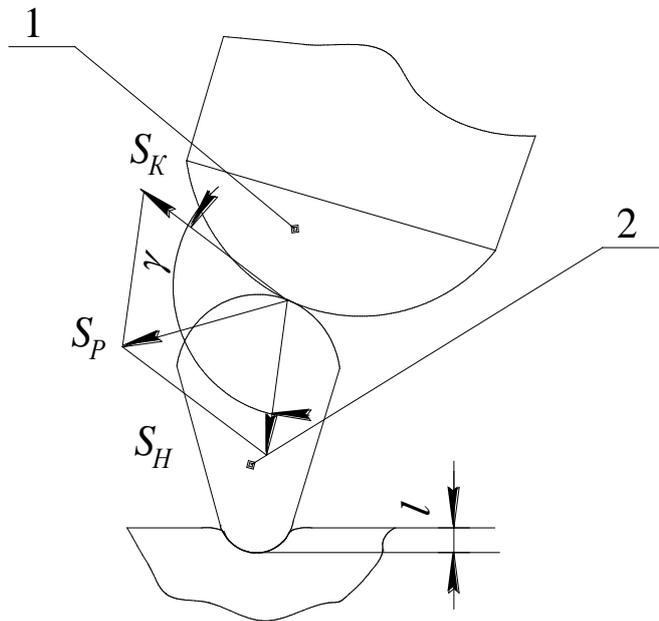


Рис. 2.5. Схема розташування ударних імпульсів при косому зіткненні зерна кукурудзи з шипом: 1 - шип; 2 - зерно кукурудзи

$$S_K = f \cdot P_e \cdot t, \text{ Н}\cdot\text{с}, \quad (2.45)$$

де f - динамічний коефіцієнт тертя.

Знаючи значення сили прямого удару, розкладемо ударний імпульс на дві складові

$$P_e \cdot t = P_H \cdot t + f \cdot P_e \cdot t, \text{ Н}\cdot\text{с}. \quad (2.46)$$

Поділивши праву і ліву частину на t , отримаємо

$$P_e = P_H + f \cdot P_e, \text{ Н}. \quad (2.47)$$

Звідки

$$P_H = P - f \cdot P_e, \text{ Н}. \quad (2.48)$$

На підставі вищесказаного визначимо рівнодіючу сил косого удару в залежності від швидкості руху качана в молотильній камері і порівняємо її з гранично допустимим значенням

$$D_D = \sqrt{(D_a - f \cdot D_a)^2 + (f \cdot D_a)^2 + 2 \cdot (D_a - f \cdot D_a) \cdot (f \cdot D_a) \cdot \cos \gamma}, \text{ Н}. \quad (2.49)$$

Об'єднуючи вираз (2.42) з (2.49) отримаємо значення рівнодіючої сили косого удару. Результати розрахунку рівнодіючих сил косого удару зерна кукурудзи, що

знаходиться в качані по шипу підпружиненого обмолочують об елементи деки, в залежності від швидкості руху в молотильній камері, представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

**Результати розрахунку рівнодіюча сил косого удару зерна кукурудзи
знаходиться в качані по шипу**

Показники	Значення							
Частота обертання ротора $n_{рот}, \text{хв}^{-1}$	30	60	80	90	120	150	180	192
швидкість початку $V, \text{м/с}$	0,5	1	1,35	1,5	2	2,5	3	3,3
Рівнодіюча сила косого удару $P_p, \text{Н}$	213	487	680	792	1118	1461	1818	2000

На підставі розрахунку побудована теоретична залежність рівнодіючих сил косого удару качана кукурудзи по шипу підпружиненого обмолочуючого елемента деки від швидкості його руху в молотильній камері (рис. 2.6).

Порівнюючи розрахункові дані з гранично допустимими значеннями згідно виразу (2.19), залежність можна розбити на зони обмолоту насінневої, продовольчої та фуражної кукурудзи, а також зону руйнування стержня.

Відомо, що зерно кукурудзи відділяється від стержня під дією тільки сили удару при ударі лопасті ротора в центр ваги качана зі швидкістю 2,6 м/с [6]. При нанесенні удару на деякій відстані від центру тяжіння швидкість необхідно збільшити і її можна визначити за відомою формулою [6]

$$V = 2,6 \cdot (1 + s), \text{ м/с}, \quad (2.50)$$

де s - відстань від центра ваги качана до місця докладання ударного імпульсу, м.

Аналізуючи графік можна зробити висновок про те, що розробляється молотарці доцільно проводити обмолот насінневої кукурудзи при частоті обертання ротора до 80 хв^{-1} (швидкість качана при ударі складе до 1,35 м/с), при цьому кількість пошкоджень обмолоченого зерна буде відповідати агротребованія $P_3 \leq [P_3]$. Продовольчу і фуражну кукурудзу можна обмолочувати при частоті обертання ротора

в межах $80 \dots 192 \text{ хв}^{-1}$, при цьому зерно буде добре відділятися від стрижня під дією удару об робочі поверхні в молотильній камері, а також не буде спостерігатися руйнувань стрижня в поздовжній площині $P_c \leq [P_c]$.

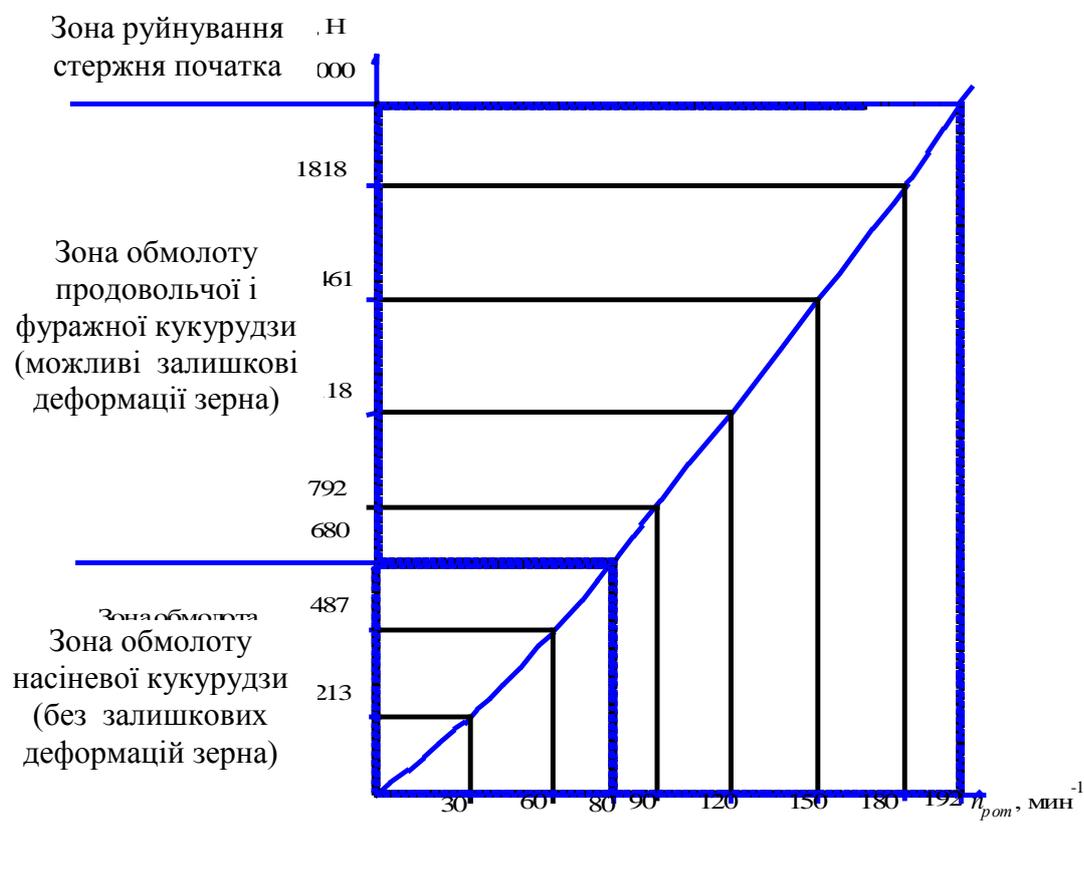


Рис. 2.6. Теоретична залежність рівнодіюча сил косого удару качана кукурудзи по шипу підпружиненого обмолочуючого елемента деки від швидкості його руху в молотильній камері

Зниження швидкості ротора призводить до необхідності застосування пружних обмолочуючих елементів деки, які компенсують недолік ударного навантаження за рахунок додаткової сили тертя.

2.3. Визначення основних показників роботи молотарки качанів кукурудзи

До основних показників роботи молотарки качанів кукурудзи відносяться: продуктивність, витрати потужності, якість відділення зерна від стрижня (показник недомолоту) і якість одержуваного зерна (дроблення, макро- і мікро пошкодження зерна).

Показник якості відділення зерна від стрижня (недомолоту) і якість одержуваного зерна (дроблення, макро- і мікропошкодження) математичним шляхом визначити вкрай складно, тому вони будуть визначені експериментальним шляхом.

Припустивши, що аксіально-роторна дробарка працює як шнековий транспортер качанів кукурудзи, її продуктивність можна визначити за відомою формулою [6]

$$Q = 60 \cdot \mu \cdot m_1 \cdot n_{рот}, \text{ кг/ч}, \quad (2.52)$$

де μ - кількість качанів, розміщених в шнеку на довжині кроку витка, шт;

m_1 - маса одного початку, кг;

$n_{рот}$ - частота обертання шнекового ротору, хв^{-1} .

При діаметрі шнека більш 250 мм приймають $\mu = 2...4$ [6]. Однак при розрахунку продуктивності шнекових пристроїв необхідно враховувати також кут нахилу шнека [6]. На відміну від шнекового транспортера ротор молотарки додатково долає опір пружин притискних обмолочуючих елементів деки. Також продуктивність молотарки залежить від способу завантаження, на що істотно впливає пристрій і розташування завантажувального лотка щодо молотильної камери.

У розробленій молотарці завантаження качанів кукурудзи здійснюється під шнековий ротор паралельно його осі (див. рис. 2.2), що дозволяє подавати качани в молотильну камеру без спеціальних захоплюючих пристроїв. Це значно спрощує конструкцію шнекового ротора і знижує матеріаломісткість молотарки. Вплив конструктивних особливостей молотарки качанів кукурудзи з шнековим ротором на продуктивність можна врахувати за допомогою диференціального коефіцієнта продуктивності [6].

Тому продуктивність розробленої молотарки можна визначити за формулою

$$Q = 60 \cdot \mu \cdot m_1 \cdot n_{ром} \cdot k_n, \text{ кг/ч}, \quad (2.53)$$

де k_n - диференційний коефіцієнт продуктивності.

Диференціальний коефіцієнт продуктивності можна визначити за формулою [6]

$$k_n = k_\alpha \cdot k_\beta \cdot k_\sigma, \quad (2.54)$$

де k_α - коефіцієнт, що враховує пристрій і яким чином буде завантажуватися [8];

k_β - коефіцієнт, що враховує кут нахилу шнекового ротора, $k_\beta = 1 \dots 0,3$ [6];

k_σ - коефіцієнт, що враховує опір пружин притискних обмолочуючих елементів деки.

Коефіцієнт, що враховує опір пружин притискних обмолочуючих елементів деки, можна визначити за формулою [6]

$$k_\sigma = 1 - \frac{\sum E_{np}}{E_p}, \quad (2.55)$$

де $\sum E_{np}$ - загальна енергія, що витрачається на подолання опору пружин, Дж;

E_p - кінетична енергія ротора, Дж.

Кінетичну енергію ротора можна визначити за відомою формулою [6]

$$E_p = \frac{I \cdot \omega^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (2.56)$$

де I - момент інерції ротора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

ω - кутова швидкість ротора, с^{-1} .

Так як маса навивки значно менше маси циліндра ротора, то його момент інерції можна визначити за формулою [6]

$$I = \frac{M_p \cdot r^2}{2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (2.57)$$

де M_p - маса ротора, кг;

r - радіус ротора, м.

Підставивши вираз (2.57) в (2.56) і зробивши відповідні перетворення, отримаємо

$$E_p = \frac{M_p \cdot r^2 \cdot \omega^2}{4}, \text{ Дж}. \quad (2.58)$$

Припустивши, що підпружинені обмолочуючі елементи деки до удару об них качанів знаходяться в спокої, а качани переміщуються зі швидкістю V_1 , можна записати рівняння балансу енергії системи у вигляді

$$\frac{M_p \cdot r^2 \cdot \omega^2}{4} = \left(\sum \frac{1000 \cdot \kappa \cdot X^2}{2} + \sum_0^\alpha \int P \cdot d\alpha \right) \cdot z, \quad (2.59)$$

де κ – коефіцієнт жорсткості пружини, Н/мм;

X - максимальний хід пружини, м;

P - сила удара, Н;

α - деформація зерна після удару, м.

z - коефіцієнт, що враховує ймовірність заклинювання ротора, $z = 2$.

Як видно з формули (2.39), кінетична енергія ротора молотарки переходить в суму потенційних енергій пружин притискних обмолочуючих елементів деки, а також суму енергій зустрічних ударів качанів з шипами.

Тоді,

$$k_\sigma = 1 - \frac{8 \cdot \sum \frac{1000 \cdot \kappa \cdot X^2}{2}}{M_p \cdot r^2 \cdot \omega^2}. \quad (2.60)$$

Так як отриманий коефіцієнт завжди менше одиниці, то він дозволяє оцінити рівень технічної досконалості притискних обмолочуючих елементів деки за величиною продуктивності молотарки.

Тоді формула продуктивності молотарки кукурудзи з шнековим ротором набуде вигляду

$$Q = 60 \cdot \mu \cdot m_l \cdot n_{ром} \cdot k_\alpha \cdot k_\beta \cdot \left(1 - \frac{8 \cdot \sum \frac{1000 \cdot \kappa \cdot X^2}{2}}{M_p \cdot r^2 \cdot \omega^2} \right), \text{ кг/год.} \quad (2.61)$$

Теоретично визначити вплив способу завантаження на продуктивність складно. В основному це вплив визначається експериментальним шляхом. Однак, припустивши, що навівка ротора досліджуваної молотарки захоплює і переміщує качани як лопатевий транспортер, то максимально допустиму кутову швидкість ротора при захопленні качанів можна визначити за формулою [6]

$$\omega_{\max} = \sqrt{\frac{g}{r}}, \text{ с}^{-1}. \quad (2.62)$$

Фактична кутова швидкість ротора при певній раніше частоті обертання дорівнює

$$\omega_{\phi} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ром}}}{30}, \text{ с}^{-1}. \quad (2.63)$$

З відношень цих кутових швидкостей можна визначити коефіцієнт, що враховує пристрій і яким чином будуть завантажуватися, який показує, як впливає перевищення максимально допустимої кутової швидкості ротора на захоплення качанів при вищеписаному способі завантаження

$$k_a = \frac{30 \cdot \sqrt{\frac{g}{r}}}{\pi \cdot n_{\text{ром}}}. \quad (2.64)$$

Остаточно формула продуктивності розробленої молотарки качанів кукурудзи набуде вигляду

$$Q = 60 \cdot \mu \cdot m_l \cdot n_{\text{ром}} \cdot k_{\beta} \cdot \frac{30 \cdot \sqrt{\frac{g}{r}}}{\pi \cdot n_{\text{ром}}} \cdot \left(1 - \frac{8 \cdot \sum \frac{1000 \cdot \kappa \cdot X^2}{2}}{M_p \cdot r^2 \cdot \omega^2} \right), \text{ кг/год.} \quad (2.65)$$

Підставивши дані в рівняння (2.65), можна виконати розрахунок теоретичної продуктивності молотарки качанів кукурудзи. Отримані розрахункові дані представлені в табл. 2.2.

Теоретична залежність продуктивності молотарки від частоти обертання ротора і подачі качанів в молотильній камері представлена на рис. 2.7. Залежність побудована для середньої жорсткості пружин $\kappa = 6 \text{ Н / мм}$, при цьому хід пружини склав $X = 15 \text{ мм}$, вага ротора $M_p \times g = 400 \text{ Н}$, радіус ротора $r = 0,160 \text{ м}$.

Таблиця 2.2

Результати розрахунку продуктивності молотарки качанів кукурудзи в залежності від режимів її роботи, кг / год

Назва показника		Продуктивність аксіально-роторної молотарки, кг/год											
Подача, кг/с		0,25			0,50			0,85			1,00		
Жорсткість пружин, Н/мм		4	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6	8
Частота обертання ротора, хв ⁻¹	80	795,2	770,0	744,5	1590,5	1539,7	1489,0	2703,8	2701,3	2531,2	3180,96	3079,4	2977,9
	130	822,8	814,3	805,8	1645,6	1628,6	1611,7	2797,5	2790,7	2739,8	3291,21	3257,3	3223,4
	180	833,5	833,5	825,0	1667,0	1667,0	1650,0	2803,9	2800,9	2805,0	3334,0	3334,0	3300,0
	200	855,7	855,7	847,1	1711,4	1711,4	1694,1	2909,4	2909,4	2880,0	3422,8	3422,8	3388,2

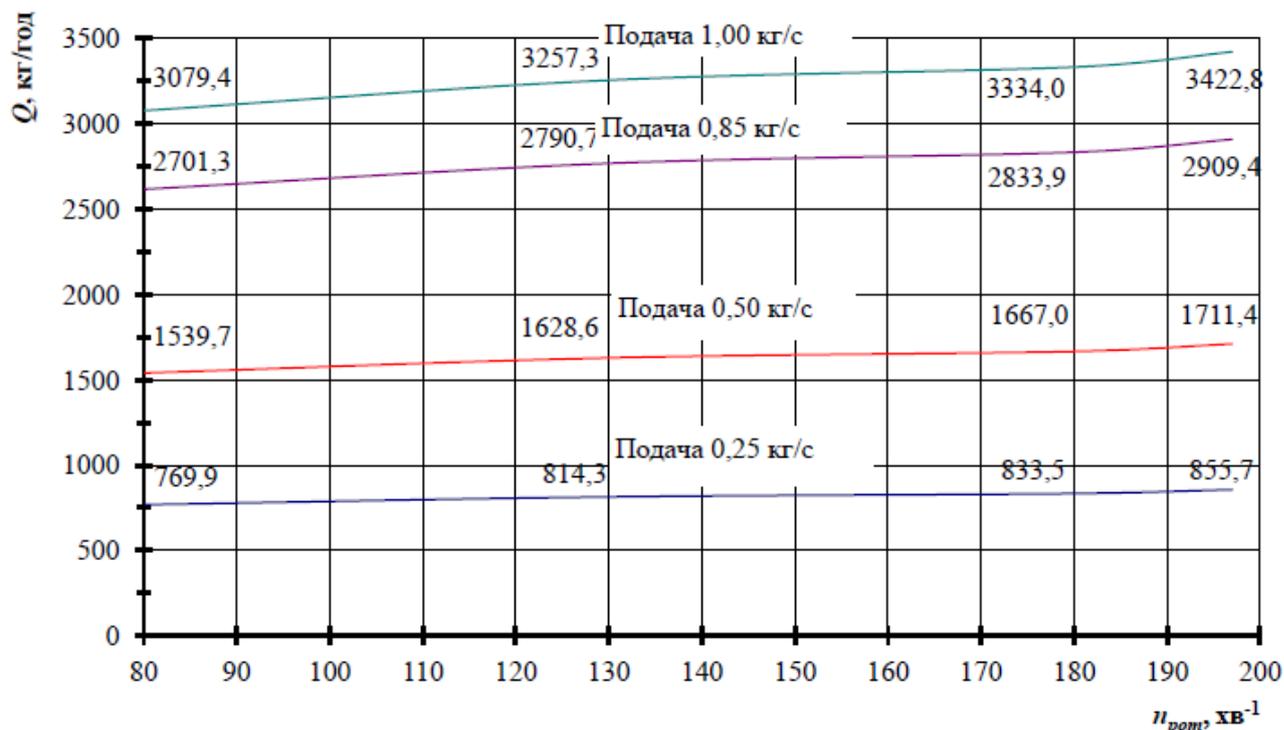


Рис. 2.7. Теоретична залежність продуктивності молотарки від частоти обертання ротора і подачі качанів в молотильній камері при використанні комплекту пружин жорсткістю 6 Н/мм

Як видно з рис. 2.7 залежність продуктивності від частоти обертання ротора і подачі качанів в молотильну камеру має майже лінійний характер. Зі збільшенням частоти обертання ротора і подачі качанів в молотильну камеру продуктивність зростає. Її зростання обмежується максимально допустимою частотою обертання ротора, при якій зерно певного цільового призначення відповідає агро вимогам.

Обмолот - один з найважливіших і енергоємних технологічних процесів при післязбиральній обробки кукурудзи. Підведена до ротора енергія витрачається на подолання опору холостого ходу і опір обмолоту.

Необхідну потужність електродвигуна для обмолоту качанів кукурудзи можна визначити за формулою [6]

$$N = K_i \cdot (N_{X-X} + N_o) / \eta, \text{ кВт}, \quad (2.66)$$

де K_i - коефіцієнт подолання інерції при пуску, $K_i = 1,05 \dots 1,2$ [5];

N_{X-X} - потужність, потрібна на холостий хід, кВт;

N_O - потужність, потрібна на обмолот, кВт;

η - К.К.Д. механізму приводу, для клинопасової передачі $\eta = 0,95$ [6].

Опір холостого ходу ротора обумовлюється тертям осі ротора в підшипниках і опором повітря.

Потужність, потрібна на холостий хід ротора, за аналогією з більним барабаном може бути визначена з виразу [6]

$$N_{X.X} = A \cdot \omega + B \cdot \omega^3, \text{ кВт}, \quad (2.67)$$

де ω - кутова швидкість ротора, с^{-1} ;

$A \cdot \omega$ - потужність, необхідна для подолання тертя в опорах, кВт;

$B \cdot \omega^3$ - потужність, необхідна для подолання опору вітру, кВт.

Опір повітря лобовим частинам ротора за допомогою обчислень визначають за методикою аеродинамічних профілів [6]. Ця методика дуже складна і трудомістка [6]. З огляду на, що опір тертя в опорах і опір вітру значно менше загального опору переміщенню качанів в молотильній камері, за аналогією з більним барабаном прийmemo: $A = 0,4 \times 10^{-3}$, $B = 0,91 \times 10^{-6}$ [6].

Знаючи загальний опір переміщенню качана в молотильній камері і продуктивність молотарки, потужність, потрібну на обмолот можна визначити за формулою [6]

$$N_O = \pm \frac{Q \cdot H}{367} + \frac{W \cdot V}{1000}, \text{ кВт}, \quad (2.68)$$

де Q – продуктивність молотарки, т/год;

H - висота підйому або опускання обмолочуючого матеріалу, м;

W - загальний опір переміщенню качана в молотильній камері, створюваний силами тертя, Н;

V - швидкість переміщення качанів в молотильній камері, м/с.

Знак мінус у формулі (2.68) ставиться тоді, коли вивантажне вікно молотарки знаходиться нижче завантажувального горловини, як показано на рис 2.2. При цьому варіанті розташування молотильної камери відбуватиметься економія енергії, що витрачається на обмолот, і покращиться відведення відокремленого зерна з молотильної камери [6].

Підставивши (2.18) в (2.68), отримаємо

$$N_O = \pm \frac{Q \cdot H}{367} + (\sin\beta \cdot (f_1 \cdot n_1 \cdot (\kappa \cdot X \cdot \cos\gamma + m_1 \cdot g \cdot \cos\alpha - m_1 \cdot \omega^2 \cdot r + \\ + \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma \cdot \cos\beta) + n \cdot f_2 \cdot m_1 \cdot g \cdot \cos\alpha) + n_1 \cdot f_1 \cdot \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma) \cdot V / 1000, \text{ кВт.} \quad (2.69)$$

В процесі переміщення в молотильній камері від качана кукурудзи відділяється зерно і оголюється стрижень, коефіцієнт тертя якого значно відрізняється від коефіцієнта тертя зерна. Врахувати це можна, підставивши у вираз (2.69) усереднене значення коефіцієнта тертя, яке визначається за формулою

$$f_{cp1} = \frac{f_1 + f_3}{2}, \quad (2.70)$$

$$f_{cp2} = \frac{f_2 + f_4}{2}, \quad (2.71)$$

де f_1 - коефіцієнт тертя зерна по сталі;

f_2 - коефіцієнт тертя зерна по зерну;

f_3 - коефіцієнт тертя стержня початку по сталі, $f_3 = 0,41$ [6];

f_4 - коефіцієнт тертя стержня початку по зерну.

Об'єднавши вирази (2.70) (2.71) і (2.69) отримаємо

$$N_O = \pm \frac{Q \cdot H}{367} + (\sin\beta \cdot (f_{cp1} \cdot n_1 \cdot (\kappa \cdot X \cdot \cos\gamma + m_1 \cdot g \cdot \cos\alpha - m_1 \cdot \omega^2 \cdot r + \\ + \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma \cdot \cos\beta) + n \cdot f_{cp2} \cdot m_1 \cdot g \cdot \cos\alpha) + n_1 \cdot f_{cp1} \cdot \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma) \cdot V / 1000, \text{ кВт.} \quad (2.72)$$

Остаточно об'єднавши вираз (2.66), (2.67) і (2.72), отримаємо вираз, для визначення необхідної потужності двигуна молотарки

$$N = K_{II} \cdot (A \cdot \omega + B \cdot \omega^3 \pm \frac{Q \cdot H}{367} + (\sin\beta \cdot (f_{cp1} \cdot n_1 \cdot (\kappa \cdot X \cdot \cos\gamma + m_1 \cdot g \cdot \cos\alpha - m_1 \cdot \omega^2 \cdot r + \\ + \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma \cdot \cos\beta) + n \cdot f_{cp2} \cdot m_1 \cdot g \cdot \cos\alpha) + n_1 \cdot f_{cp1} \cdot \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma) \cdot V / 1000 \cdot \eta, \text{ кВт.} \quad (2.73)$$

Підставивши дані в вираз (2.72), можна провести теоретичний розрахунок витрат потужності на обмолот качанів кукурудзи в залежності від режимів роботи молотарки. Отримані дані представлені в табл. 2.3. Розрахунок зроблений для горизонтального положення молотильної камери.

З вираження (2.73), максимальна теоретична потужність електродвигуна молотарки качанів кукурудзи становить 3,1 кВт. Двигун такої потужності можна використовувати при проведенні експериментальних досліджень.

Теоретична залежність витрат потужності на обмолот качанів кукурудзи від режимів роботи молотарки при використанні комплекту пружин жорсткістю 6 Н / мм представлена на рис. 2.8.

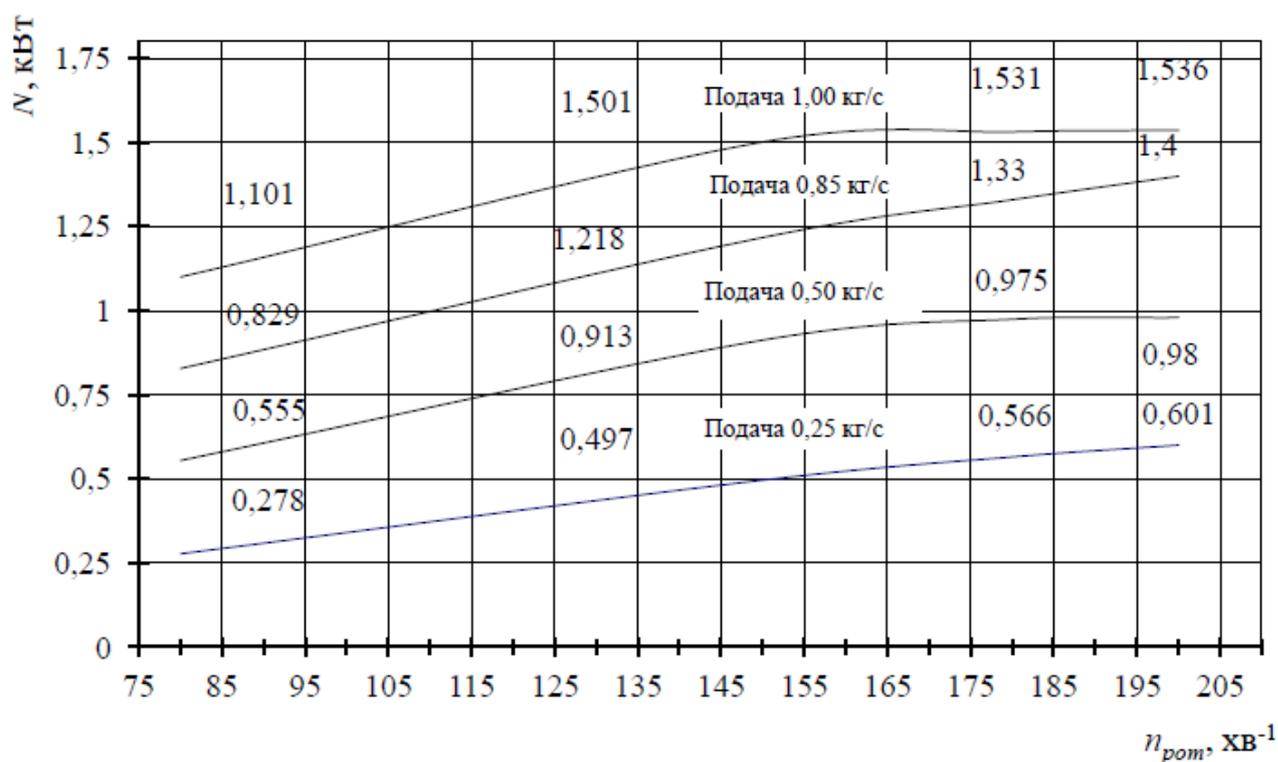


Рис. 2.8. Теоретична залежність витрат потужності на обмолот качанів кукурудзи від режимів роботи молотарки, при використанні комплекту пружин жорсткістю 6 Н/мм

Аналіз графіка (рис. 2.8) і табл. 2.3 показав, що витрати потужності на обмолот качанів кукурудзи розробляється молотаркою в значній мірі залежать від частоти обертання ротора, подачі качанів в молотильний камеру і жорсткості пружин елементів деки. Теоретично визначити раціональні значення перерахованих вище конструктивно-режимних параметрів молотарки дуже складно, так як не відомі показники якості зерна та показник недомолоту, які значно обмежують інтервали режимів роботи будь-якої молотарки качанів кукурудзи. У зв'язку з цим необхідно провести експериментальні дослідження з метою перевірки результатів розрахунку і визначення раціональних конструктивно-режимних параметрів розробленої молотарки.

Таблиця 2.3

Результати розрахунку витрат потужності на обмолот качанів кукурудзи в залежності від режимів роботи молотарки при горизонтальному розташуванні молотильної камери, кВт

Найменування показника		Значення											
Подача, кг/с		0,25			0,50			0,85			1,00		
Кількість початків, знаходящихся в молотильній камері		3			6			9			12		
Жорсткість пружин, Н/мм		4	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6	8
Частота обертання ротора, хв ⁻¹	80	0,186	0,278	0,371	0,370	0,555	0,739	0,552	0,829	1,106	0,732	1,101	1,468
	130	0,319	0,497	0,674	0,558	0,913	1,268	0,715	1,218	1,780	0,791	1,501	2,201
	180	0,355	0,568	0,781	0,549	0,975	1,401	0,587	1,450	1,866	0,468	1,531	2,199
	200	0,365	0,601	0,835	0,511	0,980	1,449	0,438	1,410	1,844	0,458	1,536	2,033

Висновки до другого розділу

1. На підставі аналізу існуючих способів, пристроїв і робочих органів молотарок качанів кукурудзи побудований структурний граф аксіально-роторної системи обмолоту і висунута робоча гіпотеза, що дозволило розробити, а також обґрунтувати конструктивно-технологічну схему молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері, побудувати її розрахункову модель функціонування і розробити функцію взаємозв'язку параметрів (2.3).

2. В результаті теоретичних досліджень отримані математичні моделі (2.42) і (2.49) дозволяють визначити теоретичні значення частоти обертання ротора, при якій забезпечуються раціональні значення сили удару качана про шип подпружиненого обмолочують елемента деки:

- для обмолоту насінневої кукурудзи частота обертання ротора не повинна перевищувати 80 хв^{-1} (швидкість качана при ударі складе до $1,35 \text{ м/с}$), при цьому сила удару качана про шип підпружиненого елемента деки не перевищить допустимого значення $P_3 \leq [P_3] = 680 \text{ Н}$, а кількість пошкоджень обмолоченого зерна буде відповідати агротребованія;

- для обмолоту продовольчої і фуражної кукурудзи частота обертання ротора повинна знаходитися в межах $80 \dots 192 \text{ хв}^{-1}$, при цьому зерно буде якісно відділятися від стрижня під дією удару об робочі поверхні в молотильній камері, а також не буде спостерігатися руйнувань стержня в поздовжній площині $P_c \leq [P_c] = 2000 \text{ Н}$.

3. Недолік ударного навантаження необхідної для якісного відділення зерна від стрижня качана кукурудзи при забезпеченні раціональних режимів обмолоту, можна компенсувати за рахунок додаткової сили тертя створюваної пружними обмолочуючого елемента деки. Раціональний інтервал сил притиснення качана до шипів складає $60 \dots 120 \text{ Н}$, який забезпечується при використанні пружин жорсткістю $4 \dots 8 \text{ Н/мм}$ і максимальному ході підпружиненого обмолочуючого елемента деки 15 мм .

4. Отримані вирази (2.65) і (2.72), для визначення основних показників роботи молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері (продуктивності і потужності, потрібної на обмолот).

5. Визначено основні параметри робочих органів молотарки качанів кукурудзи з трехсекційним деком, кожна секція якого складається з чотирьох пружних обмолочуючих елементів:

- довжина секції деки дорівнює кроку навивки шнекового ротора: $t = 0,35$ м;
- діаметр отворів підпружиненого обмолочуючого елементу деки для відводу зерна з молотильної камери: $d_{отв} = 0,015$ м;
- висота навивки ротора змінюється від 0,025 м на вході до 0,010 м на виході;
- найменший зазор між шипами підпружиненого обмолочуючого елементу деки і валом ротора змінюється від 0,035 м на вході до 0,015 м на виході;
- кут нахилу завантажувального горловини не менше 15 град;
- раціональний кут нахилу молотильної камери знаходиться в інтервалі 10...20 град;
- діаметр циліндра ротора $D = 0,32$ м;
- кількість шипів у молотильної камері $Z = 192$ штук.

6. Для підтвердження теоретичних передумов і визначення раціональних конструктивно-режимних параметрів молотарки качанів кукурудзи необхідно провести експериментальні дослідження.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МОЛОТАРКИ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ

3.1. Програма і завдання експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є підтвердження теоретичних передумов і визначення раціональних конструктивних параметрів робочих органів та режимів роботи молотарки, що забезпечують максимальну продуктивність і мінімальну енергоємність процесу обмолоту при найвищій якості обмолоченого зерна.

Розроблено програму експериментальних досліджень молотарки качанів кукурудзи основними завданнями якої були:

- вивчення впливу на роботу молотарки кукурудзи умов подачі качанів (молотильна камера знаходиться в горизонтальному положенні або під кутом до горизонту);
- оцінка витрат енергії на технологічний процес обмолоту качанів кукурудзи (потужність, потрібна на обмолот в залежності від різних конструктивно-режимних параметрів молотарки, а також від умов подачі качанів);
- вивчення впливу конструктивно-режимних параметрів молотарки (жорсткості пружин пружних обмолочують елементів деки і частоти обертання ротора) на якісні показники виконання технологічного процесу обмолоту (показник просипаємості зерна через отвори деки і недомолоту) і кількісні показники ушкоджень обмолоченого зерна кукурудзи (показник дроблення, а також макро- і мікропошкодження оболонки, ендосперму і зародка);
- оцінка продуктивності молотарки в залежності від конструктивно-режимних параметрів;
- визначення критеріїв оптимізації і діючих факторів;
- отримання математичних моделей процесу обмолоту качанів кукурудзи насінневого, продовольчого і фуражного призначення;

- визначення конструктивно-режимних параметрів молотарки, що забезпечують мінімальну енергоємність процесу обмолоту при найвищій якості зерна, методами планування багатофакторного експерименту;
- дослідження просипаємості зерна через отвори деки по її довжині.

3.2. Експериментальна установка

З метою проведення експериментальних досліджень була спроектована і виготовлена експериментальна установка, яка складалася з молотарки кукурудзи, яке живить стрічкового транспортера, яка реєструє і вимірювальної апаратури. Схема експериментальної установки показана на рис. 3.1. загальний вигляд експериментальної установки показаний на рис. 3.2.

Молотарка кукурудзи складається з рами з опорними стійками і колесами, на якій шарнірно закріплений корпус молотильної камери з системної горловиною і вивантажним лотком. Кут нахилу молотильної камери встановлюється за допомогою фіксуючого механізму. Ув'язнена в корпусі молотильна камера складається з шнекового ротора з кроком навивки 350 мм і деки. Дека складається з трьох незалежних один від одного секцій (рис. 3.3), що представляють собою конусну воронку. Довжина однієї секції становить 350 мм. Кожна секція складається з чотирьох пружних обмолочують елементів з округлими шпильками заввишки 7 мм і діаметром 20 мм. Найменший зазор між шипами подпружиненого обмолочують елемента деки і валом ротора в першій секції становив 35 мм, другий - 24 мм, третьої - 15 мм. Два нижніх елемента секції мають отвори діаметром 15 мм для відводу обмолоченого зерна з молотильної камери. Висота навивки ротора змінюється в межах від 25 мм на вході до 10 мм на виході, діаметр вала ротора становить 320 мм.

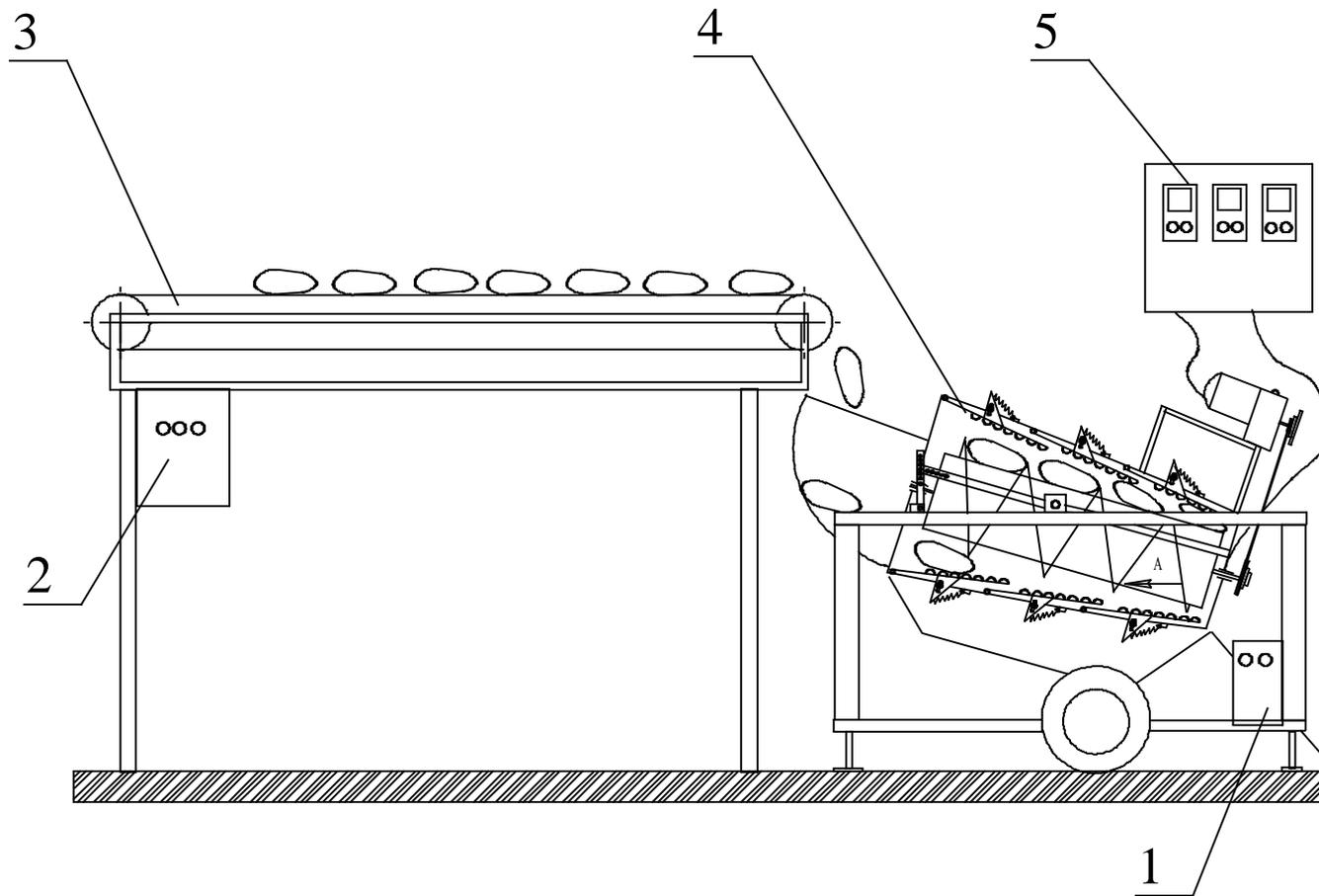


Рис. 3.1. Схема експериментальної установки:

1 - пульт управління молотаркою качанів кукурудзи; 2 - пульт управління транспортером; 3 - живильний транспортер;
4 - молотарка качанів кукурудзи; 5 - комплект реєструє і вимірювальної апаратури

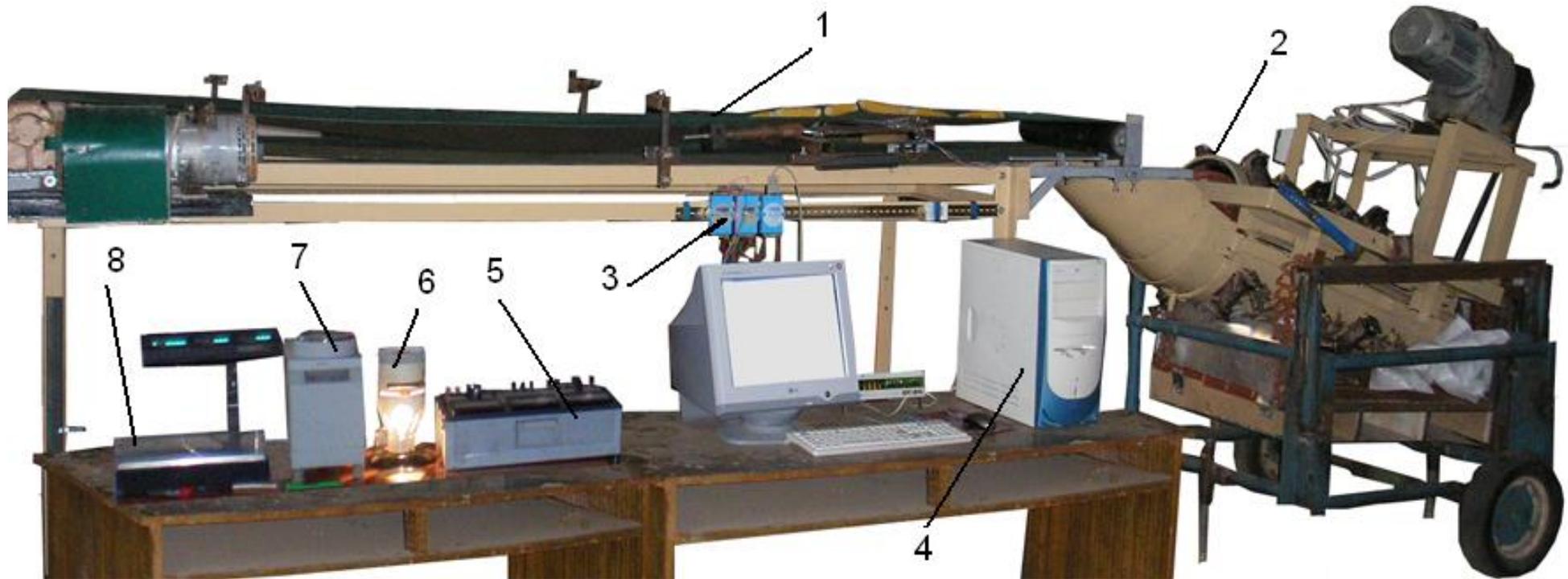


Рис. 3.2. Загальний вигляд експериментальної установки:

1 - живильний транспортер; 2 - молотарка качанів кукурудзи; 3 - система датчиків для контролю за вагою ADAM;
4 - ПЕОМ; 5 - комплект вимірювальний К-505; 6 - Діафаноскоп; 7 - ваги ВЛКТ-500М; 8 - ваги BE-15TE.2

Схема секції деки молотарки кукурудзи представлена на рис. 3.3

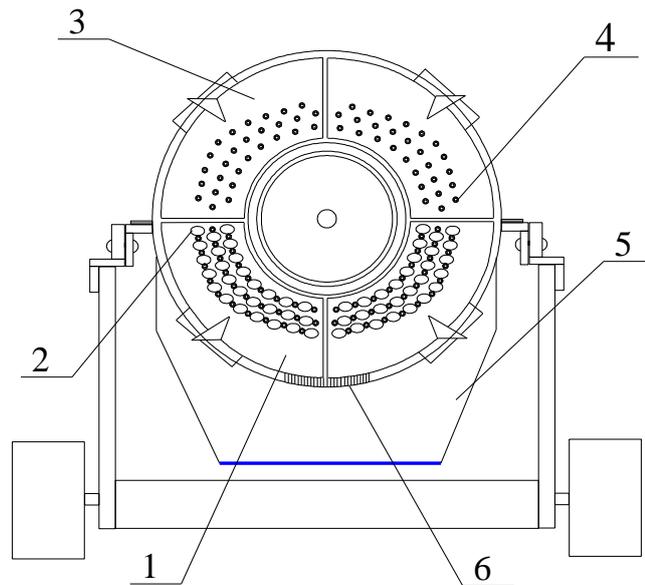
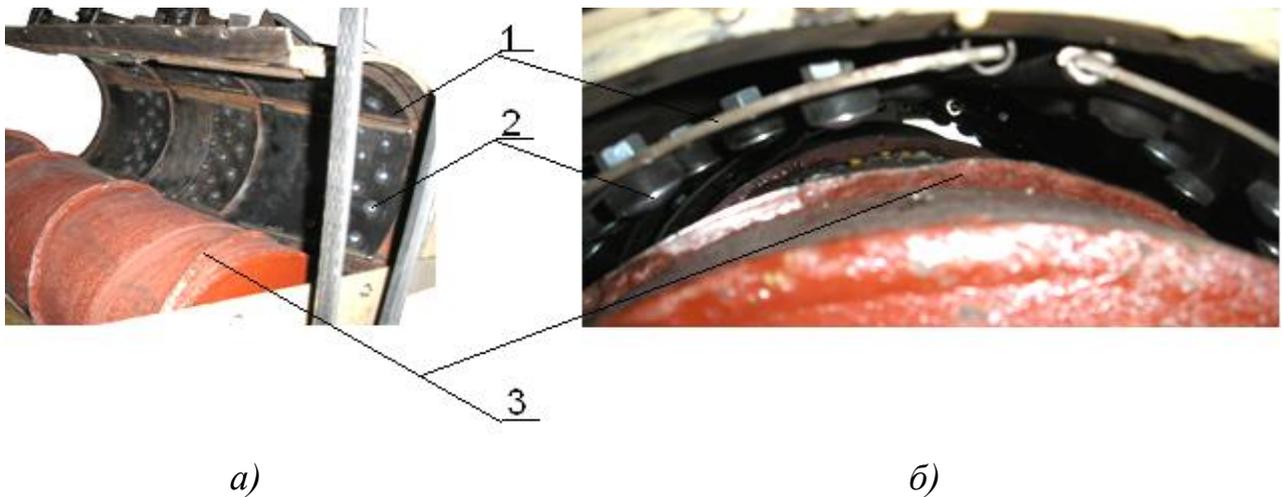


Рис. 3.3. Схема секції деки молотарки кукурудзи:

1 - нижній підпружинений обмолочуючий елемент; 2 - отвір для відводу зерна з молотильної камери; 3 - верхній підпружинений обмолочуючий елемент; 4 - шип; 5 - бункер для зерна; 6 - прорізи в корпусі для відводу зерна в бункер

Загальний вигляд молотильної камери представлений на рис. 3.4.



а)

б)

Рис. 3.4. Загальний вигляд молотильної камери:

а) верхня частина деки відкрита; б) дека в робочому положенні; 1 - пластина підпружиненої обмолочуючої деки; 2 - шип; 3 - навівка ротора

Підпружинені обмолочуючі елементи оснащені механізмами натягу пружин, хід гвинта яких становить 30 мм. Така конструкція пружних обмолочуючих елементів при заданій жорсткості пружини і максимальному її ході 15 мм дозволяє змінювати силу додаткового притискання качана до шипів в необхідному інтервалі від 60 до 120 Н.

Загальний вигляд механізму натягу пружин представлений на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Загальний вигляд механізму натягу пружин.

1 - шарнір підпружиненого елемента деки; 2 - пружина; 3 - регулювальний гвинт; 4 - плечі для кріплення пружини

Привід шнекового ротора молотарки здійснювався через клиноременну передачу від мотора-редуктора 1МЦ2С-100Н (рис. 3.6)

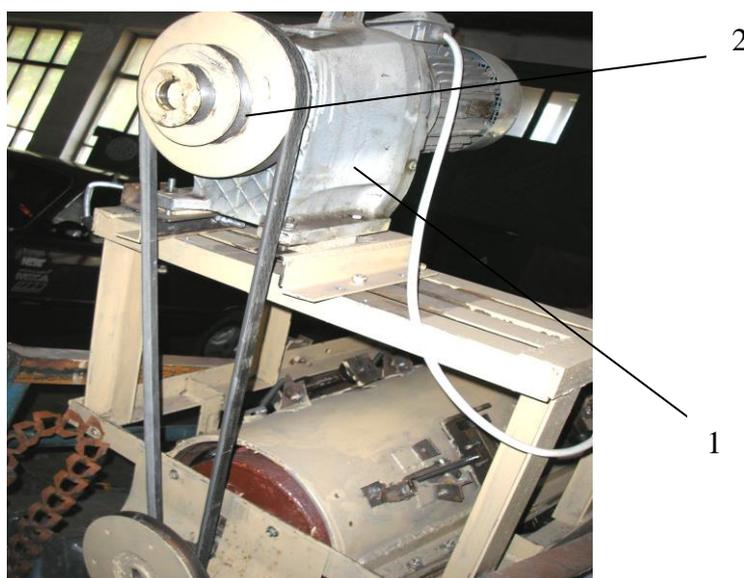


Рис. 3.6. Загальний вигляд приводу шнекового ротора молотарки качанів кукурудзи: 1 - мотор-редуктор 1МЦ2С-100Н; 2 - клиноременна передача

У ланцюг мотора-редуктора для реєстрації витрати потужності був включений комплект вимірювальний К-505, що складається з ватметра, амперметра і вольтметра.

Транспортер забезпечує рівномірність подачі качанів в молотарку. Він розташований горизонтально, має довжину 3,5 м і складається з рами, електродвигуна і стрічки, натягнутої між двома барабанами: ведучим і веденим. Привід ведучого барабана здійснювався приводний станцією за допомогою двигуна постійного струму. Зміна секундної подачі досягалася зміною швидкості стрічки транспортера і щільності укладки качанів кукурудзи на певній ділянці її довжини.

Завантажені на транспортер качани при русі стрічки, дійшовши до переднього краю, скочувалися в завантажувальну горловину молотарки.

Всі зважування в процесі експерименту проводилися на електронних вагах ВЕ-15ТЕ.2

Прилади (ваги ВЛКТ-500-М, ВЕ-15ТЕ.2 і комплект К-505) перевірені в центрі стандартизації та метрології згідно з графіком Державної перевірки. Загальний вигляд ваг, які використовуються при експериментальних дослідженнях, представлений на рис. 3.7.



Рис. 3.7. Загальний вигляд ваг, які використовуються при експериментальних дослідженнях: 1 - ВЕ-15ТЕ.2; 2 - ВЛКТ-500-М

Частота обертання ротора контролювалася тахометром годинного типу Т410-Р (похибка при вимірюванні: частоти обертання 1%; лінійних швидкостей

2%). Час проведення досвіду контролювалося стрілочним секундоміром. Устаткування для визначення потужності потрібної на обмолот і частоти рощення ротора молотарки представлено на рис. 3.8.



Рис. 3.8. Устаткування для визначення потужності потрібної на обмолот і частоти обертання ротора молотарки:

1 - комплект вимірювальний К-505; 2 - секундомір; 3 - тахометр годинникового типу Т410-Р

Перевірка відповідності жорсткості пружин паспортними даними проводилася відповідно до методики спостереження коливань пружинного маятника [9].

Подача качанів в молотильній камері контролювалася за допомогою тензометричного датчика контролю маси на гнучкій скобі фірми ADAM з реєстрацією даних на ПЕОМ.

Схема установки датчика контролю маси і перетворювачів сигналу представлена на рис. 3.9 і 3.10.

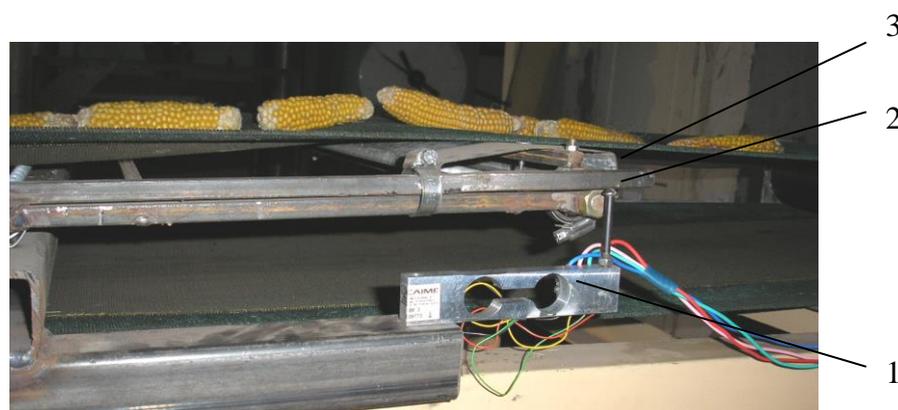


Рис. 3.9. Схема установки датчика контролю маси:

1 - датчик контролю маси; 2 - механізм передачі маси; 3 - стрічка транспортера



Рис. 3.10. Схема установки перетворювачів сигналу від датчика контролю маси:
1 - перетворювачі; 2 - транспортер; 3 - датчик контролю маси

3.3. Методика визначення механіко-технологічних властивостей качанів і зерна кукурудзи

Для того щоб обгрунтовано підійти до питання вибору раціональних конструктивно-режимних параметрів молотарки качанів кукурудзи необхідно знати механіко-технологічні властивості качанів і зерна кукурудзи. Однак аналіз робіт з вивчення механіко-технологічних властивостей качанів кукурудзи показав, що на якість відділення зерна від стрижня істотно впливає вологість зерна. Оскільки для забезпечення якісного процесу обмолоту вологість зерна кукурудзи повинна знаходитися в інтервалі 14..16% [6], то для проведення експериментальних досліджень необхідно використовувати качани кукурудзи після попередньої сушки.

Відповідність вологості зерна в качанах агровимог контролювалася за стандартною методикою [13], яка заснована на нагріванні зерна поміщеного в бюкс в сушильній шафі КС-65, витримці його на протязі 10 годин при температурі 105 °С і охолодженні в ексікаторі протягом 14 годин з наступним зважуванням на аналітичних вагах ВЛКТ-500.

Загальний вигляд обладнання для контролю вологості зерна представлений на рис. 3.11.



Рис. 3.11. Загальний вигляд обладнання для контролю вологості зерна:
1 - шафа сушильна КС-65; 2 - ексікатор; 3 - бюкс; 4 - термометр

Відносна вологість зерна кукурудзи визначалася за формулою

$$W = \frac{G_2 - G_1}{G_1 - G_0} \cdot 100\% , \quad (3.1)$$

де G_0 - маса пустого бюкса, г;

G_1 - маса бюкса з навіскою матеріалу після сушіння, г;

G_2 - маса бюкса з навіскою матеріалу до сушіння, г.

Також аналіз робіт з вивчення механіко-технологічних властивостей качанів кукурудзи показав, що недостатньо вивчено вплив міцності зв'язку зерна зі стрижнем на кількість макро- і мікропошкодження його зародка при обмолоті.

Для усунення цього недоліку була розроблена експериментальна установка (рис. 3.12) імітує реальний процес обмолоту ділянки качана кукурудзи [6].

На цій установці проводився наступний експеримент. Відбиралися сто однакових за розмірами качанів кукурудзи з фіксованою вологістю зерна 14%. Вони по черзі встановлювалися в кріплення і за допомогою приводу здійснювали 8 повних обертів при постійній частоті обертання 70 хв^{-1} . Здійснюючи обертальний рух, початок входив в звужуючий клин між кріпленням і шипами притискного обмолочуючого елемента, зміщуючи його, стискаючи пружину. Під дією зростаючої жорсткості пружини збільшувалася сила тертя качана кукурудзи

об шипи, тобто опір пересуванню, що призводило до відокремлення зерна. Потім підраховували їх число. Досліди проводилися в десятиразовій повторності.

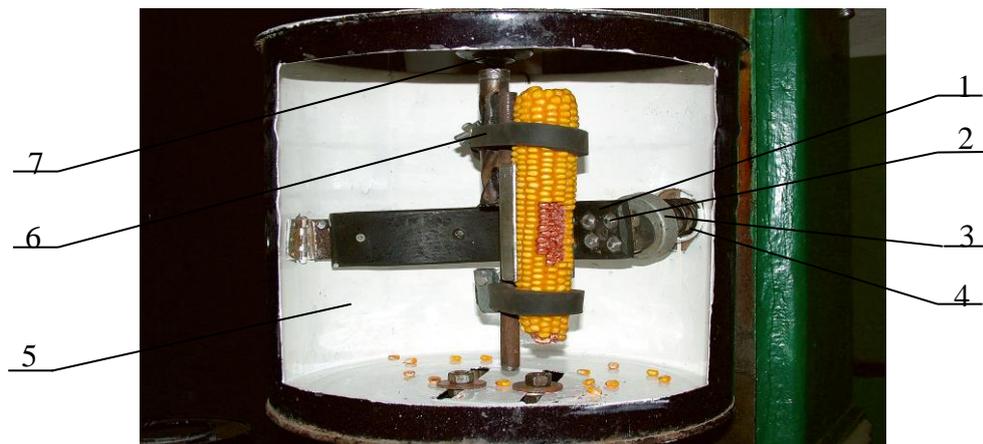


Рис. 3.12. Експериментальна установка для вивчення міцності зв'язку зерна зі стрижнем качана кукурудзи:

1 - пластина; 2 - шипи; 3 - стакан; 4 - пружина; 5 - корпус; 6 - кріплення для качана; 7 - привід

Устаткування для визначення макро- і мікропошкодження зерна кукурудзи представлено на рис 3.13.

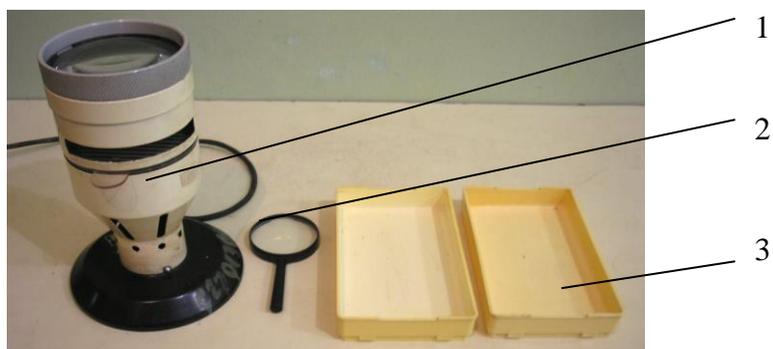


Рис. 3.13. Устаткування для визначення макро- і мікропошкодження зерна кукурудзи: 1 - діафаноскоп; 2 - лупа; 3 - лотки для фарбування зерна

3.4. Методика проведення однофакторних експериментів

Лабораторні експериментальні дослідження проводилися на основі методик проведення випробувань молотарок кукурудзи [6].

Виконані при проведенні експерименту вимірювання можна розділити на три групи:

- вимір пропускної здатності молотарки і потужності, потрібної на обмолот качанів кукурудзи;
- вимірювання якості відділення зерна від стрижня і його сепарації в молотильній камері (просипаємості зерна через отвори деки, недомолоту);
- визначення якості обмолоченого зерна (дроблення, макро- і мікропошкодження оболонки, ендосперму і зародка).

Оскільки для забезпечення якісного процесу обмолоту вологість зерна кукурудзи повинна знаходитися в інтервалі 14...16%, то для проведення експериментальних досліджень використовувалися качани кукурудзи після попередньої сушки.

Експериментальні дослідження проводилися в суху погоду. При кожній зміні погодних умов (вологості повітря) відповідність вологості зерна в качанах агровимоги контролювалися за стандартною методикою викладеною в попередньому пункті.

Вимірювання енергетичних показників роботи і пропускної здатності молотарки проводилося таким чином. Привід шнекового ротора експериментальної установки здійснювався через клиноременну передачу, від мотора-редуктора 1МЦ2С-100Н, в ланцюг якого для реєстрації витрати потужності був включений комплект вимірювальний К-505. За допомогою К-505 реєструвалася потужність, що витрачається при холостому ході і при обмолоті. Різниця цих двох значень і є потужність потрібна на обмолот.

Після того, як стрілка ваттметра К-505 показувала сталий режим холостого ходу ротора, проводилася подача качанів в молотильний камеру. Стрілка ваттметра приладу К-505 відхилялася, замерялась повна потужність, від якої віднімалися потужність, що витрачається на холостий хід. Дані заносилися в таблицю. Тривалість дослідження становила 10 секунд. За отриманими даними будувався графік.

Для визначення пропускної здатності молотарки попередньо визначалося значення подачі, що перевищує захоплюючу здатність навивки ротора молотарки при кожній частоті обертання ротора. Про це свідчило збільшення кількості качанів кукурудзи в завантажувальній горловині, що не захоплювалися навивкою ротора.

Пропускна здатність молотарки визначалася при отриманій подачі, після досягнення сталого режиму роботи молотарки, про що можна було судити за характером ходу стрілки ваттметра приладу К-505.

Доступ зерна в зерновий бункер до досягнення сталого режиму був закритий щитком, встановленим замість решета. Зерновий бункер був встановлений так, що вся маса, пройдена через молотарку, потрапляла в нього. Дослід тривав 10 секунд, потім знову бункер закривався щитком, і при закритому бункері молотарка зупинялася.

Після закінчення дослідів шляхом зважування визначалася маса матеріалу, що потрапив в бункер. Зважування проводилося на електронних вагах ВЕ-15ТЕ.2. Потім значення маси зерна поділялося на час дослідів, що дозволило визначити секундну пропускну здатність молотарки. За отриманими даними будувався графік.

Якісні показники роботи молотарки визначалися таким чином:

1. Недомолоту зерна. При обмолоті в вихідний отвір в задній частині молотарки, крім обмолочених стрижнів, потрапляють стрижні, частково вкриті зерном, а також сміття.

Для визначення недомолоту все стрижні з невідділеною зерном відбиралися від загальної маси і домолочувалися вручну. Після домолоту зерно зважувалося на вагах ВЛКТ-500-М, потім визначалося його процентне співвідношення до всього зерна. За отриманими даними будувався графік.

2. Коефіцієнт дроблення зерна. Відібрані з зернового бункера проби масою 1 кг поділялися вручну за допомогою п'яти сит з діаметром отворів 15, 12, 10, 7, 3 мм на три фракції: ціле, подрібнене зерно і сміття. Подрібнене зерно зважувалося на вагах ВЛКТ-500-М, визначалося процентне співвідношення до загальної маси

проби. Потім за процентним співвідношенням в пробі визначалося процентне співвідношення для всієї машини. За отриманими даними будувався графік.

3. Макро- і мікропошкодження оболонки, ендосперму і зародка. Визначення кількості макро- і мікропошкодження оболонки, ендосперму і зародка зерна кукурудзи проводилося для насінневої кукурудзи за методикою викладеної в [6]. Для цього з зернового бункера були взяті, за методом хрестоподібного поділу, дві окремі проби (по 200 г). Проби офарблювалися 0,5% -ним розчином конгорот протягом 3 хвилин, з наступним промиванням їх у воді і підсушуванням на фільтрувальної папері.

Висушені зерна оглядалися за допомогою Діафаноскопа і лупи 7-кратного збільшення. Відбиралися пошкоджені зерна і поділялися на чотири групи:

- зерна з вибитим зародком;
- зер з глибокими тріщинами в зародку;
- зерна з тріщинами ендосперму;
- зерна із зривами оболонок ендосперму і зародка.

Після зважування кожної групи на вагах ВЛКТ-500-М, визначалося їх процентне співвідношення до загальної ваги проби. Потім за процентним співвідношенням в пробі визначалося вага цих фракцій і процентне співвідношення для всієї машини. Отримані дані заносилися в таблицю.

4 Просипаємість зерна через отвори деки по її довжині. Для визначення впливу довжини деки на процес обмолоту, тобто для визначення необхідної довжини молотарки, зерно, що проходить через отвори деки, збиралося в зерновому бункері, встановленому під молотаркою, причому бункер був розділений на три секції. Ширина секції була прийнята рівною 0,50 м, а його довжина дорівнювала довжині одній секції деки 0,35 м. Довжина бункера дорівнювала максимальній довжині деки молотарки 1,05 м.

При різних режимах роботи молотарки шляхом зважування визначалося кількість зерна, що потрапило в кожну секцію окремо. Зважування проводилося на електронних вагах ВЕ-15ТЕ2.

Встановлювалося процентне відношення ваги зерна в кожному ящику до загальної ваги зерна, що потрапив в усі ящики. Ці дані, нанесені на графік, дають криву просипаємості зерна по довжині деки, яка характеризує роботу молотарки в залежності від частоти обертання.

Загальний вигляд трисекційного бункера представлений на рис. 3.14.



Рис. 3.14. Загальний вигляд трисекційного бункера для визначення просипаємості зерна по довжині деки

Маса вихідної проби качанів завантажуються на транспортер 1,6 кг. Статистична обробка даних, отриманих в результаті експерименту, проводилася на ПЕОМ за допомогою програми SIGMA [6]. У всіх дослідах кількість вимірювань визначалося з умови, що досвід вважається проведеним якісно, якщо відносна помилка становить не більше 5% [6]. Відносну помилку можна визначити за відомою формулою [6]

$$a = m / \chi, \% \quad (3.2)$$

де m - абсолютна похибка вимірювань;

χ - середнє арифметичне значення вимірюваної величини.

Абсолютну похибку вимірювань можна визначити за відомою формулою [6]:

$$m = \chi_i - \chi, \% \quad (3.3)$$

де χ_i – значення отримане в результаті вимірювання.

Всі виконані при проведенні експерименту вимірювання основних показників роботи молотарки кукурудзи досліджувалися в залежності від факторів наведених в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Значення факторів експериментальних досліджень

Фактор	Значення	Вихідні показники
1. Подача початку в молотильну камеру q , кг/с	0,25; 0,5; 0,85; 1,2	1. Потужність двигуна, потрібна на обмолот, кВт. 2. Пропускна здатність, кг/с. 3. Просипаємість зерна через отвори деки, %. 4. Недомолот, %. 5. Дроблення, %. 6. Макро- і мікропошкодження ендосперма і зародиш, %.
2. Частота обертання ротора $n_{рот}$, $хв^{-1}$	30; 55; 80; 105; 130; 155; 180	
3. Жорсткість пружин прижимних обмолочуючи елементів k , Н/мм	4; 6; 8	
4. Кут нахилу молотильної камери α , град	0; 10; 20; 30	

Висновки до третього розділу

1. З метою обґрунтування та оптимізації конструктивно-режимних параметрів молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері було виготовлено експериментальну молотарку з трьохсекційною декою, кожна секція якої складається з чотирьох пружних обмолочуючих елементів.

2. Для вивчення впливу конструктивно-режимних параметрів молотарки і механіко-технологічних властивостей качанів кукурудзи на технологічний процес обмолоту, розроблено програму і методика експериментальних досліджень.

3. При розробці методики експериментальних досліджень молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері використовувалися як загальновідомі, так і оригінальні і вдосконалені методики.

4. Згідно з методикою експериментальних досліджень при проведенні дослідів використовувалося стандартне і спеціально виготовлене обладнання.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Результати визначення механіко-технологічних властивостей качанів і зерна кукурудзи

Дослідження нових робочих органів молотарки качанів кукурудзи вимагає визначення і вивчення, основних механіко-технологічних властивостей: вологості зерна, міцності зв'язку зерна зі стрижнем і їх вплив на кількість макро- і мікропошкодження зародка.

Міцність зв'язку зерна зі стрижнем визначалася по залежності кількості відокремленого зерна і рівномірності його відділення з ділянки суміжних зерен, від сили впливу з боку пружин обмолочуючих пристроїв (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Залежність кількості відокремленого зерна і рівномірності його відділення з ділянки суміжних зерен, від сили впливу з боку пружин обмолочуючого пристрою

№ досліду	Кількість вимолоченого зерна, шт.				
	Жорсткість пружини, Н/мм				
	1,48	2,05	3,2	3,4	3,8
1	62	53	78	84	43
2	22	56	43	77	82
3	24	67	42	82	87
4	46	61	71	78	87
5	50	71	50	79	86
6	31	71	59	70	100
7	57	75	65	84	41
8	24	78	79	58	56
9	51	67	78	78	60
10	58	71	76	70	78
Середнє групи, X_{cp}	42,5	61,0	60,1	76,0	72,0
Середньо квадратичне відхилення, σ	15,7	21,6	17,8	13,0	20,5
Коефіцієнт варіації, V	36,5	35,5	29,6	17,5	28,4
Похибка середня, a (абсолютна)	5,0	6,3	5,8	4,1	6,5
Похибка середня, m (відносна, %)	11,7	10,7	9,4	5,0	9,0

З табл. 4.1 видно, що використання пружини жорсткістю 3,4 Н/мм в умовах обмолоту наближених до реальних, призводить до початку рівномірного відділення зерна від стрижня качана.

В результаті експериментальних досліджень механіко-технологічних властивостей качанів кукурудзи можна зробити наступні висновки:

- вивчення міцності зв'язку зерна зі стрижнем доцільно проводити в умовах наближених до реальних;

- сила зв'язку зерна зі стрижнем на ділянці суміжних зерен, в умовах наближених до реальних, що виникають в молотильній камері, долається при впливі на зерно відриває зусилля 51 Н, при цьому вологість зерна повинна відповідати агро вимогам.

- пошкодження зародка починається при подоланні опору обертанню качана 57 Н, в тих же умовах.

4.2. Результати лабораторних експериментальних досліджень

Лабораторні експериментальні дослідження аксіально-роторної молотарки качанів кукурудзи проводилися з метою підтвердження теоретичних передумов шляхом встановлення впливу частоти обертання ротора, жорсткості пружин елементів деки, подачі качанів в молотильну камеру і кута нахилу молотильної камери на пропускну здатність молотарки, енергоємність процесу обмолоту, недомолоту качанів кукурудзи, дроблення, а також макро- і мікропошкодження зерна.

Дослідження проводилися на виготовленої експериментальній установці, що дозволяє при невеликих витратах праці і часу проводити заміну пружин різної жорсткості і змінювати режими роботи молотарки.

Для експериментальних досліджень використовувався широко поширений в Хмельницькій області гібрид кукурудзи «Дар 347МВ» в качанах без обгорток. Отримані дослідні дані оброблялися методами математичної статистики і представлені графічно.

Висновки до четвертого розділу

1. В результаті попередніх експериментальних досліджень встановлено:

- для обмолоту насінневої кукурудзи:
- раціональний кут нахилу молотильної камери 10 град;
- раціональна частота обертання ротора 80 хв⁻¹;
- раціональна жорсткість пружин 6 Н/мм;
- раціональна подача качанів в молотильну камеру 0,85 кг/с;
- пропускна здатність молотарки 0,7 кг/с;
- питома енергоємність процесу обмолоту 0,3 кВт • год/т;
- комплексний показник якості обмолоту 13,9%;
- для обмолоту продовольчої і фуражної кукурудзи:
- раціональний кут нахилу молотильної камери 10 град;
- раціональна частота обертання ротора 180 хв⁻¹;
- раціональна жорсткість пружин 6 Н / мм;
- раціональна подача качанів в молотильну камеру 0,85 кг/с;
- пропускна здатність молотарки, 0,81 кг/с;
- питома енергоємність процесу обмолоту 0,55 кВт • год/т;
- комплексний показник якості обмолоту 4,2%.

2. В результаті проведення та обробки результатів багатофакторного експерименту методом Бокса-Бенкіна отримані математичні моделі в формі розкодованих рівнянь регресії другого порядку (4.2-4.5), які адекватно описують процес обмолоту качанів кукурудзи.

3. Найбільший вплив на енергоємність процесу обмолоту і якість обмолоченого зерна всіх цільових призначень надає подача качанів в молотильний камеру.

4. Проведений графоаналитический аналіз математичних моделей за допомогою двовимірних перерізів і рішення компромісного завдання показали оптимальні значення (поєднання) досліджуваних факторів:

- для насінневої кукурудзи:
- частота обертання ротора 75 хв⁻¹;
- подача качанів в молотильну камеру 0,7 кг/с;

- кут нахилу молотильної камери 10 град.
- для продовольчої і фуражної кукурудзи:
- частота обертання ротора 174 хв^{-1} ;
- подача качанів в молотильну камеру $0,78 \text{ кг/с}$;
- кут нахилу молотильної камери 11 град.

При цьому питома енергоємність процесу обмолоту насінневої кукурудзи $0,259 \text{ кВт} \cdot \text{год/т}$, а продовольчої і фуражної $0,532 \text{ кВт} \cdot \text{год/т}$.

Комплексний показник якості обмолоту насінневої кукурудзи $14,1\%$ (з урахуванням показника макро- і мікропошкодження), а продовольчої і фуражної $3,5\%$ (показник макро- і мікропошкодження не враховувався).

Продуктивність молотарки при обмолоті насінневої кукурудзи $2,52 \text{ т/год}$, а продовольчої і фуражної - $2,81 \text{ т/год}$.

4. Експериментальні дослідження впливу режимів роботи молотарки на просипаємість зерна через отвори деки по її довжині підтвердили результати теоретичних досліджень по визначенню раціональної довжини деки і показали, що для забезпечення недомолоту менше 3% необхідно застосування трьохсекційні деки із загальною довжиною $1,05 \text{ м}$.

5. Результати експериментальних досліджень підтвердили теоретичні передумови по дослідженню технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи. Розбіжність результатів експериментальних і теоретичних досліджень на встановлених раціональних режимах обмолоту насінневої кукурудзи становить 3% , а продовольчої і фуражної кукурудзи 5% .

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ МОЛОТАРКИ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ

5.1 Розрахунок економічної ефективності застосування молотарки качанів кукурудзи

Перспективність застосування молотарки качанів, здатної обмолочувати качани всіх цільових призначень, запропонованої на підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень, може бути оцінена економічною ефективністю її використання. Економічна ефективність визначається шляхом зіставлення витрат на виконання технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи новою машиною і базовим зразком.

Економічні показники нової молотарки визначалися за методикою визначення економічної ефективності використання техніки в народному господарстві [19].

В якості базового зразка (об'єкта порівняння) при розрахунку економічної ефективності нової машини була прийнята молотарка качанів кукурудзи МКП-5П. Базовий зразок, як і нова молотарка здатний обмолочувати качани всіх цільових призначень (насіннєве зерно, продовольча фуражна кукурудза).

Для визначення оптової ціни нової молотарки був застосований спрощений спосіб розрахунку оптової ціни однотипних машин за порівнянням вазі [19].

$$C_{o.n.} = C_{o.б.} \cdot \frac{m_{y.n.}}{m_{y.б.}}, \text{ грн,} \quad (5.1)$$

де $C_{o.б.}$, $C_{o.n.}$ - оптова ціна базового зразка і нової машини, відповідно, грн;

$m_{y.б.}$, $m_{y.n.}$ - маса базового зразка і нової машини відповідно, кг.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності нової молотарки качанів кукурудзи наведені в табл. 5.1.

**Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності нової
молотарки качанів кукурудзи**

Показники	Обозначення	Одиниця виміру	Значення	
			МКП-5П	Нова молотарка
1. Масса	m	кг	300	260
2. Оптова ціна	$Ц$	грн	29000	30000
3. Середньорічне навантаження	T	год	1095	1095
4. Продуктивність	Q	т/год	5	5
5. Витрачаєма потужність	N	кВт	5	4
6. Норма відрахувань:				
а) на амортизацію	P_A	%	14,20	14,20
б) на технічне обслуговування і ремонт	$P_{ТО} і P_R$	%	12	12
7. Коефіцієнт переводу оптової ціни у балансову	-	-	1,10	1,10
8. Обслуговуючий персонал	-	люди	1	1
9. Питома заробітна плата робочих	Z_n	грн/т	40	40

Економічна ефективність від впровадження нової техніки оцінюється за допомогою річного економічного ефекту і терміну окупності додаткових капіталовкладень.

Отримані вище результати, а також основні техніко-економічні показники для базової і новою молотарки качанів кукурудзи використані в якості вихідних даних для розрахунку річного економічного ефекту і терміну окупності додаткових капіталовкладень.

Результати розрахунку річного економічного ефекту представлені в табл. 5.2.

З результатів розрахунку видно, що джерелом отримання економічного ефекту є зниження витрат на електроенергію, при зниженні матеріаломісткості та енергоємності процесу обмолоту качанів кукурудзи.

Розрахунок економічної ефективності нової молотарки качанів кукурудзи в порівнянні з молотаркою МКП-5П показав:

- річний економічний ефект становить 42150 грн;
- термін окупності капіталовкладень 0,3 років.

Результати розрахунку річного економічного ефекту

Показники	Обозначення	Одиниця виміру	Значення	
			МКП-5П	Нова молотарка
1. Матеріаломісткість	$M = m / Q$	кг·год/т	60	65
2. Енергоємність	$E = N / Q$	кВт·год/т	1	0,8
3. Прямі витрати, в тому числі:	$\Pi = A + P_{mo} + E + 3n$	грн/т	53,44	53,67
- відрахування на амортизацію	$A = \frac{Ц \cdot 1,1 \cdot P_A}{Q \cdot T \cdot 100\%}$	грн/т	10,83	10,85
- відрахування на технічне обслуговування і ремонт	$P_{mo} = \frac{Ц \cdot 1,1 \cdot P_{ТОiTP}}{Q \cdot T \cdot 100\%}$	грн/т	60,99	60,72
- витрати на електроенергію	$E = (N \cdot Ц_e) / Q$	грн/т	10,62	20,1
4. Питомі капіталовкладення	$K = \frac{Ц \cdot 1,1}{Q \cdot T}$	грн/т	50,82	60,03
5. Сума приведених затрат	$C = \Pi + E_H \cdot K$	грн/т	190,26	180,49
5. Річний економічний ефект	$E_p = (C_B - C_H) \cdot Q_H \cdot T_H$	грн	-	42150
6. Термін окупності капіталовкладень	$T = K_H / E_p$	років	-	0,3

5.2. Рекомендації по використанню молотарки качанів кукурудзи у виробництві

Кукурудза одна з найважливіших сільськогосподарських культур не тільки в Україні, а й за кордоном.

Зерно кукурудзи широко використовується в харчовій промисловості будь-якої країни. Також зерно і стрижні качанів кукурудзи є високоякісним кормом для більшості сільськогосподарських тварин і птахів [21].

Важливу роль в процесі виробництва зерна кукурудзу збирає кукурудзозбиральна техніка, серед якої особливе місце займають молотарки качанів кукурудзи.

Розроблена в Подільському державному університеті молотарка качанів кукурудзи (патент України №113087) може використовуватися в наступних варіантах:

- в лініях виробництва концентрованих і грубих кормів кормоприготувального цеху (обмолот фуражної кукурудзи), причому обмолочені стрижні качанів після подрібнення можна використовувати як складовий компонент кормосуміші;

- в пунктах обмолоту насінневої кукурудзи (виробництво посівного матеріалу), а також при обмолоті продовольчої кукурудзи в лініях виробництва круп, кукурудзяної муки і т.д.

У кормовому балансі тваринницьких ферм значну частину займають корми з кукурудзи [21]. Для виробництва кормів з кукурудзи доцільно використовувати не тільки зерно, а й обмолочені стрижні качанів, так як вони мають гарні кормові якості [21].

Рекомендована схема розташування молотарки качанів кукурудзи в кормоцехах господарств представлена на рис. 5.1.

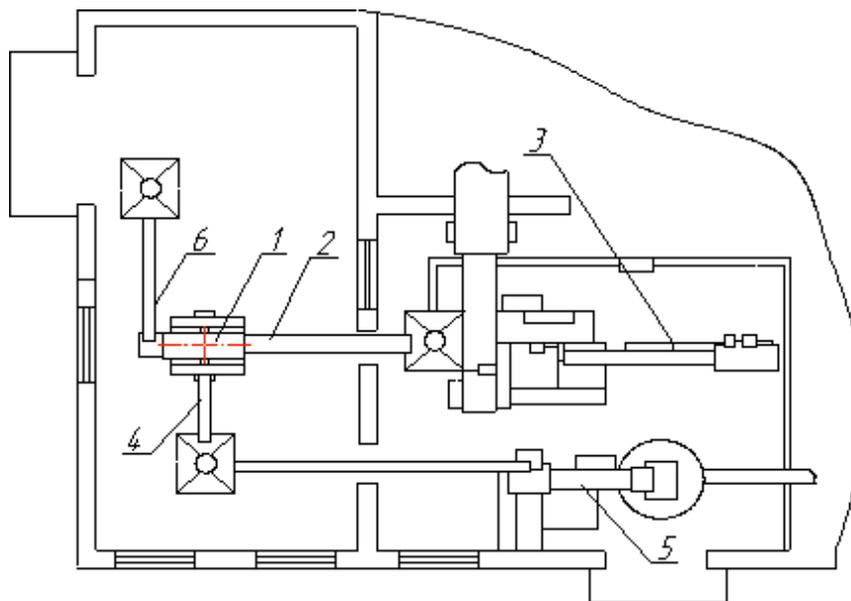


Рис. 5.1. Схема розташування молотарки качанів кукурудзи в кормоцехах господарств:

1 - молотарка качанів кукурудзи; 2 - транспортер відведення обмолочених стрижнів в лінію виробництва грубих кормів; 3 - лінія виробництва грубих кормів; 4 - транспортер відведення обмолоченого зерна в лінію виробництва концентрованих кормів; 5 - лінія виробництва концентрованих кормів; 6 - транспортер для завантаження качанів в молотарку

Рекомендовані режими обмолоту фуражної кукурудзи при використанні молотарки в лінії виробстві концентрованих кормів:

- частота обертання ротора: 174 хв^{-1} ;
- подача качанів в молотильну камеру: $0,78 \text{ кг/с}$;
- кут нахилу молотильної камери: 11 град ;
- жорсткість пружин елементів деки: 6 Н/мм .

Розроблена в Подільському державному аграрно-технічному університеті молотарка качанів кукурудзи оснащена колесами, що дозволяє легко переміщати її з кормоцеху в сховище качанів насінневого призначення.

Рекомендовані режими обмолоту насінневої кукурудзи:

- частота обертання ротора: 75 хв^{-1} ;
- подача качанів в молотильну камеру: $0,7 \text{ кг/с}$;
- кут нахилу молотильної камери: 10 град ;
- жорсткість пружин елементів деки: 6 Н/мм .

Зерно кукурудзи широко використовується в харчовій промисловості [23]. При використанні розробленої молотарки качанів кукурудзи для обмолоту продовольчої кукурудзи в лініях виробництва круп, кукурудзяної муки і т.д. Рекомендовані режими обмолоту такі ж, як і при обмолоті фуражної кукурудзи.

Рекомендації по використанню розробленої молотарки качанів кукурудзи передані керівництву ТзОВ «Адамівка Агро» Хмельницької області. Відповідне методичне забезпечення і конструкція молотарки качанів кукурудзи використовуються в навчальному процесі на кафедрі агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША ЗВО «Подільський державний університет».

Висновки до п'ятого розділу

1. При зіставленні витрат на виконання технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи нової та промислової молотарки МКП-5П економічні розрахунки показали, що економічний ефект досягається за рахунок зниження прямих експлуатаційних витрат (відрахувань на амортизацію, на ТО і поточний ремонт, витрат на електроенергію та інших витрат).

2. Застосування пропонованої молотарки качанів кукурудзи дозволить отримати річний економічний ефект 42150 грн , при цьому термін окупності додаткових капітальних вкладень складе $0,3 \text{ року}$.

3. Розроблено рекомендації щодо використання нової молотарки качанів кукурудзи в лініях виробництва концентрованих кормів, кормоприготувальних цехів (обмолот фуражної кукурудзи), в пунктах обмолоту насінневої кукурудзи (виробництво посівного матеріалу), а також при обмолоті продовольчої кукурудзи в лініях виробництва круп, кукурудзяної муки і т.д.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. На підставі аналізу проведених досліджень виявлено необхідність в розробці молотарки качанів кукурудзи з пружними робочими органами, здатної обмолочувати качани всіх цільових призначень (посівний матеріал, продовольче або фуражне зерно) відповідно до агротехнічних вимог з максимальною продуктивністю і мінімальною енерго- і матеріаломісткістю.

2. Розроблено класифікацію способів пристроїв і робочих органів молотарок і аксіально-роторної системи обмолоту качанів кукурудзи, які дозволили намітити шляхи підвищення ефективності технологічного процесу обмолоту і обґрунтувати доцільну конструктивно-технологічну схему молотарки качанів кукурудзи.

3. Розроблені математичні моделі (2.18), (2.42), (2.49), (2.65), (2.72), (3.6), (4.2-4.5) дозволяють визначити раціональні конструктивно-режимні параметри молотарки і розкривають вплив основних факторів на підвищення ефективності технологічного просування обмолоту качанів кукурудзи.

4. Експериментально-теоретичними дослідженнями встановлено:

- раціональні конструктивно-режимні параметри молотарки качанів кукурудзи:

- дека;
- трисекційні;
- довжина секції деки дорівнює кроку навивки шнекового ротора $t = 0,35$ м;
- загальна довжина деки $L = 1,05$ м;
- діаметр отворів підпружиненого обмолочуючого елемента деки для відводу зерна з молотильної камери $d = 0,015$ м;
- діаметр циліндра ротора $D = 0,32$ м;
- висота навивки ротора змінюється від $0,025$ м на вході до $0,010$ м на виході;
- найменший зазор між шипами підпружиненого обмолочуючого елемента деки і валом ротора змінюється від $0,035$ м на вході до $0,015$ м на виході;
- кут нахилу завантажувального горловини повинен бути не менше 15 град;

- кількість шипів у молотильній камері $Z = 192$ штук;

При обмолоті насіннєвої кукурудзи: частота обертання ротора 75 хв^{-1} , подача качанів в молотильну камеру $0,7 \text{ кг/с}$, кут нахилу молотильної камери 10 град. При цьому продуктивність молотарки складає $2,52 \text{ т/год}$, енергоємність процесу - $0,259 \text{ кВт} \cdot \text{год/т}$, а комплексний показник якості обмолоту - $14,1\%$ (Недомолоту менше 3% , дроблення менше $1,5\%$, показник макро- і мікропошкодження менше 10%), що відповідає агротехнічним вимогам;

- при обмолоті продовольчої і фуражної кукурудзи: частота обертання ротора 174 хв^{-1} , подача качанів в молотильну камеру $0,78 \text{ кг/с}$, кут нахилу молотильної камери 11 град. При цьому продуктивність молотарки складає $2,81 \text{ т/год}$, енергоємність процесу - $0,532 \text{ кВт} \times \text{год/т}$, а комплексний показник якості обмолоту - $3,5\%$ (недомолоту менше 3% , дроблення менше $2,5\%$, показник макро- і мікропошкодження не враховувався), що відповідає агротехнічним вимогам;

- розбіжність результатів експериментальних і теоретичних досліджень на встановлених раціональних режимах обмолоту складає $3...5\%$.

5. Розроблено конструкцію молотарки качанів кукурудзи з трохсекційною декою, кожна секція якої складається з чотирьох пружних обмолочуючих елементів, що забезпечує раціональний розподіл сил удару і тертя в молотильній камері.

6. Впровадження розробленої молотарки качанів кукурудзи в виробництво в порівнянні з молотаркою МКП-5П дозволяє отримати річний економічний ефект 4215 грн , а термін окупності капіталовкладень $0,3$ років.

7. Розроблено рекомендації щодо використання молотарки качанів кукурудзи в виробничих умовах, які передані господарствам Хмельницької області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проектування сільськогосподарських машин. Навчальний посібник для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» / І. М. Бендера, та ін.; за редакцією І. М. Бендери, Я. В. Козія. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисін О.В. 2010. 640 с.
2. Пат. № 113087 Україна, МПК (2016.01) A01F11/00, A01F11/06 (2006.01), A01F12/10, (2006.01), A01F12/18, (2006.01). Роторний пристрій для обмолоту качанів кукурудзи / Бендера І. М., Матвейцов С. Ю., Матвейцова Л. Б., Забара Є. В., Дудар М. О. (Україна). № u 2016 07186; заявл. 02.07. 2016; опубл. 10.01. 2017, Бюл. № 1. 4 с.
3. Грушецький С. М., Дудар М. О. Оптимізація організаційно-інженерного забезпечення надання послуг населенню в обмолоті качанів кукурудзи. Матеріали XI Всеукр. наук.-прак. конф. студ. та молодих науковців, “Перші наукові кроки – 2017” : зб. наук. Праць; за заг. ред. І. М. Бендери, Ю. І. Панцира, О. М. Семенова. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2017. С. 69.
4. Грушецький С. М. Дудар М. О. Аксіально-роторна система обмолоту качанів кукурудзи. Матеріали XII Всеукр. наук.-прак. конф. студ. та молодих науковців, “Перші наукові кроки – 2018” : зб. наук. Праць; за заг. ред. Ю. І. Панцира, Т. Д. Іщенко, В. І. Дуганця, О. М. Семенова. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2018. С. 58.
5. Грушецький С. М., Дудар М. О. Багатофункціональна молотарка кукурудзи для фермерських господарств. Матеріали IV Всеукр. наук.-прак. конф., “Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь” : зб. наук. праць / за заг. ред. С. С. Добранський. Житомир : АТК, 2018. С. 120-122.
6. Дудар М. О. Грушецький С. М. Розробка багатофункціональної молотарки кукурудзи для фермерських господарств : наук. роб. : 05.05.11 Харків, 2018. 73 с.
7. Войтюк Д. Г. Яцун С. С., Довжик М. Я. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Основи теорії та розрахунку : навч. посіб.; за ред. Д. Г. Войтюка. Суми : ВТД “Універська книга”, 2008. 543 с.
8. Войтюк Д. Г., Яцун С. С., Довжик М. Я. Сільськогосподарські машини. Теорія сільськогосподарських машин : практикум : навч. посіб.; за ред. С.С. Яцуна. Суми : ВТД “Універська книга”, 2008. 201 с.

9. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д. Г. Войтюк, та ін.; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с
10. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / О. М. Царенко та ін. Київ : Мета, 2003. 448 с.
11. Вольвак С.Ф., Бахарев Д.Н. Определение производительности шнековой молотилки кукурузы. Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва. Харків : ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2006. Випуск 48. С. 152-155.
12. Теорія і розрахунки зернозбиральних комбайнів. Навчальний посібник / К. І. Шмат, О. Є. Самарін, Є. І. Бондорева, О. В. Мигальов. Херсон: ОЛДІ - плюс, 2003. 256 с.
13. Кукурудзозбиральні комбайни: теоретичні основи, конструкція, проектування. Навчальний посібник / К. І. Шмат, О. Є. Самарін, Є. І. Бондорева, О. В. Мигальов. Херсон: ОЛДІ - плюс, 2003. 140 с.
14. Бізнес-планування в аграрних формуваннях : навч. посіб. / Г. Є. Мазнев та ін.; за ред. проф. Г.Є. Мазнева. Одеса: ТОВ «ЛЕРАДРУК», 2012. 250 с.
15. Іванишин В. В., Рудь А. В., Грушецький С. М. Технічне обслуговування машин і обладнання : підручник. Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ» : ТОВ «Друкарня «Рута», 2023. 360 с.
16. Експлуатація машин і обладнання : навч. посіб. / І. М. Бендера та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин Я.І., 2013. 576 с.
17. Експлуатація машин і обладнання : навч. посіб. / М. А. Ружицький, В.І. Рябець, В. М. Кіяшко та ін. Київ : Аграрна освіта, 2010. 617 с.
18. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів : технологія : підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.
19. Мельника І. І. Практикум із машиновикористання в рослинництві : навч. посіб. Київ : Кондор, 2004. 284 с.
20. Лімонт А. С. та ін. Практикум з машиновикористання в рослинництві. Київ : Кондор, 2009. 280 с.
21. Павліський В. М., Нагірний Ю. П., Мельник І. І. Проектування технологічних систем рослинництва : навч. посіб. Тернопіль : Збруч, 2003. 264 с.
22. Проектування механізованих технологічних процесів у рослинництві : навч. посіб. / І. М. Бендера та ін. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011. 556с.

23. Основи механізації сільськогосподарського вирощування : навч. посіб. / І. І. Ріпка та ін. Львів : ЛНАУ, 2013. 224 с.
24. Головчук А. Ф., Лімонт А. С., Бондаренко М. Г. Машиновикористання та екологія довкілля. Київ : Грамота, 2007. 360 с.
25. Квашук О. В. Сучасні інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур. Кам'янець-Подільський : Абетка, 2008. 482 с.
26. Технічний сервіс в АПК : навч. посіб. / С. М. Грушецький та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин Я. І., 2014. 680 с.
27. Технологія технічного обслуговування машин : навч. посіб. / Бендера І. М., Грушецький С. М., Роздорожнюк П. І., Михайлович Я. М. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2010. 320 с.
28. Нагорний Д. Є., Грушецький С. М. Конструктивно-технологічна схема молотарки качанів кукурудзи. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь* : матеріали ІХ Міжнар. наук.-прак. конф., м. Житомир, 5 квіт. 2023 р. Житомир : АТК, 2023. С. 142.
29. Нагорний Д. Є. Структурна схема аксіально-роторної системи обмолоту качанів кукурудзи. *Перші наукові кроки – 2023* : збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців (14 квітня 2023 р., м. Кам'янець-Подільський). Кам'янець-Подільський, 2023. С. 46.
30. Грушецький С. М., Семенишена Р. В., Нагорний Д. Є. Роторний пристрій для обмолоту качанів кукурудзи // *Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика. Присвячена 125-річчю кафедри рослинництва НУБІП України матеріали V міжнародної науково-практичної онлайн конференції (м. Київ, 25-27 жовтня 2023 р.)* / НУБІП України, 2023. С. 261-263.
31. Нагнибіда М. М. Структурна схема аксіально-роторної системи обмолоту качанів кукурудзи. *Перші наукові кроки – 2025: збірник наукових праць ХІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців (17 квітня 2025 р., м. Кам'янець-Подільський)*. Кам'янець-Подільський, 2025. С. 63.
32. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського вирощування : підручник. В 2 т. Т. 1 / А. В. Рудь та ін. Київ : Агроосвіта, 2012. 584 с.
33. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського вирощування : підручник. В 2 т. Т. 2 / А. В. Рудь та ін. Київ : Агроосвіта, 2012. 432 с.

34. Левицька Ю. О. та ін. Основи агрономії. Київ : Аграрна освіта, 2008. 382 с.
35. Кравченко М. С. Томашевський З. М. Практикум із землеробства. Київ : Мета, 2003.
36. Мельник А. В. Агробіологічні особливості вирощування соняшнику та ріпаку ярового в умовах Північно-Східного Лісостепу України. Аналітичний огляд та результати дослідження : монографія. Суми : Унів. кн., 2007. 228 с.
37. Типові норми продуктивності і витрати палива на передпосівному обробітку. Київ : НДІ Украгропромпродуктивність, 2005. 672 с.
38. Типові норми продуктивності і витрати палива на сівбі, садінні і догляді за посівами. Київ : НДІ Украгропромпродуктивність, 2005. 424 с.
39. Пастухов В. І Довідник з машиновикористання в землеробстві : навч. посіб. Харків : Веста, 2001. 344 с.
40. Саблук П. Т. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур. ННЦ Інститут аграрної економіки, 2005. 292 с.
41. Іванишин В. В., Рудь А. В., Грушецький С. М. Машини та обладнання в тваринництві : підручник. Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ» : ТОВ «Друкарня «Рута»., 2022. 468 с.
42. Машини і обладнання для тваринництва. / І. І.Ревенко, та ін. Ніжин : видавець ПП Лисенко М. М., 2016. 584 с.
43. Машини та обладнання для тваринництва : посібник-практикум / І. І. Ревенко та ін. Київ : Кондор, 2011. 396 с.
44. Експлуатація машин і обладнання : підручник / Іванишин В. В., Лабазюк П. П., Рудь А. В., Грушецький С. М. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Кам'янець-Подільський : ТОВ «Друкарня «Рута», 2024. 5676 с.
45. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності Н7 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, Л.С. Шелудченко, С.М. Грушецький, С.П. Комарніцький. За ред. В.І. Дуганця. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. 52 с.

ДОДАТКОК А



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
 КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ І СИСТЕМОТЕХНІКИ
 ІМЕНІ МИХАЙЛА САМОКИША

**Кваліфікаційна робота**

на тему:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБМОЛОТУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ
 ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ
 МОЛОТАРКИ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ»**

здобувач вищої освіти освітнього ступеня «Магістр»
 освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
 спеціальності 208 «Агроінженерія» денної форми навчання
НАГНИБІДА Микола Миколайович

Науковий керівник:
 кандидат технічних наук, доцент
ЗАМОЙСЬКИЙ Степан Михайлович

м. Кам'янець-Подільський, 2025 р.

МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження: підвищення ефективності технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи шляхом розробки конструкції молотарки з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері.

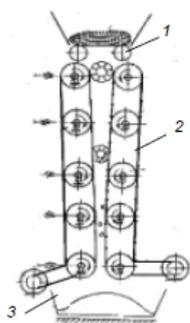
Об'єкти досліджень. Технологічний процес обмолоту качанів кукурудзи молотаркою з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері.

Предмети досліджень. Визначення закономірностей технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи молотаркою з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

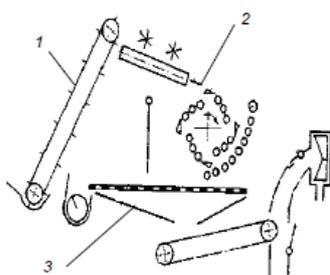
1. Провести аналіз і розробити класифікацію існуючих способів, пристроїв і робочих органів молотарок качанів кукурудзи, проаналізувати наукові праці з дослідження технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи і виявити шляхи підвищення його ефективності.
2. Розробити і обґрунтувати конструктивно-технологічну схему молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері, яка забезпечує мінімальну енергоємність процесу обмолоту і необхідну якість зерна при обмолоті качанів кукурудзи всіх цільових призначень.
3. Теоретично обґрунтувати технологічний процес обмолоту і параметри робочих органів молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері.
4. Експериментально підтвердити результати теоретичних досліджень, отримати оптимальні значення конструктивно-режимних параметрів молотарки і визначити їх вплив на ефективність технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи.
5. На основі експериментально-теоретичних досліджень розробити конструкцію молотарки качанів кукурудзи, провести її техніко-економічну оцінку і розробити рекомендації щодо ефективного використання молотарки качанів кукурудзи у виробництві.

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ОБМОЛОТУ



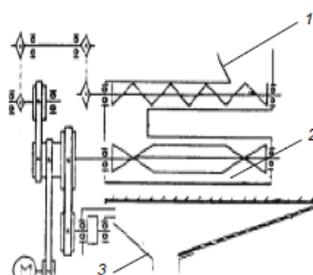
Стрічкова

1 – орієтуючі вальці;
2 – обмолочувальна перфонована стрічка;
3 – бункер.



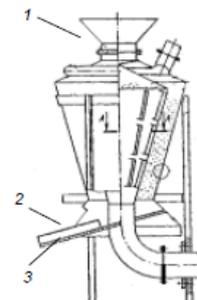
Барабанно-декова

1 – загрузний транспортер;
2 – молотильний барабан;
3 – решето.



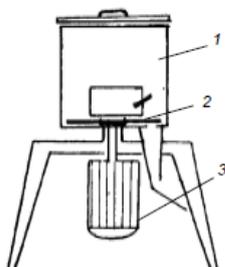
Аксіально-роторна

1 – загрузний бункер;
2 – ротор;
3 – вигрузний лоток.



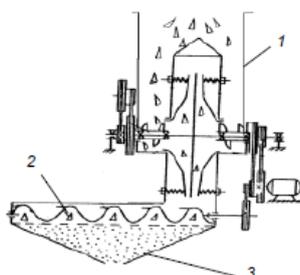
Пнеуматична

1 – воронка;
2 – загрузне вікно;
3 – сепаруюча решітка.



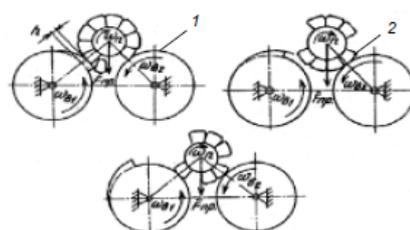
Дискова

1 – бункер;
2 – молотильний диск;
3 – електродвигун.



Комбінована

1 – бункер;
2 – сепаруючий пристрій;
3 – приймач.



Вальцова

1 – вальці;
2 – кукурудза.

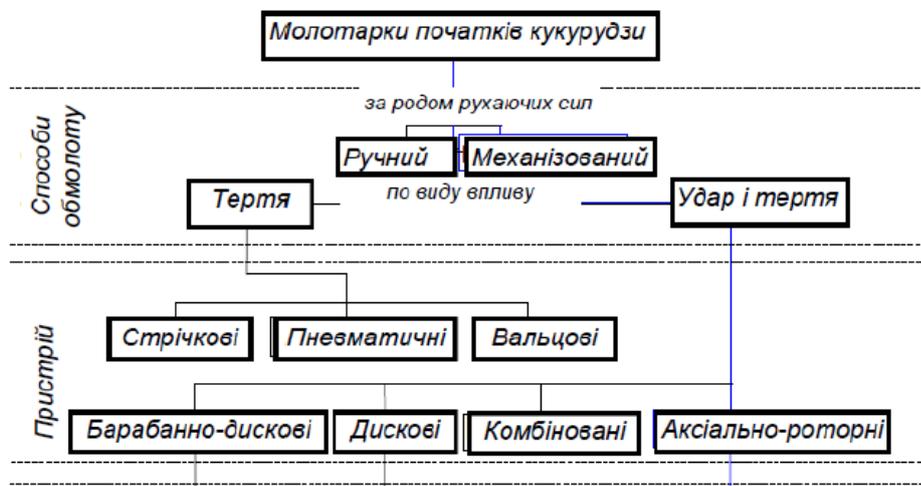
3

ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА І ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ РОТОРНИХ МОЛОТАРОК КУКУРУДЗИ

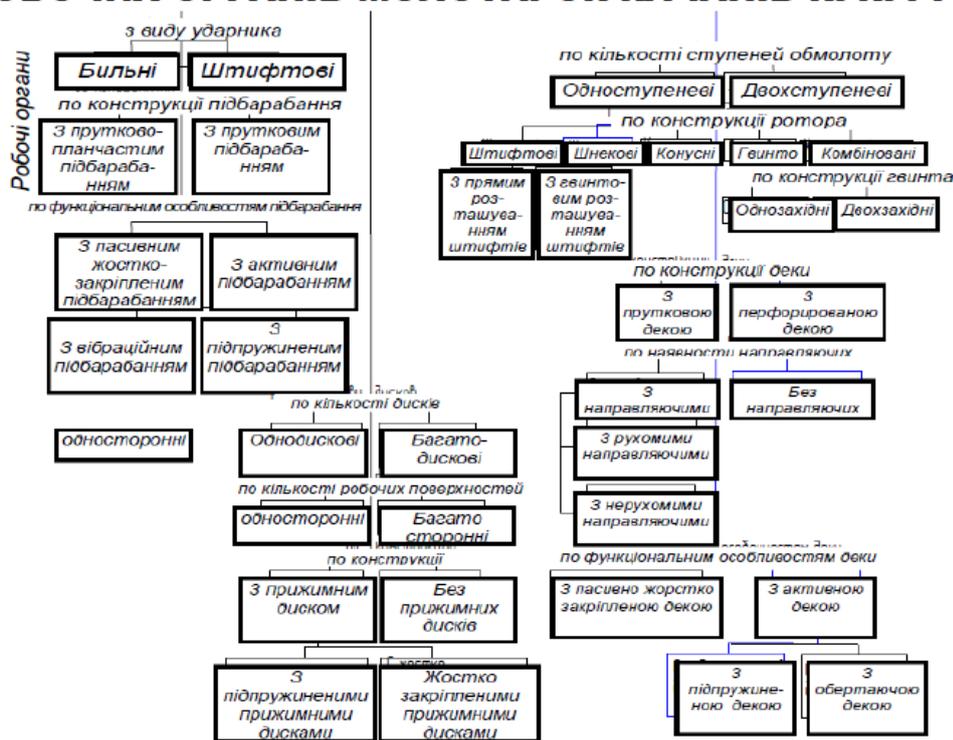
Показник	Марка молотарки качанів кукурудзи								Конусна молотарка
	МКП-3	МКП-12	МКП-30	МКПУ	ШКГ-4	НКМ	ДММ-1	ДМК-2	
Маса машини, кг	470	1550	2400	2400	900	1600	874	2067	2620
Довжина обертових частин ротора (барабана), мм	705	1128	1128	1121	850	1100	560	В-1120 Н-1120	1020
Найбільший діаметр ротора (барабана), мм	190	254	254	254	300	290	220	В-265 Н-208	Конус 300...750
Зазор в молотильній камері, мм	60	60	50	50	50	60	60	В-60 Н-40	60
Колова швидкість ротора (барабана), м/с	7,0	10,0	11,1	5,7...11,5	10,2	14,0	11,7	В-13,42 Н-10,8	8,0...22,0
Продуктивність, т/час	3,0	12...15, 4	15,4...2 2	12,0...23	7,0...11 5	7,0...9, 0	7,0...10 0	20...25	15,5...25
Потужність двигуна, кВт	5,5	21	30	30	14,0	14,0	10,0	32,8	55,0
Питома енергоємність молотарки, кВт · ч/т	1,83	1,7...1, 36	1,95...1 3	2,5...1,30	2,0...1, 22	2...1,5 6	1,43...1 0	1,6...1, 3	3,55...2,2 0
Питома матеріаломісткість молотарки, кг · ч/т	156,7	129,2... 94,5	155,8... 109,09	200... 104,3	128,6... 78,3	228,6 ... 177,8	124,9... 87,4	103,4... 82,7	168,03... 104,8
Коефіцієнт універсальності	0,66	0,33	0,33	0,33	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Узагальнений коефіцієнт відстані до цілі	-	1,208	1,741	1,238	-	-	1,933	-	-

4

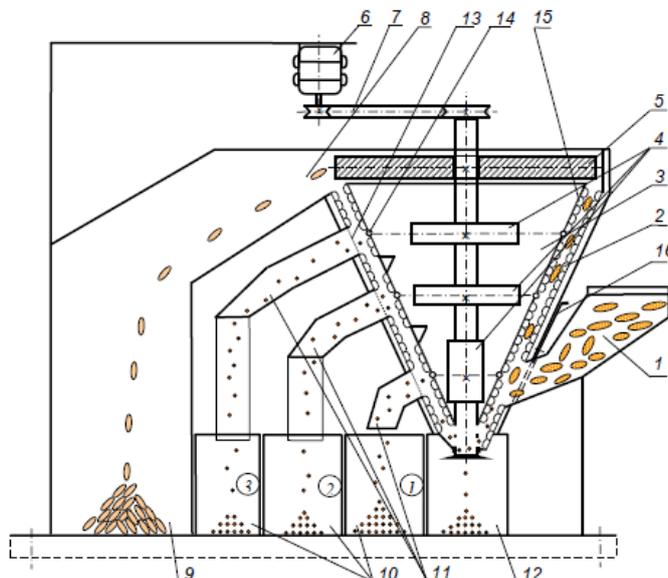
КЛАСИФІКАЦІЯ СПОСОБІВ, ПРИСТРОЇВ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ МОЛОТАРОК КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ



КЛАСИФІКАЦІЯ СПОСОБІВ, ПРИСТРОЇВ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ МОЛОТАРОК КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ



КОНСТР.-ТЕХНОЛ. СХЕМА МОЛОТАРКИ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ



1. Загрузочний лоток;
2. Корпус з протидарними елементами;
3. Конусний ротор;
4. Крилач ротора;
5. Крилач вигрузний;
6. Електродвигун;
7. Ремінна передача;
8. Вигрузний лоток;
9. Тара обмолочених качанів;
10. Поток для зерна:
 - ① – на насіння;
 - ② – продовольче;
 - ③ – на корм.
11. Поток сходу;
12. Бункер для залишків;
13. Решето;
14. Потік повітря;
15. Ударні елементи;
16. Заслінка.

Принцип роботи багатофункціональної молотарки качанів кукурудзи: качани через загрузочний лоток 1 попадають між гвинтові бичі корпуса 2, та конічного ротора 3, який отримує привід від електродвигуна 6, через ремінну передачу 7. Напряг гвинтової лінії корпуса та ротора, напрям обертання останнього сприяють руху качанів в верх по конусу з обмолотом зерна.

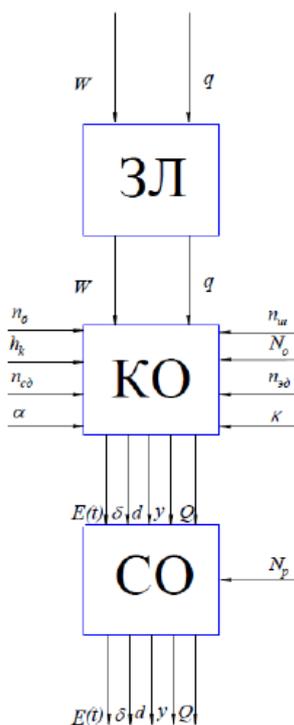
У зв'язку з різною швидкістю дії бичів на качани по висоті ротора, очікується різна ступінь пошкодження зерна.

Установка вигрузних лотків на різній висоті корпуса дозволяє отримувати зерно на насіння (лоток 1), продовольче (лоток 2), та на корм (лоток 3). Відцентровому переміщенню зерна сприяє потік повітря 14 від крилачів встановлених на валу ротора 4.

Вимолочені качани захвачують вигрузним крилачем 5 і подаються у відповідний бункер. Процес безперервний.

7

РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ МОЛОТАРКИ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ



Розрахункова модель функціонування розробленої молотарки качанів кукурудзи складається з трьох частин (ланок):

- завантажувального лотка (ЗЛ),
- камери обмолоту (КО),
- системи відводу обмолочених стрижнів і збору зерна (СО).

Сукупність цих ланок характеризує послідовність виконання операцій технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи.

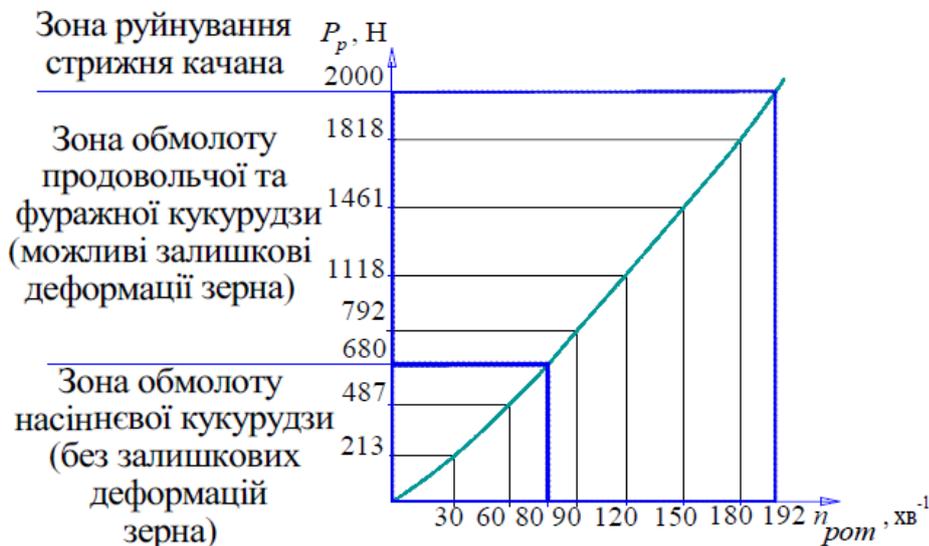
Ефективність виконання технологічного процесу обмолоту залежить від умов роботи молотарки. Задаються умови роботи можна назвати вхідними сигналами, до яких відносяться: величина подачі качанів в молотильний камеру q і їх вологість W .

В процесі роботи молотарка качанів кукурудзи (як система в цілому) реагує на вхідні сигнали. Результатом реакції є **вихідні показники**, до яких відносяться: продуктивність Q , енергоємність процесу обмолоту $E(t)$, показник недомолоту δ , ступінь дроблення зерна d , відсоток макро- і мікропошкодження y .

На вихідні показники може впливати: частота обертання ротора n_0 , зазор в молотильній камері h_k , кількість шпів n_u , кількість притискових обмолочують елементів деки n_{c0} , кількість секцій деки n_{c0} , кут нахилу молотильної камери α , жорсткість пружин елементів деки κ . Енергетичною характеристикою моделі є потужність, потрібна на обмолот N_0 і привід решета очистки N_p .

8

ТЕОРЕТИЧНА ЗАЛЕЖНІСТЬ РІВНОДЮЧОЇ СИЛИ КОСОГО УДАРУ КАЧАНА КУКУРУДЗИ ОБ ШИП ПРИТІСКОГО ЕЛЕМЕНТУ ДЕКИ ВІД ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ РОТОРА



9

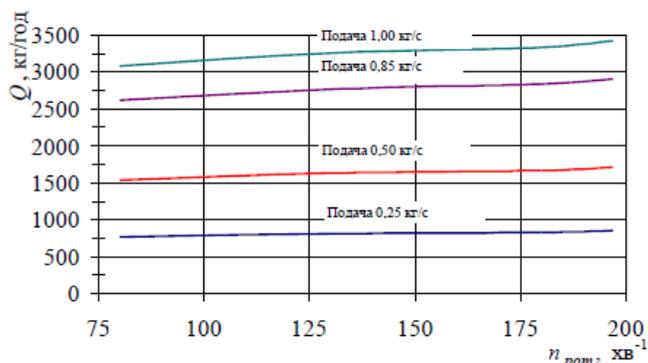
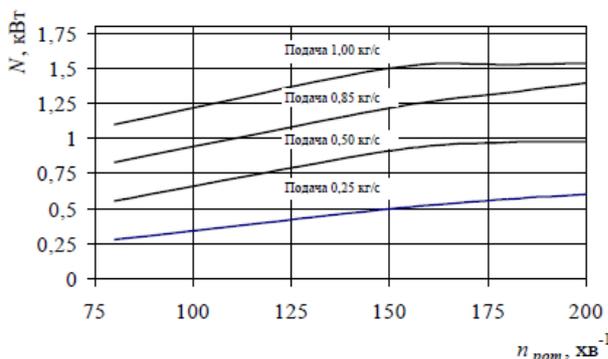
ТЕОРЕТИЧНА ЗАЛЕЖНІСТЬ

Залежність потужності, потрібної на обмолот, від конструктивно-режимних параметрів молотарки з раціональним розподілом сил удару і тертя в молотильній камері:

$$N_o = \pm \frac{Q \cdot H}{367} + (\sin\beta \cdot (f_{\phi 1} \cdot n_1 \cdot (\kappa \cdot X \cdot \cos\gamma + m_1 \cdot g \cdot \cos\alpha - m_1 \cdot \omega^2 \cdot r + \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma \cdot \cos\beta) + n \cdot f_{\phi 2} \cdot m_1 \cdot g \cdot \cos\alpha) + n_1 \cdot f_{\phi 1} \cdot \kappa \cdot X \cdot \cos\gamma) \cdot V / 1000, \text{ кВт}, \quad (1)$$

Вираз для визначення продуктивності запропонованої молотарки:

$$Q = 60 \cdot m_1 \cdot n_{\text{рот}} \cdot \mu \cdot k_p \cdot \frac{30 \cdot \sqrt{\frac{g}{r}}}{\pi \cdot n_{\text{рот}}} \cdot \left(1 - \frac{8 \cdot \sum \frac{1000 \cdot \kappa \cdot X^2}{2}}{M_p \cdot r^2 \cdot \omega^2} \right), \text{ кг/год}. \quad (2)$$



потужності, потрібної на обмолот качанів кукурудзи молотаркою з раціональним розподілом сил удару та тертя в молотильній камері, від режимів її роботи

продуктивності молотарки качанів кукурудзи з раціональним розподілом сил удару й тертя в молотильній камері від режимів її роботи

10

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ У ФОРМІ РОЗКОДОВАНИХ РІВНЯНЬ РЕГРЕСІЇ ДРУГОГО ПОРЯДКУ

В результаті проведення багатофакторного експерименту за планом Бокса-Бенкіна другого порядку одержано математичні моделі у формі розкодованих рівнянь регресії другого порядку (1-4), які адекватно описують технологічний процес обмолоту качанів кукурудзи:

– для насіннєвої кукурудзи:

$$E = 10,194467 - 0,042787 \cdot n_{\text{prom}} + 0,000129 \cdot n_{\text{prom}}^2 - 22,953333 \cdot q + 14,166667 \cdot q^2 - 0,049233 \cdot \alpha + 0,000817 \cdot \alpha^2 + 0,034000 \cdot n_{\text{prom}} \cdot q - 0,000020 \cdot n_{\text{prom}} \cdot \alpha + 0,050000 \cdot q \cdot \alpha, \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{т}; \quad (1)$$

$$\eta = 301,988333 - 1,120833 \cdot n_{\text{prom}} + 0,006133 \cdot n_{\text{prom}}^2 - 693,566667 \cdot q + 483,333333 \cdot q^2 - 0,573167 \cdot \alpha - 0,018667 \cdot \alpha^2 + 0,180000 \cdot n_{\text{prom}} \cdot q + 0,004800 \cdot n_{\text{prom}} \cdot \alpha + 0,700000 \cdot q \cdot \alpha, \%; \quad (2)$$

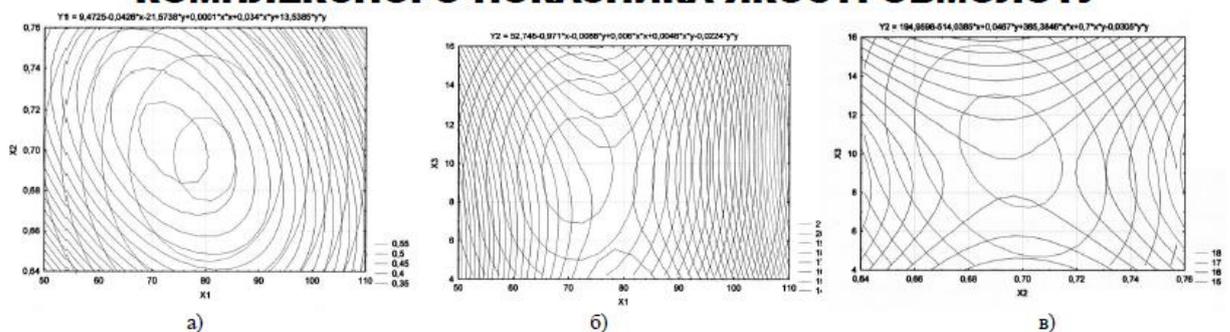
– для продовольчої та фуражної кукурудзи:

$$E = 7,564484 - 0,018498 \cdot n_{\text{prom}} + 0,000043 \cdot n_{\text{prom}}^2 - 12,343766 \cdot q + 6,718354 \cdot q^2 - 0,091535 \cdot \alpha + 0,001210 \cdot \alpha^2 + 0,004000 \cdot n_{\text{prom}} \cdot q - 0,000020 \cdot n_{\text{prom}} \cdot \alpha + 0,091203 \cdot q \cdot \alpha, \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{т}; \quad (3)$$

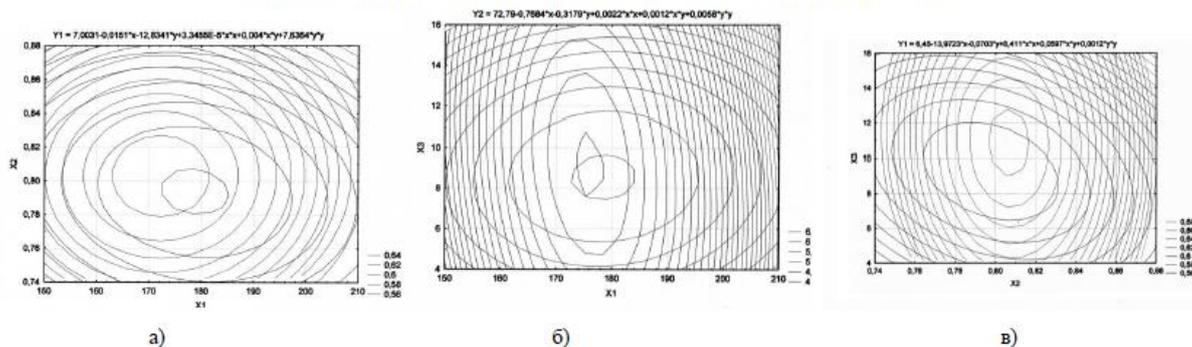
$$\eta = 256,765607 - 0,768868 \cdot n_{\text{prom}} + 0,002155 \cdot n_{\text{prom}}^2 - 439,361392 \cdot q + 262,215190 \cdot q^2 - 1,831791 \cdot \alpha + 0,009563 \cdot \alpha^2 - 0,000001 \cdot n_{\text{prom}} \cdot q + 0,001200 \cdot n_{\text{prom}} \cdot \alpha + 1,765823 \cdot q \cdot \alpha, \%; \quad (4)$$

11

ДВОМІРНІ ПЕРЕТИНИ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОЦЕСУ ОБМОЛОТУ І КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ОБМОЛОТУ



насіннєвої кукурудзи: а) X3 ($\alpha = 10$ град); б) X2 ($q = 0,70$ кг/с); в) X1 ($n = 80$ хв⁻¹)



продовольчої та фуражної кукурудзи: а) X3 ($\alpha = 10$ град); б) X2 ($q = 0,81$ кг/с); в) X1 ($n = 180$ хв⁻¹)

12

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РІЧНОГО ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ

Показники	Обозначення	Одиниця виміру	Значення	
			МКП-5П	Нова молотарка
1. Матеріаломісткість	$M = m / Q$	кг·год/т	60	65
2. Енергоємність	$E = N / Q$	кВт·год/т	1	0,8
3. Прямі витрати, в тому числі:	$\Pi = A + P_{\text{мо}} + E + 3n$	грн/т	13,44	13,67
- відрахування на амортизацію	$A = \frac{C \cdot 11 \cdot P_A}{Q \cdot T \cdot 100\%}$	грн/т	0,83	0,85
- відрахування на технічне обслуговування і ремонт	$P_{\text{мо}} = \frac{C \cdot 11 \cdot P_{\text{тотр}}}{Q \cdot T \cdot 100\%}$	грн/т	6,99	6,72
- витрати на електроенергію	$E = (N \cdot C_e) / Q$	грн/т	1,62	2,1
4. Питомі капіталовкладення	$K = \frac{C \cdot 11}{Q \cdot T}$	грн/т	5,82	6,03
5. Сума приведених затрат	$C = \Pi + E_H K$	грн/т	19,26	18,49
5. Річний економічний ефект	$E_p = (C_B - C_H) \cdot Q_H \cdot T_H$	грн	-	4215
6. Термін окупності капіталовкладень	$T = K_H / E_p$	років	-	0,3

13

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ ЗВО «ІДУ»
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ
ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «КОМПАНІЯ ЛАН»
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «БОСАЛ УКРАЇНА»

**ХІХ ВСЕУКРАЇНСЬКА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
СТУДЕНТІВ ТА
МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ**

«Перші наукові кроки – 2025»

17 жовтня 2025 р.



Кам'янець-Подільський
2025

Міністерство освіти і науки України
Ministry of Education and Science of Ukraine
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Higher Educational Institution-Podilia State University
Інженерно-технічний факультет
Faculty of Engineering and Technology
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін
Department of Technical Service and General Technical Subjects
Варшавський університет природничих наук
Warsaw University of Life Sciences
Університет прикладних наук у Тарнові
University of Applied Sciences in Tarnow
Краківський сільськогосподарський університет імені Гуго Коллодотта
University of Agriculture in Krakow
Державна академія прикладних наук у Хелмі
State Academy of Applied Sciences in Chelm
Міжнародна академія прикладних наук в Ломжі
International Academy of Applied Sciences in Lomza
Інститут механіки та автоматизації агропромислового виробництва
Institute of Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production of the
Національної академії аграрних наук України
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
Вінницький національний аграрний університет
Vinnytsia National Agrarian University

**«Сучасні технології та технічний сервіс:
ВИКЛИКИ І МОЖЛИВОСТІ»**
**«Modern Technologies and Technical Service:
Challenges and Opportunities»**

**ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ
CONFERENCE PROCEEDINGS**

1 Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції
1st International Scientific and Practical Internet Conference



16 жовтня 2025 року
October 16, 2025
м. Кам'янець-Подільський
Kamianets-Podilskyi

14

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. На підставі аналізу проведених досліджень виявлено необхідність розробки молотарки качанів кукурудзи з підпружиненими робочими органами, здатної обмолочувати качани всіх цільових призначень (посівний матеріал, продовольче та фуражне зерно) відповідно до агротехнічних вимог із максимальною продуктивністю і мінімальними енергоємністю та матеріаломісткістю.
2. Розроблені класифікація способів, пристроїв і робочих органів молотарок та структурний граф аксіально-роторної системи обмолоту качанів кукурудзи дозволили намітити шляхи підвищення ефективності технологічного процесу обмолоту та розробити і обґрунтувати доцільну конструктивно-технологічну схему молотарки качанів кукурудзи.
3. Розроблені математичні моделі (1), (2), (3), (4), (7), (9 - 13) дозволяють визначити раціональні конструктивно-режимні параметри молотарки та розкривають вплив основних факторів на підвищення ефективності технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи.
4. Експериментально-теоретичними дослідженнями встановлено:
 - раціональні конструктивно-режимні параметри молотарки качанів кукурудзи:
 - висота навівки ротора змінюється від 0,025 м на вході до 0,010 м на виході;
 - найменший зазор між шипами притискного елемента деки і валом ротора змінюється від 0,035 м на вході до 0,015 м на виході;
 - кут нахилу завантажувальної горловини повинен бути не менше 15 град;
 - кількість шипів у молотильній камері $Z = 192$ штук;
 - при обмолоті насінневої кукурудзи: частота обертання ротора 75 хв^{-1} , подача качанів у молотильну камеру $0,7 \text{ кг/с}$, кут нахилу молотильної камери 10 град. При цьому продуктивність молотарки складає $2,52 \text{ т/год}$, енергоємність процесу $- 0,259 \text{ кВт-год/т}$, а комплексний показник якості обмолоту $- 14,1\%$ (недомолот менше 3% , подрібнення зерна менше $1,5\%$, показник макро- та мікротравмування зерна менше 10%), що відповідає агротехнічним вимогам;
 - під час обмолоту продовольчої та фуражної кукурудзи: частота обертання ротора 174 хв^{-1} , подача качанів у молотильну камеру $0,78 \text{ кг/с}$, кут нахилу молотильної камери 11 град. При цьому продуктивність молотарки складає $2,81 \text{ т/год}$, енергоємність процесу $- 0,532 \text{ кВт-год/т}$, а комплексний показник якості обмолоту $- 3,5\%$ (недомолот менше 3% , подрібнення зерна менше $2,5\%$, показник макро- та мікротравмування не оцінювався), що відповідає агротехнічним вимогам;
 - розбіжність результатів експериментальних і теоретичних досліджень при встановлених раціональних конструктивно-режимних параметрах дорівнює $3...5\%$.
5. Розроблено конструкцію молотарки качанів кукурудзи з трисекційною декою, кожна секція якої складається з чотирьох притискних елементів, що забезпечує раціональний розподіл сил удару і тертя в молотильній камері.
6. Впровадження розробленої молотарки качанів кукурудзи в виробництво в порівнянні з молотаркою МКП-5П дозволяє отримати річний економічний ефект 4215 грн, а термін окупності капіталовкладень $0,3$ років.
7. Розроблено рекомендації щодо використання молотарки качанів кукурудзи в виробничих умовах, які передані господарствам Хмельницької області.

ДОДАТОК Б

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ ЗВО «ПДУ»
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ
ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «КОМПАНІЯ ЛАН»
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «БОСАЛ УКРАЇНА»

**ХІХ ВСЕУКРАЇНСЬКА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
СТУДЕНТІВ ТА
МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ**

«Перші наукові кроки – 2025»

17 квітня 2025 р.



*Кам'янець-Подільський
2025*



Міністерство освіти і науки України
Ministry of Education and Science of Ukraine
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Higher Educational Institution «Podillia State University»



Інженерно-технічний факультет
Faculty of Engineering and Technology
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін
Department of Technical Service and General Technical Subjects

Варшавський університет природничих наук
Warsaw University of Life Sciences

Університет прикладних наук у Тарнові
University of Applied Sciences in Tarnow

Краківський сільськогосподарський університет імені Гуго Коллонтая
University of Agriculture in Krakow

Державна академія прикладних наук у Хелмі
State Academy of Applied Sciences in Chelm

Міжнародна академія прикладних наук в Ломжі
International Academy of Applied Sciences in Lomza

Інститут механіки та автоматизації агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України
Institute of Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production of the
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Вінницький національний аграрний університет
Vinnitsia National Agrarian University

**«Сучасні технології та технічний сервіс:
ВИКЛИКИ І МОЖЛИВОСТІ»**

**«Modern Technologies and Technical Service:
Challenges and Opportunities»**

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ CONFERENCE PROCEEDINGS

**I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції
1st International Scientific and Practical Internet Conference**



16 жовтня 2025 року
October 16, 2025

м. Кам'янець-Подільський
Kamianets-Podilskyi

СТРУКТУРНА СХЕМА АКСІАЛЬНО-РОТОРНОЇ СИСТЕМИ ОБМОЛОТУ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ

Нагнибіда М.М. – здобувач вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія»
Керівник – канд. техн. наук, доцент Грушецький С.М.

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»



У процесі виробництва зерна кукурудзи найбільш трудомістким є збирання врожаю 60...80% від загальних затрат праці. Останнім етапом збирання кукурудзи є обмолот качанів, якість якого характеризується двома основними показниками – травмування зерна та недомолот качанів [1].

З проблемою обмолоту качанів зіштовхуються як невеликі фермерські підприємства так просте населення. У невеликих агроформувань не вистачає коштів для закупівлі нової техніки, то що вже й говорити про простих селян. Відповідно назріла проблема розвитку невеликих за потужністю пунктів обмолоту, для надання послуг по обмолоту качанів кукурудзи. Як показує світовий досвід що, найбільш продуктивні підприємства приватної власності.

Вибрати раціональну конструктивно-технологічну схему молотарки можна застосувавши методи системного аналізу, а саме побудувавши структурний граф аксіально-роторної системи обмолоту качанів кукурудзи (рис. 1).

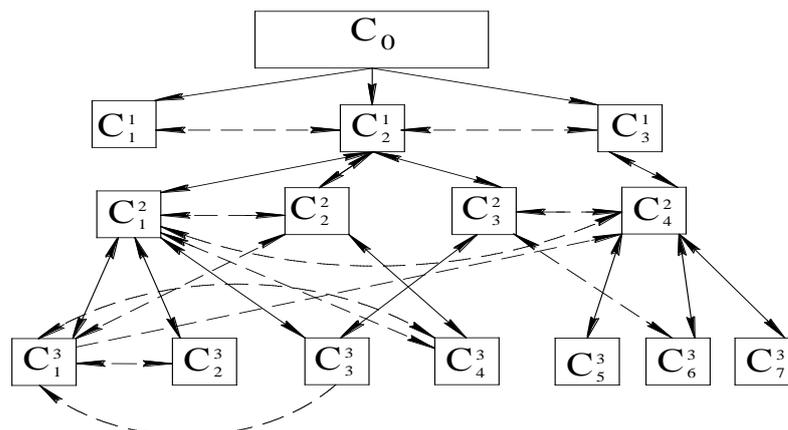


Рис. 1. Структурна схема аксіально-роторної системи обмолоту качанів кукурудзи:

—————> – відносини підпорядкування і підлеглості;

-----> – відношення взаємодії;

C_1^1 – завантажувальний лоток; C_2^1 – камера обмолоту; C_3^1 – зерновий бункер; C_1^2 – дека; C_2^2 – ротор; C_3^2 – механізм приводу; C_4^2 – повітряна очищення; C_1^3 – додаткові пристрої деки; C_2^3 – засувка вивантажного вікна; C_3^3 – механізм приводу деки; C_4^3 – додаткові пристрої ротора; C_5^3 – решето; C_6^3 – вентилятор; C_7^3 – система вивантаження обмолоченого зерна; C_7^3 – лоток для відводу обмолочених стрижнів

Висновки. З структурної схеми графа випливає, що максимальна кількість взаємодій з різними елементами конструкцій молотарок належить деці C_1^2 і її додатковим пристроям C_1^3 . Виходячи з цього можна висунути припущення, що удосконалення деки і її додаткових елементів підвищить ефективність виконання технологічного процесу обмолоту качанів кукурудзи.

Список використаних джерел

1. Грушецький С.М., Дудар М.О. Багатофункціональна молотарка кукурудзи для фермерських господарств. «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». Житомир : АТК, 2018. С. 120-122.