

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Гірш Андрій Федорович

УДК 631.363

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНО-
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЖИВИЛЬНОГО
ПРИСТРОЮ ПЛЮЩИЛИ ЗЕРНА**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Гірш А.Ф.

Керівник роботи

Білецький В.Р.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Гірш Андрій Федорович. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів живильного пристрою плющили зерна. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

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

В магістерській роботі розроблено конструктивно-технологічну схему плющилки зерна з живильним пристроєм, що містить раму, живильний бункер із вікном і регулювальною заслінкою, канал для подавання зерна на плющення, живильний валець із лопатями, вальці для плющення лівий і правий. Лівий валець встановлений на нерухомих опорах, а правий – на рамі з можливістю повороту для аварійного відводу від лівого вальця і для регулювання міжвальцьового зазору. Приводи вальців здійснюються від електродвигуна клиноремінними передачами.

Проведено експериментальні дослідження технологічного процесу плющення зерна плющилкою з живильним пристроєм, що підтверджують теоретичні передумови: при надходженні зерна до зони плющення зі швидкістю, що дорівнює або близька до окружної швидкості вальців для плющення, процес плющення є найефективнішим, пропускна спроможність плющилки – найбільша за найменших питомих енерговитрат.

Встановлено оптимальні конструктивно-технологічні параметри живильного пристрою плющилки зерна: частота обертання вальця живильного пристрою $n = 810...855 \text{ хв}^{-1}$, висота встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення $h = 320...332 \text{ мм}$ і діаметр вальця 0,2 м. Величини цих оптимальних параметрів визначають найбільшу пропускну спроможність 1,24...1,26 т/год за найменших питомих енерговитрат 3,86 кВт-год/т.

Ключові слова: валець, живильний пристрій, плющення, параметри.

ANNOTATION

Hirsch Andrey Fedorovich. Optimisation of design and technological parameters of the grain flattening feeder. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the master's thesis, a design and technological scheme of a grain flattener with a feeding device was developed, which includes a frame, a feed hopper with a window and a control flap, a channel for feeding grain for flattening, a feeding roller with blades, and left and right flattening rollers. The left roller is mounted on fixed supports, and the right roller is mounted on a frame with the possibility of rotation for emergency withdrawal from the left roller and for adjusting the inter-roll gap. The rolls are driven by V-belt drives from an electric motor.

Experimental studies of the technological process of grain flattening with a feeding device have been carried out, which confirm the theoretical premises: when grain enters the flattening zone at a speed equal to or close to the circumferential speed of the flattening rollers, the flattening process is the most efficient, the throughput of the flattener is the largest at the lowest specific energy consumption.

The optimal design and technological parameters of the feeding device of the grain flattener were determined: the frequency of rotation of the feeding device roller $n = 810...855 \text{ min}^{-1}$, the height of the feeding roller relative to the working area of the flattening $h = 320...332 \text{ mm}$ and the diameter of the roller 0.2 m . The values of these optimal parameters determine the highest throughput capacity of $1.24...1.26 \text{ t/h}$ at the lowest specific energy consumption of 3.86 kWh/t .

Keywords: roller, feeding device, flattening, parameters.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ПРИГОТУВАННЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ КОРМІВ ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ МАШИН ДЛЯ ПЛЮЩЕННЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА.....	8
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	27
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	33
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Знизити витрати під час виробництва кормів, що становлять у собівартості продукції тваринництва 60...75 %, можливо за рахунок поліпшення їхньої якості, підвищуючи перетравність і засвоюваність, тим самим забезпечуючи тварин повноцінними, збалансованими за поживними речовинами, кормами.

Один із способів збереження поживності та збільшення перетравності зерна - використання технології плющення зерна, якщо зерно вологе то, зберігання його в герметичних баштах, траншеях і рукавах, якщо сухе то, подальше згодовування його тваринам. Використання технологій і машин для їх здійснення (плющилок зерна) забезпечує зниження витрат на виробництво і зберігання корму до 30 % і підвищує прирости тварин на 5...10 % при згодовуванні їм плющеного зерна.

Проведений аналіз патентної та науково-технічної літератури за досліджуваною проблемою дав змогу визначити напрями досліджень щодо вдосконалення машини для здійснення технологічного процесу плющення зерна – плющилки зерна та підтвердив актуальність робіт за обраною тематикою.

Об'єкт дослідження – технологічний процес плющення зерна.

Предмет дослідження – взаємозв'язок конструктивно-технологічних параметрів живильного пристрою лопатевого типу плющили зерна з якістю плющення зерна та енергетичною ефективністю.

Метою роботи є підвищення ефективності робочого процесу плющилки зерна шляхом оптимізації конструктивно-технологічних параметрів її живильного пристрою лопатевого типу. Відповідно до мети роботи поставлено такі завдання дослідження:

- розробити конструктивно-технологічну схему плющилки зерна з живильним пристроєм лопатевого типу для подачі зернового матеріалу до робочої зони плющилки зерна;

- провести дослідження з обґрунтування оптимальної конструктивно-технологічної схеми живильного пристрою плющилки зерна.

Методи наукового дослідження. Методика досліджень передбачала розробку передумов, що визначають оптимальну конструкцію живильного пристрою плющилки зерна. Відповідно до плану досліджень визначали його основні параметри під час подавання фуражного зерна до робочої зони плющилки, а також ефективність розробленого живильного пристрою, при цьому проводили його експериментальну перевірку у виробничих умовах.

Експериментальні дослідження проводили за стандартними та розробленими приватними методиками. Під час реалізації, підготовки та опрацювання результатів експериментів застосовували методи математичної статистики та теорії планування багатофакторного експерименту.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Гірш А.Ф.** Огляд технологій приготування концентрованих кормів. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 180-182.

2. Білецький В. Р., **Гірш А.Ф.** Розробка конструктивно-технологічної схеми плющили сухого та вологого зерна. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 53-55.

3. Білецький В. Р., **Гірш А.Ф.** Конструкції та класифікація живильних пристроїв плющилок зерна. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для виробництва представляє конструктивно-технологічна схема плющилки зерна з живильним пристроєм.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 52 сторінки комп'ютерного тексту, містить 29 рисунків та 11 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ПРИГОТУВАННЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ КОРМІВ ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ МАШИН ДЛЯ ПЛЮЩЕННЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

Нині зростання цін на енергоресурси призводить до необхідності вдосконалення наявних і розроблення нових прийомів переробки та приготування до згодовування фуражного зерна, яке є основним компонентом концентрованих кормів [16].

Загалом в Україні фуражне зерно займає 50...80 % у структурі кормового балансу різних груп сільськогосподарських тварин, однак за згодовування його в не переробленому вигляді засвоюваність поживних компонентів травними системами становить лише 40...60 % [16].

Під час підготовки зерна до згодовування (починаючи від збирання), що проводиться за різними технологіями, найраціональніший варіант використання технології має відповідати максимальній кількості поживних речовин, що перебувають у рослині та засвоюються тваринами, і мінімальних витрат енергії на підготовку даного корму до згодовування [16].

Відомо що, технологія – це процес перетворення вихідного матеріалу на матеріал із заздалегідь заданими властивостями, а стосовно фуражного зерна - це процес одержання із зернового вороху, сухого або вологого, після обмолоту комбайна готового до згодовування корму. Виходячи з цього, технологію обробки зернової купи треба будувати не як суму окремих операцій, а як єдиний процес перетворення зерна на корм, у кожній операції якого змінюється низка властивостей матеріалу [16].

У світовій практиці комбікормового виробництва існує безліч технологій і способів переробки фуражного зерна. З них найбільш застосовуваними методами є підсмажування, екструдкування, мікронізація, високо- і низькотемпературне сушіння зерна з подальшим подрібненням молотковими дробарками,

гідротермічна обробка з подальшим плющенням, консервування вологого цільного зерна з подальшим плющенням або плющення з одночасним внесенням консерванту, а також плющення сухого зерна [16].

Застосування згаданих способів і технологій потребує використання спеціальних технічних засобів, машин, а також допоміжного обладнання.

Однією з найпоширеніших технологій переробки фуражного зерна є технологія сушіння та подальшого подрібнення в дробарках для підготовки висушеного зерна до згодовування. Найбільш енергоємним процесом післязбиральної обробки фуражного зерна є сушіння. Післязбиральне сушіння зерна зумовлене його підвищеною вологістю в період збирання, що досягає 30 %. Зерно такої вологості дуже швидко нагрівається, вкривається пліснявою, майже повністю втрачає поживну цінність. На сушіння 1 т зерна вологістю 30...35 % витрачається до 30 л рідкого палива. Щорічно на токах країни просушується понад 60 млн т вологого фуражного зерна, витрачається близько 2 млн т палива [16].

При цьому витрата енергії на дроблення висушеного зерна сягає 20...25 кВт-год/т для різних видів зернових культур. Зі збільшенням вологості зернового матеріалу вище 15 % енергоємність дроблення зростає, а технологічна ефективність процесу (продуктивність, ступінь подрібнення та її стабільність) значно знижуються. Встановлено, що збільшення вологості зерна, що подрібнюється дробаркою, з 15 % до 27 % призводить до зниження пропускної спроможності в 2,5...3,0 раза, ступінь подрібнення зменшується в 1,3...1,6 раза, а енергоємність збільшується з 7...9 до 21...23 кВт-год/т.

Використання технології плющення зерна є ресурсозберігаючою порівняно з традиційними методами дроблення кормів [16].

Плющення зерна – один із раціональних способів переробки як сухого, так і вологого зерна для згодовування, за якого забезпечується висока якість корму.

Підготовлений для згодовування сільськогосподарським тваринам корм має відповідати зоотехнічним вимогам відповідних стандартів або технічних умов на

корми. Ефективність корму буде тим вищою, чим більше він відповідає за своїми фізико-механічними властивостями та вмістом поживних речовин потребам тварин [16].

Концентровані корми, що містять велику кількість поживних речовин (зернофуражні злаки, бобові культури, макуха тощо), перед згодовуванням піддають механічній обробці - подрібненню. Завдяки подрібненню сировини істотно підвищується загальна поверхня частинок корму, що сприяє кращому травному процесу в організмі сільськогосподарських тварин. Крім цього, у зернових і зернобобових культур руйнується оболонка, яка перешкоджає впливу травних ферментів на решту частин зерна [16].

Перетравлюваність плющеного ячменю на 25...33 % більша, ніж подрібненого, а прирости за годівлі бичків пластівцями завтовшки 0,7 мм були на 5 % більшими, ніж за згодовування пластівців завтовшки 2 мм. Максимальна перетравність досягається за годівлі тварин подрібненим зерном з абсорбційним числом (ступенем подрібнення) 0,9...1,0. Останнє визначається як відношення кількості води, абсорбованої 100 г зерна, вміщеного в 200 г води і перемішаного протягом 10 хв, до кількості сухої речовини, що міститься в зерні [16].

За різних способів підготовки можлива нерівномірна переробка окремих зерен, спричинена не тільки їх різною якістю, а й нерівномірним зволоженням, що вирівнюється в процесі відволожування, нерівномірним пропарюванням тощо [16].

Фізико-механічні властивості зерна значно впливають на показники робочого процесу плющення, причому збільшення вологості сприяє підвищенню пластичності матеріалу, що має знижувати енергоємність процесу, підвищувати пропускну здатність і якість готового продукту. Вони істотно змінюються залежно від культури, сорту й особливо вологості зерна. У підсумку, дослідження робочого процесу плющення необхідно проводити на зерні різних культур і за різної вологості вихідного матеріалу, тому що показники процесу будуть різними залежно від цих факторів [16].

Плющення і консервування фуражного зерна, як способу підготовки до згодовування, що дає змогу значно підвищити ефективність його переробки та продуктивність тварин, яким згодовують плющені корми, широко практикують у Німеччині, Швеції, Англії, США, Угорщині, Болгарії, а у нашій країні поки що застосовують недостатньо [16].

У загальному вигляді технологія переробки зернового вороху для отримання готового корму (плющеного зерна) містить такі технологічні операції:

- обмолот і завантаження зерна в транспортний засіб;
- транспортування і вивантаження зерна;
- завантаження зерна в плющилку;
- плющення зерна;
- внесення і змішування консерванту з плющеним зерном;
- відвантаження в транспорт або сховище, завантаження в сховище або в поліетиленовий рукав;
- розрівнювання та ущільнення отриманого корму в сховищі;
- укріття і герметизація корму [16].

Залежно від виробничих умов застосовуваної технології ці операції можуть об'єднуватися, а деякі мінятися місцями [16].

Нині відомі такі технології та створені на їхній основі технологічні лінії виробництва плющеного корму для різних груп тварин, як із вологого, так і сухого зернового матеріалу, що наведені на рис. 1.1.

Обмолочене зерно безпосередньо в полі завантажують у плющилку зерна, в якій проводять його плющення та обробку консервантом (для вологого зерна), потім транспортують на склад, закладають на зберігання і герметизують. Перевагою цієї схеми є скорочення кількості вантажно-розвантажувальних операцій, а до недоліків можна віднести випаровування консерванту під час транспортування корму до місця закладки, що знижує якість корму.

Технологія плющення фуражного зерна з подальшим внесенням у нього консерванту (для вологого зерна) на стаціонарному пункті (рис. 1.3) на даний час

є найбільш вживаною як для виробництва вологого, так і сухого плющеного корму.

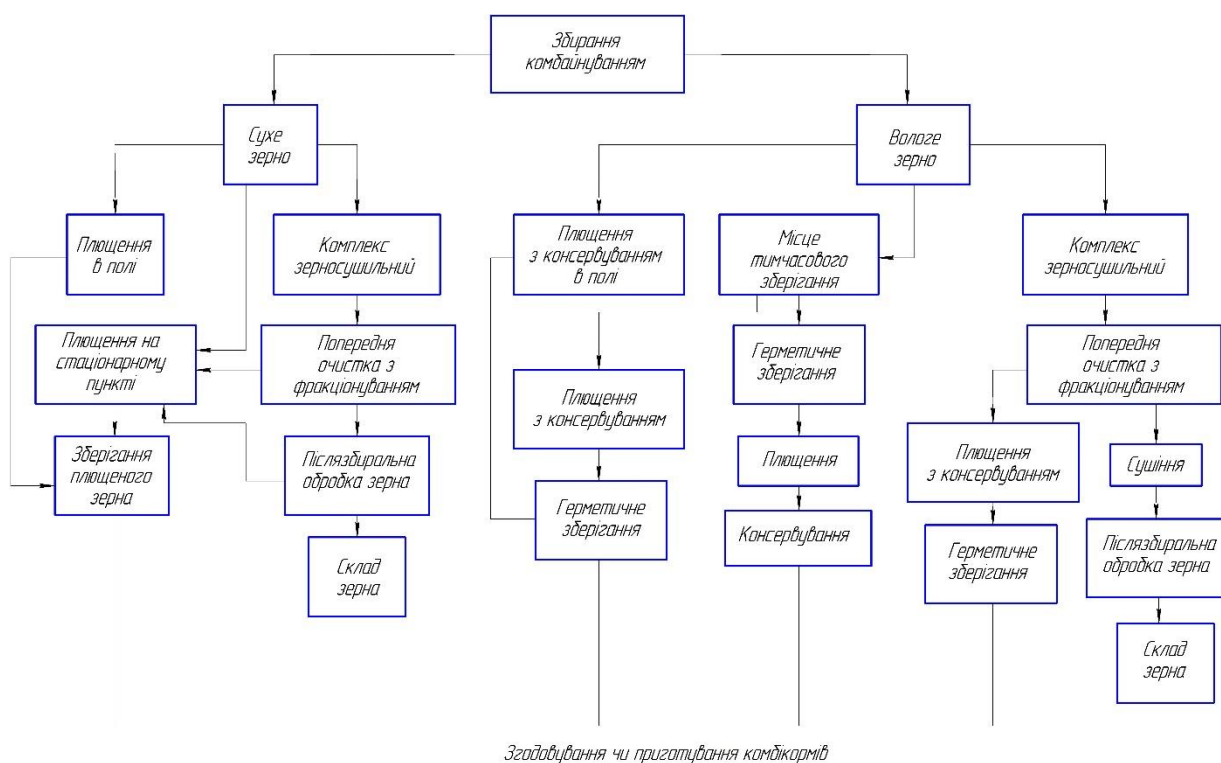


Рис. 1.1. Технології переробки фуражного зерна плющенням

Технологія плющення фуражного зерна з подальшим внесенням консерванту (для вологого зерна) у полі (рис. 1.2) полягає в наступному.

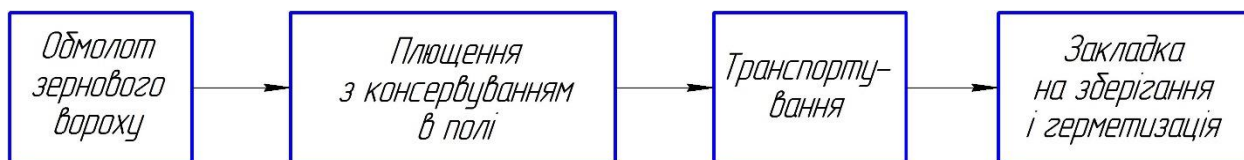


Рис. 1.2. Схема виробництва плющеного фуражного зерна в полі



Рис. 1.3. Технологічна схема виробництва плющеного фуражного зерна на стаціонарному пункті

Розглянута схема технологічної лінії дає змогу отримати високу продуктивність і якість одержуваного продукту завдяки застосуванню на

стаціонарному пункті різного допоміжного обладнання та раціональної організації технологічного процесу.

Застосування цих способів переробки фуражного зерна виключає зі списку технологічних операцій сушку, а збільшення вологості сприяє зниженню витрат на процес плющення. Експерименти з плющення вологого зерна показали, що збільшення вологості ячменю з 17 до 35 % призводить до зниження зусилля на деформацію в 2,6...3,0 раз. Зі зростанням вологості зерна вище 32 % зниження зусилля на деформацію відбувається незначно, що підтверджується проведеними дослідженнями. У зерна вологістю, близькою до кондиційної (14 %), енергоємність плющення різних культур значно відрізняється одна від одної. Під час переробки вологого зерна спостерігається великий розкид значень енергоємності процесу плющення різних культур. За значного збільшення вологості внутрішні зв'язки складових зерна послаблюються, що під час плющення призводить до більш швидкого розриву не тільки зернової оболонки, а й до руйнування ендосперма. Це сприяє зниженню енергоємності для плющення всіх фуражних зернових культур.

Технологія плющення та консервування фуражного зерна в поліетиленовий рукав ("фінська технологія") (рис. 1.4), представляє окремий випадок технології плющення фуражного зерна з подальшим внесенням у нього консерванту на стаціонарному пункті та укладанням отриманого таким чином корму в поліетиленовий рукав.



Рис. 1.4. Технологічна схема виробництва плющеного фуражного зерна на стаціонарному пункті з укладанням у поліетиленовий рукав.

Вищевказана схема виробництва плющеного фуражного зерна є найбільш економічно ефективною за рахунок того, що технологічні операції з плющення, консервації, укладання корму в рукав і переміщення агрегату "плющилка зерна +

трактор" (привід плющилки здійснюється від трактора) по майданчику у міру заповнення рукава кормом виконує плющилка зерна.

Технологія плющення сухого фуражного зерна на стаціонарному пункті (рис. 1.5) на даний час є найбільш вживаною для виробництва плющеного корму.

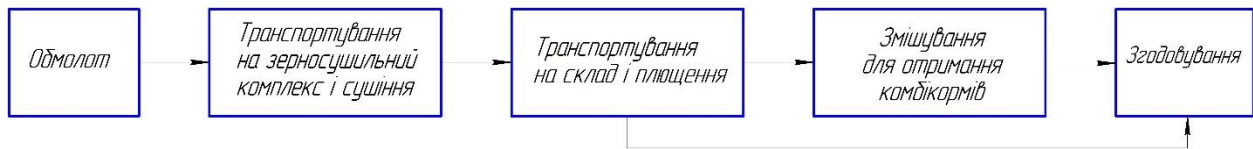


Рис. 1.5. Технологічна схема виробництва плющеного сухого фуражного зерна на стаціонарному пункті.

Розглянута схема технологічної лінії дає змогу отримати високу продуктивність і якість одержуваного продукту завдяки застосуванню на стаціонарному пункті різного допоміжного устаткування, раціональній організації технологічного процесу та подальшому згодовуванню плющеного зерна тваринам. Перевагою даної схеми є виключення деяких операцій: внесення та змішування консерванту із зерном; розрівнювання та ущільнення отриманого корму у сховищі; укриття та герметизація сховища; і безпосереднє згодовування корму тваринам, а недоліком - присутність найбільш енергоємної операції, сушіння фуражного зерна.

Таким чином, ми можемо зробити висновок, що виключення витратних операцій під час виробництва і подальшого згодовування плющеного зерна тваринам, або приготування комбікормів, призводить до зменшення енергоємності всього процесу приготування цього виду корму, порівняно з іншими, наприклад, подрібнення та плющення вологого зерна з внесенням консерванту.

Для виконання технологічних операцій плющення та консервування зернового матеріалу розроблено та виробляють пристрої для їхнього здійснення – плющилки зерна (рис. 1.6), сфера застосування яких визначається особливостями конструкції.

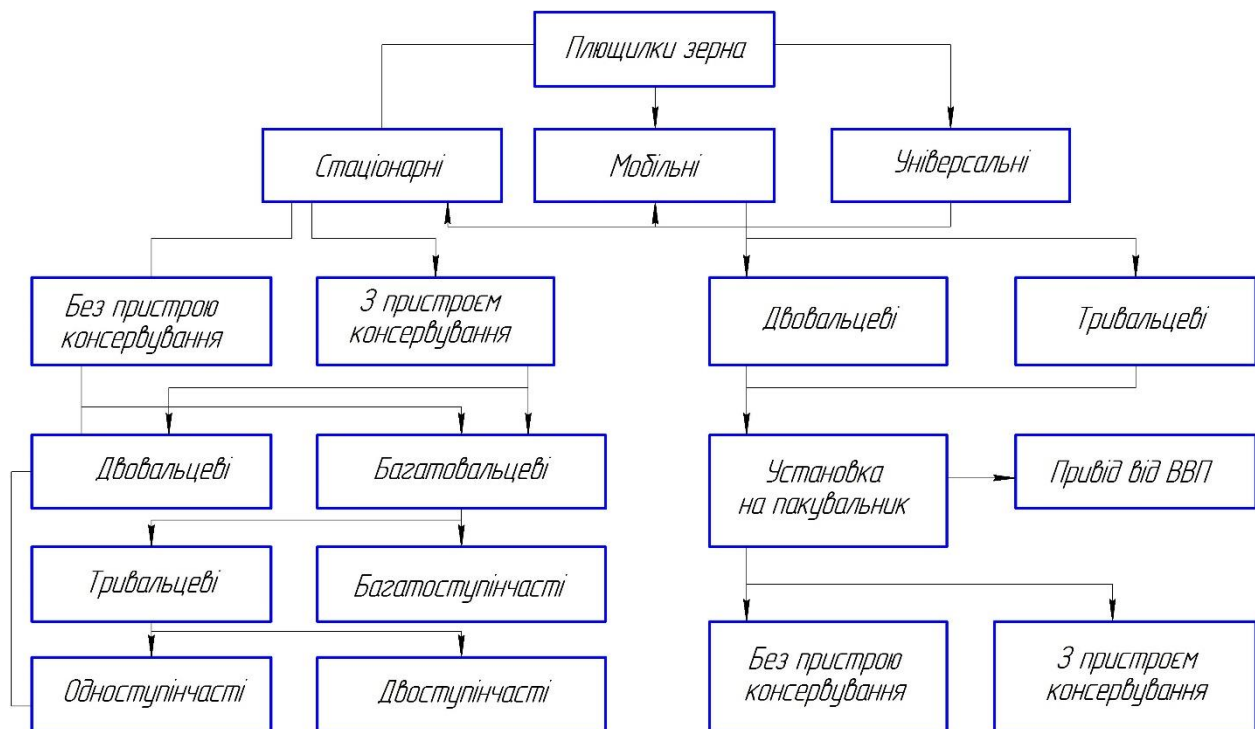


Рис. 1.6. Класифікація пристроїв для плющення та консервування зерна

Основні виробники і марки машин: вальцьові плющилки "Murska 350 S2, 700 S2, 1000 HD S2, 1400 S2×2, 2000 S 2×2" пропускною спроможністю 1 ... 40 т/год (фірма "Aimo Kortteen Конераја Оу", Фінляндія); плющилки типу М1, М2, М2 PLUS, М300, М600 і М900 пропускною спроможністю 1,2 ... 40 т/год чеського виробництва (ROmiLL); серії ПЗ-1, ПЗ-2 (ТОВ "Доза-Агро"), ПЗ-3-П (Україна); ПЗ-350, ПЗ-700 (ТОВ "АгроПоставка"); ПЗ-10 ("Лузька сільгосптехніка"); "Корм-10" (ВАТ "Одесакорм") тощо.

Усі плющилки зерна цих фірм поділяються на два типи: мобільні та стаціонарні. Для технології плющення та консервування зернового матеріалу в полі виробляють мобільні двохвальцьові плющилки зерна з приводом від ВВП трактора.

Плющилки вальцьові "Murska" представлені на рис. 1.7.

Вальцьові плющилки Murska розроблено спеціально для плющення вологого зерна (зібраного на стадії молочно-воскової стиглості за вологості 35...40 %, коли поживна цінність зернових найвища) з одночасним консервуванням, вальцьові млини Murska дають змогу одержувати корм із високою поживною цінністю за

умови істотної економії трудових, енергетичних і фінансових ресурсів, технічні характеристики плющилок фірми Murska наведено в таблиці 1.1.



Рис. 1.7. Murska 1400 S2×2 і 2000 S2×2 з пакувальним виходом, додатково з елеватором і Murska 1000 HD S2 з елеватором

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики плющилок фірми "Murska"

Найменування показника	Модель	
	Murska 2000 S2x2	Murska 1000 HD S2
Продуктивність, кг/год	30000.40000	15000.20000
Споживана потужність: від ВВП трактора	85...150	30...75
Ємність бункера, літрів	1600	380
Габарити, мм	1700×2350×2600	1050×1150 x 1450
Маса, кг	2100	750
Ширина вальців, мм	2200	1200
Діаметр вальців, мм	400	400

Вальцьові плющилки ROmiLL представлено на рис. 1.8, виробничі параметри – в табл. 1.2.



Рис. 1.8. Вальцьові плющилки ROmiLL M1 і ROmiLL M2

Таблиця 1.2 – Виробничі параметри плющилок фірми "ROmiLL"

Виробничі параметри	Плющилка RomiLL M1	Плющилка RomiLL M2
Споживана потужність: від ВВП трактора,	70	140
Потужність обробки (дрібний продукт),	7600...16000	18000...30000
Потужність обробки (грубий продукт), кг/год	16000...21000	31000...41000
Вага, кг	2250	5700

Чеська компанія ROmiLL виробляє все необхідне обладнання для плющення зерна. Головна перевага плющилок зерна ROmiLL в тому, що регулюється зазор між вальцями і вони обертаються в протилежному напрямку один до одного зі швидкістю 1:1,5, що дає змогу досягти максимальної продуктивності та потрібної фракції корму. У плющилках зерна ROmiLL досягається дуже висока якість корму шляхом управління зазору між вальцями, тим самим можна отримати необхідний розмір фракції корму. Це ще вказує на те, що однією і тією самою машиною без заміни вальців можна плющити зерно як грубого помелу (для ВРХ), так і дрібного (свині, вівці).

Для технології плющення та консервування зернового матеріалу на стаціонарному пункті виробляються стаціонарні плющилки зерна з приводом від електродвигуна.

Плющилки зерна серії ПЗ ТОВ "Доза-Агро" представлено на рис. 1.9, а технічні характеристики - у таблиці 1.3.



Рис. 1.9. Плющилки зерна ПЗ-1, ПЗ-2.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики плющилок ПЗ-1 і ПЗ-2

Тип агрегату	ПЗ-1		ПЗ-2	
	Виконання 1	Виконання 2	Виконання 1	Виконання 2
1	2	3	4	5
Продуктивність (при щільності сировини не менш як 750кг/м ³ , вологості 14% і зазору вальців 0,4 мм), т/год	до 1		до 2	
Масова частка цілого насіння	не більше 5%			
Потужність, кВт	5,5		7,5	
Приймальний пристрій	лоток	бункер V=0,6 м ³	лоток	бункер V=0,6 м ³
Число вальців	2 шт.			
Розмір вальців				
- діаметр	226 мм			
- довжина	250 мм			
Частота обертання вальців, хв ⁻¹	1000			
Габарити:				
-довжина	115 см	116 см	115 см	116 см
-ширина	50 см	65 см	50 см	65 см
-висота(без опор и бункера)	120 см	225 см	120 см	225 см
-висота вивантажувального патрубку над підлогою	20 см	60 см	20 см	60 см
Маса	480 кг	520 кг	500 кг	550 кг

Плющилки вальцьові зернові серії ПВЗ ТОВ "АгроПоставка" зображено на рис. 1.10.



Рис. 1.10. Плющилки вальцьові зернові ПВЗ-700, ПВЗ-350

Плющилки вальцьові зернові ПВЗ-700 і ПВЗ-350 призначені для плющення сухого, кислуватого та іншого кормового зерна, а також підготовки його для силосування. Вони застосовуються для обробки зерна в стадії воскової стиглості, можуть бути застосовані також для обробки підмоченого, прілого і частково

пророслого зерна. Технічні характеристики плющилок ПВЗ-700, ПВЗ-350 наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики плющилок ПВЗ-700, ПВЗ-350

Найменування параметра	ПВЗ-700	ПВЗ-350
Продуктивність, т/год	5,0... 12,0	2,5...60
Номинальна напруга, В	380	
Встановлена потужність електроприводу, кВт	25	7,5
Об'єм приймального бункера, не менше, л	250	180
Висота завантаження транспортного засобу, м	2,4 ... 3,1	2,0 ... 2,5
Вальці	сітчасто-рифлені - 2шт.	
Ширина вальців, мм	710	360
Діаметр вальців, мм	360	
Мінімальний зазор між вальцями	0,3	
Габаритні розміри, мм, не більше:		
- довжина	1790	1350
- ширина (з електроприводом)	1860	1520
- висота до краю бункера	1140	1230
- висота з елеватором	3580	3130
Маса (з електроприводом), кг, не більше	990	660
Ємність бака для закваски, л	55	
Вологість зерна, %, не більше	45	
Засміченість зерна органічними домішками, %, не більше	15	
Однорідність плющеного зерна, %	15 ... 30	
Середня товщина пластівців, мм	1,5 ... 2,2	
Склад пластівців товщиною 1,0 ... 2,5 мм у плющеному продукті, %, не менше	85	
Кількість цілих зерен у плющеному продукті, %, не більше	1,4	
Рівень шуму в зоні обслуговування, дБ	70	
Концентрація пилу в робочій зоні оператора, мг/м ³	4	

У лабораторії розроблено конструкторську документацію на виготовлення плющилок сухого та вологого зерна ПЗД-10, ПЗД-6, ПЗД-3.1, загальний вигляд і конструктивно-технологічну схему яких наведено на рис. 1.11, а техніко-технологічні показники наведено в таблиці 1.5.

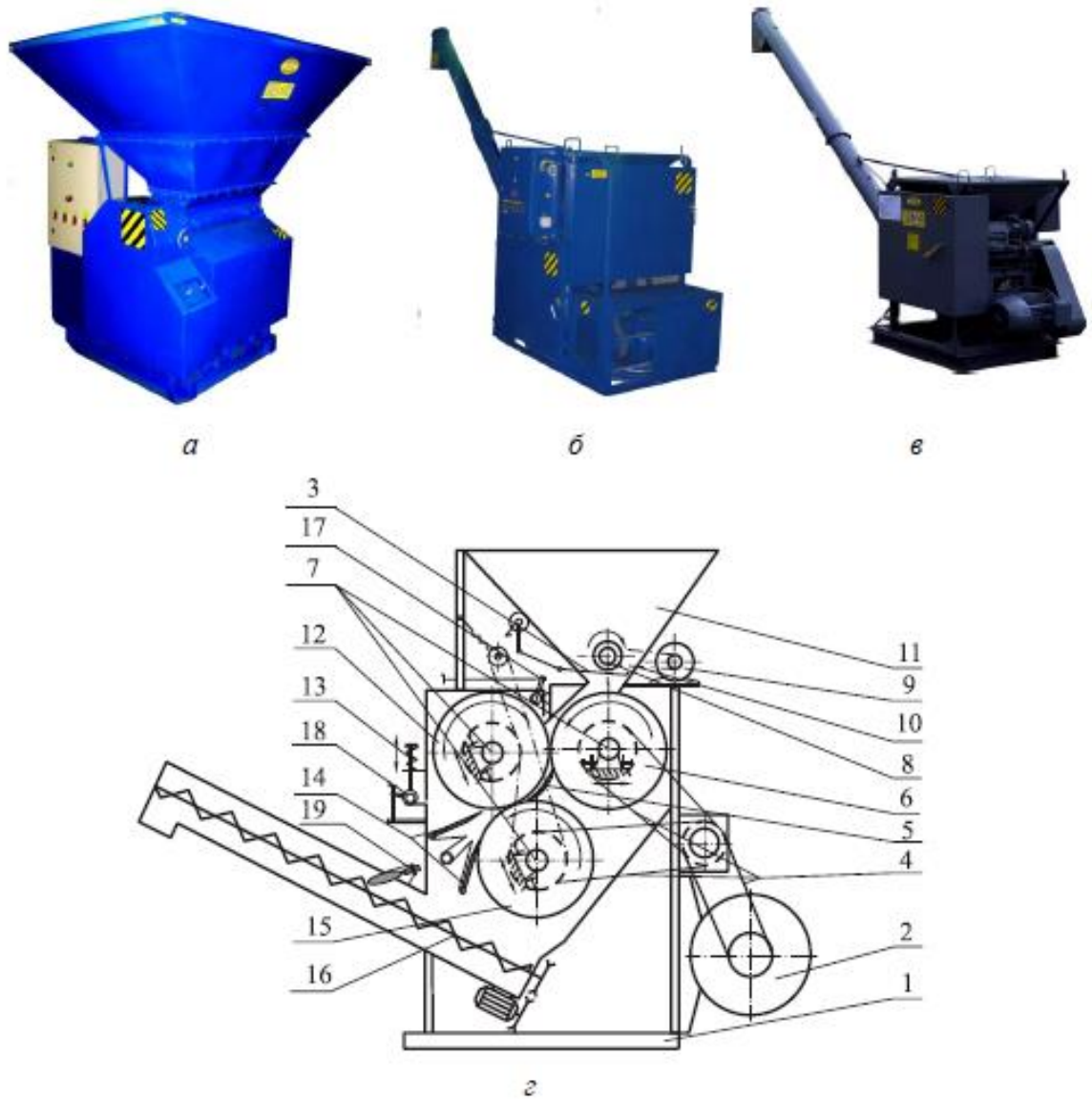


Рис. 1.11. Загальний вигляд ПЗД-10 (а), ПЗД-6 (б), ПЗД-3.1 (в) і конструктивно-технологічна схема (г) двоступеневих плющилок зерна: 1 – рама; 2, 9 – електродвигун; 3 – подавальна заслінка; 4 – ремінна передача; 5 – напрямна пластина; 6 – верхній валець; 7 – регульовані опори; 8 – живильник; 10 – ланцюгова передача; 11 – живильний бункер; 12 – бічний валець; 13 – захисний пристрій; 14 – підпружинені очищувальні ножі; 15 – нижній валець; 16 – вивантажувальний шнековий транспортер; 17 – регулятор вхідного зазору; 18 – регулятор вихідного зазору; 19 – форсунка.

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика плющилок зерна ПЗД-10, ПЗД-6, ПЗД-3.1.

Найменування	ПЗД-10	ПЗД-6	ПЗД-3.1
Тип плющилки	універсальна	стаціонарна	стаціонарна
Ємність бункера, л	960	1160	960
Встановлена потужність електродвигунів	23 кВт	25 кВт	18,6 кВт
Довжина, мм	1500	4750	3600
Ширина, мм	2300	1400	1350
Висота до краю бункера, мм - при стац. плющенні - у разі встановлення плющилки на пакувальник	1730 2400	1750 -	1600 -
Маса, кг (без електродвигуна)	1350	1400	920
Окружна швидкість вальців	6 ... 8 м/с	7 ... 8 м/с	6 м/с
Ширина вальців	720 мм	620 мм	420 мм
Діаметр вальців	285 мм	285 мм	285 мм
Міжвальцьовий зазор	0,2.2,0 мм	0,7...1,8 мм	0,7 ... 1,8 мм
Комплект обладнання для внесення консерванту	НВУ-3	НВУ-3	НВУ-3
Необхідна потужність, що передається на ВВП трактора	30 кВт	-	-
Пропускна здатність	до 10 т/год	до 7,5 т/год	до 4,5 т/год

Двоступенева плющилка зерна працює таким чином. Матеріал, що підлягає плющенню, завантажується в живильний бункер 11. У бункері матеріал забирається дозатором 8 і подається в міжвальцьовий зазор між верхнім основним 6 і бічним 12 вальцями, що обертаються в зустрічних напрямках. Потрапляючи в міжвальцьовий зазор, матеріал піддається попередньому плющенню. Далі попередньо плющений матеріал, що залишився на верхньому вальці 6, зчищається очисним ножем 5 і прямує, орієнтоване в одній площині, у міжвальцьовий зазор бічного 12 і нижнього 15 вальців для остаточного плющення.

Готовий матеріал після остаточного плющення зчищається очищувальним ножем 3 з нижнього 15, а очищувальним ножем 14 з бічного 12 вальців і подається на вивантаження шнековим транспортером 16. У разі потрапляння в міжвальцьові зазори твердих домішок спрацьовує захисний пристрій 13. Бічний валець

повертається на шарнірній опорі, стискаючи пружину захисного пристрою, збільшується зазор між вальцями, і домішки провалюються на вивантажувальний транспортер, що унеможливило механічні пошкодження вальців.

Плющилки зерна зарекомендували себе як надійні машини, що забезпечують високу якість плющення з низькими енерговитратами, і успішно застосовуються в процесі приготування кормів у Фінляндії вже понад 30 років і близько 10 років в Україні. Обсяг зерна, згоданого в плющеному вигляді, у Фінляндії становить близько 60 % від усіх концентрованих кормів, і, як показують дослідження, це значно знижує собівартість продукції тваринництва. Таким чином, застосування плющилок зерна в кормоприготувальному процесі в умовах фермерських та особистих підсобних господарств економічно доцільне.

Для того, щоб забезпечити ефективне функціонування плющилки, необхідний пристрій, а саме живильник, який дає змогу забезпечити технологічний процес одержання плющеного корму завдяки безперервному та рівномірному поданню матеріалу в робочу зону плющилки і запобігає завалюванню дозувального вікна [18].

Живильники характеризуються великою різноманітністю типів, які обирають у кожному окремому випадку залежно від виду і властивості вантажу, необхідної продуктивності та місцевих умов [18].

На підставі огляду наукових і патентних літературних джерел нами було проведено аналіз основних типів живильних пристроїв і складено класифікацію живильних пристроїв, наведену на рис. 1.12 [18].

У подальшому аналізі розглядаються живильники тільки безперервної дії, у зв'язку з тим, що вони забезпечать технологічно необхідну швидкість уведення матеріалу в робочу зону плющилки та високу пропускну здатність [18].

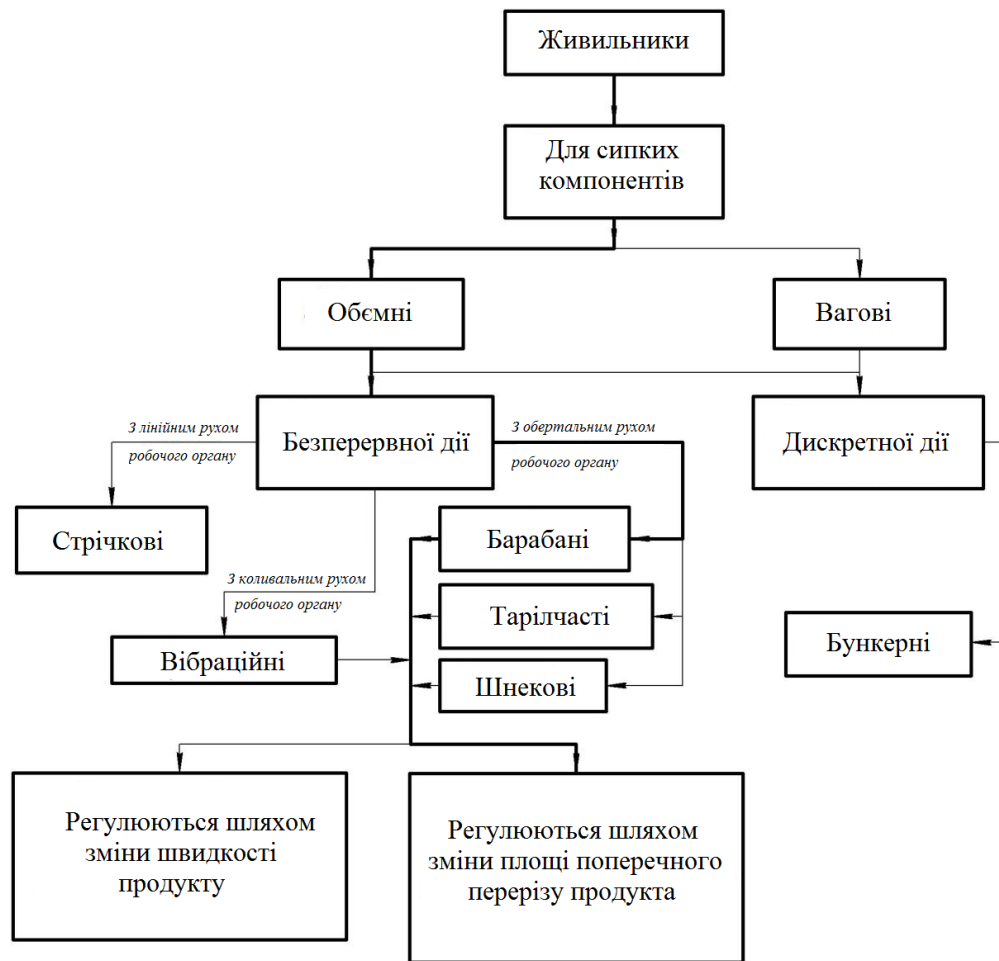


Рис. 1.12. Класифікація живильників [18].

Характеристика окремих видів живильників наведена нижче [18]:

1. Стрічкові живильники (рис. 1.13) можуть бути з розташованим робочим органом (стрічкою): горизонтальними або похилими. Роликові опори стрічкових живильників розташовуються на близькій відстані одна від одної, за малої довжини роликоопори відсутні повністю. Вони мають нерухомі борти вздовж робочого органу і малу швидкість стрічки (0,1...1 м/с). Стрічкові живильники застосовують головним чином під час переміщення зернистих, дрібно- і середньокускових вантажів. Регулювання продуктивності досягається за допомогою переставної засувки або зміною швидкості стрічки. До переваг стрічкових живильників належать надійність, невелика маса і широкий діапазон пропускної здатності [18].

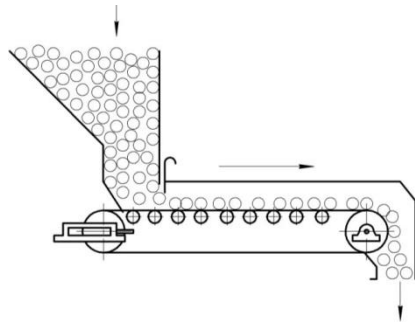


Рис. 1.13. Живильник стрічкового типу [18].

2. Гвинтові живильники (рис. 1.14) мають повностінний гвинт, змонтований на двох підшипниках, що обертається в закритому жолобі або трубі. Для полегшення руху вантажу гвинт виконують із малим кроком, а іноді - двозахідним. Гвинтові живильники використовують для транспортування пилоподібних, зернистих, а також дрібнокускових насипних вантажів [18].

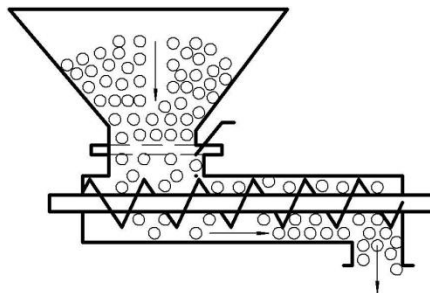


Рис. 1.14. Гвинтовий живильник [18].

3. Коливальні живильники (рис. 1.15), являють собою горизонтальний або похилий (з нахилом донизу) лоток з рухомими або нерухомими бортами, що спирається на стаціонарні роликові або каткові опори, або підвішений на тягах, і здійснює від кривошипно-шатунного механізму зворотно-поступальний рух. При прямому ході лотка шар вантажу, що лежить на ньому, захоплюється в бік руху тертям. При цьому з бункера в вільний простір, що утворився під отвором, надходить деяка кількість вантажу, заповнюючи його. Під час зворотного ходу, внаслідок підпору, утвореного задньою нерухомою стінкою отвору бункера, вантаж не рухається назад і тому частково зсипається через передню грань лотка.

Пропускна здатність живильників, що гойдаються, регулюється перестановкою засувки і зміною ходу лотка. Живильники, що хитаються, застосовують для транспортування рядових і сортованих вантажів зі шматками

малих, середніх і великих розмірів і за широкого діапазону пропускної спроможності, проте їх не можна використовувати для вантажів, що налипають. До переваг живильників належить простота і міцність конструкції [18].

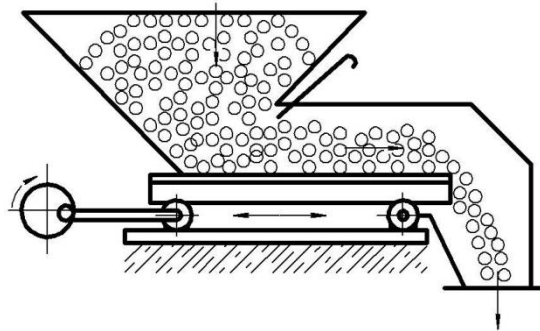


Рис. 1.15. Коливальний живильник [18].

4. Дисківі або тарілчасті живильники (рис. 1.16) складаються з круглого столу-диска, що обертається навколо вертикальної осі, над яким укріплено телескопічний циліндричний патрубков, який не доходить до його поверхні та розміщений під круглим випускним отвором бункера, і нерухомого косоного скребка, що скидає частину вантажу, який лежить на диску. Пропускную здатність живильника регулюють перестановкою патрубку і скребка. Живильники цього типу застосовують під час переміщення пилоподібних, зернистих і дрібнокускових добре сипучих вантажів [18].

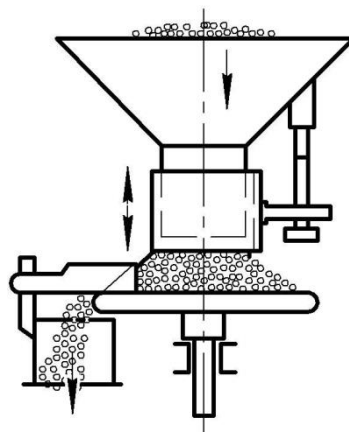


Рис. 1.16. Дисківий або тарілчастий живильник

5. Барабанні живильники (рис. 1.17) мають найпростішу конструкцію. Їх застосовують із гладкою поверхнею барабана для добре сипких зернистих і дрібнокускових вантажів і з ребристою поверхнею барабана - для крупнокускових

вантажів. Пропускна здатність живильників пропорційна перерізу шару вантажу та окружній швидкості барабана [18].

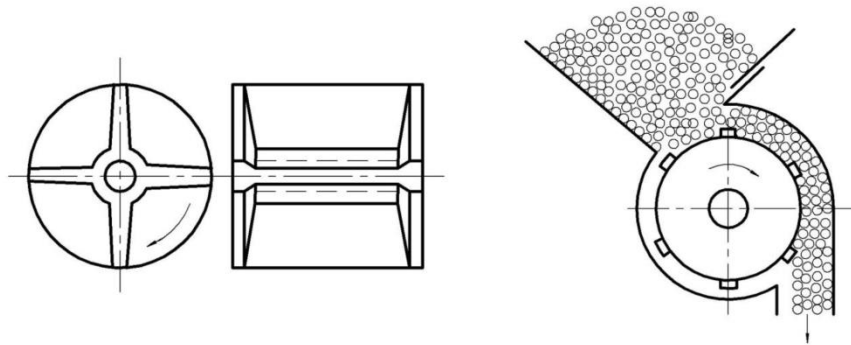


Рис. 1.17. Барабанний живильник [18].

При виборі та розробці живильні пристрої повинні відповідати таким вимогам: - здійснювати безперервну й рівномірну подачу матеріалу; - забезпечувати необхідну пропускну здатність матеріалу до робочих органів плющилки зерна; - здійснювати подачу матеріалу до робочих органів плющилки зерна з технологічно необхідною швидкістю [18].

Живильники з лінійним рухом робочого органа набули широкого поширення в сільськогосподарському виробництві для транспортування вологих, крупнокускових і сипучих вантажів. Живильники такого типу не можуть бути використані в подачі зернистого матеріалу до робочих органів плющилки, оскільки не можуть забезпечити технологічно необхідну швидкість введення матеріалу в робочу зону плющилки зерна

Живильні пристрої безперервної дії з коливальним рухом так само малоприйнятні для технологічно необхідної швидкості введення в робочу зону плющилки [18].

Висновки по розділу.

Таким чином, найдоцільнішим є застосування живильного пристрою з обертальним рухом робочого органа, що забезпечуватиме необхідну швидкість введення та рівномірність подачі матеріалу в робочу зону плющилки.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відповідно до завдань основу програми експериментальних досліджень становить вивчення технологічного процесу плющення зерна з живильним пристроєм, визначення оптимальних параметрів і режимів роботи плющилки зерна з живильним пристроєм, а також отримання первинної інформації про її роботу в реальних умовах експлуатації.

З урахуванням поставлених завдань програма досліджень включає таке:

- 1) розробку конструктивно-технологічної схеми плющилки фуражного зерна з живильним пристроєм;
- 2) розробку та виготовлення експериментального зразка для подачі зерна в зону плющення, зняття та реєстрації енергетичних характеристик;
- 3) експериментальне підтвердження результатів теоретичних досліджень;
- 4) дослідження й порівняння показників робочих процесів плющилки фуражного зерна до встановлення на неї живильного пристрою та після;
- 5) дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи живильного пристрою плющилки фуражного зерна на оціночні показники робочого процесу плющення, що забезпечує максимальну пропускну спроможність із мінімальними питомими енерговитратами, за якості готового продукту, що відповідає зоотехнічним вимогам.

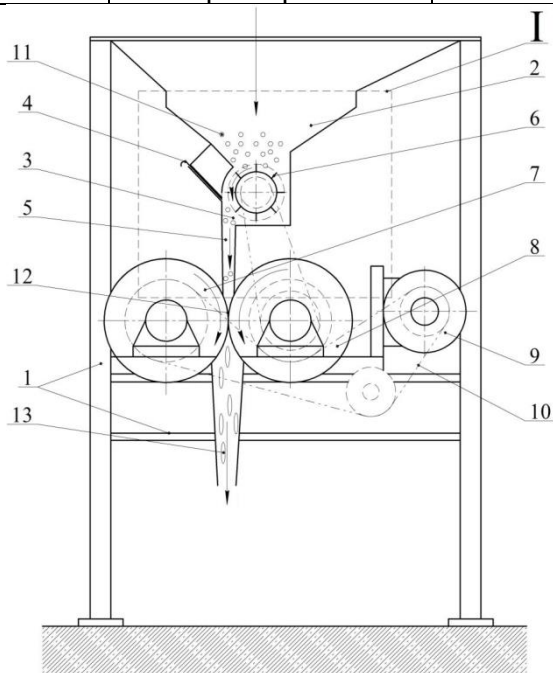
Для визначення та контролю енергетичних, параметричних і технологічних характеристик робочого процесу плющилки фуражного зерна використовували різні прилади та апаратуру.

Перелік обладнання та вимірювальної апаратури наведено в таблиці 2.1.

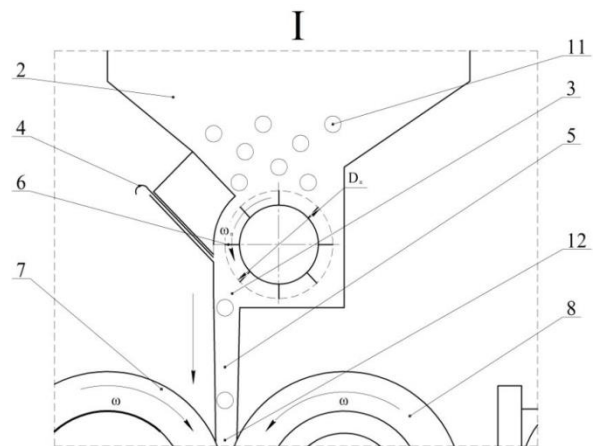
На підставі проведеного аналізу рівня техніки з розглянутого питання розроблено конструктивно-технологічну схему плющилки сухого та вологого зерна (рис. 2.1, а) з живильним пристроєм (рис. 2.1, б) для подачі зерна до робочої зони (міжвальцьового зазору) плющилки [17].

Таблиця 2.1 – Прилади, пристрої та матеріали, що використовуються в експериментах.

№ п/п	Найменування	Позначення	Примітка
1	Асинхронний електродвигун Фуражне зерно	АИР112МВ6	Привід плющилки зерна з живильним пристроєм
2	Ваги механічні	Ячмінь	Матеріал для оцінки характеристик живильного пристрою плющилки зерна
3	Секундомір	ВТ8908-100 (РП-100 Ш13)	Визначення маси матеріалу
4	Тахометр	СДС-пр1	Визначення часу досліду
5	Комплект вимірювальний	ТЧ-10Р	Контроль частоти обертання вальця живильного пристрою
6	Частотний перетворювач	К540	Визначення сили струму на кожній фазі трифазної мережі Визначення напруги на кожній фазі трифазної мережі
7		Altivar 312Н	Зміна частоти обертання валу електродвигуна



a



б

Рис. 2.1. Конструктивно-технологічна схема плющилки фуражного зерна (а) та її живильного пристрою (б) [17].

Плющилка зерна може бути використана під час проведення технологічних операцій з плющення зерна воскової стиглості, фуражного зерна повної стиглості вологістю понад 20 % і сухого фуражного зерна [17].

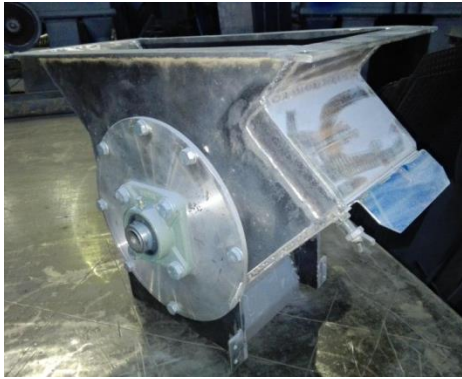
Складається з рами 1, живильного бункера 2 з вікном 3 і регулювальною заслінкою 4, каналу для подачі зерна на плющення 5, живильного вальця 6 з лопостями, вальців для плющення лівого 7 і правого 8. Лівий валець 7 встановлений на нерухомих опорах, а правий 8 – на рамі 1 з можливістю повороту для аварійного відводу від вальця 7 і для регулювання міжвальцьового зазору 14 [17].

Приводи вальців 6, 7 і 8 здійснюється від електродвигуна 9 клиноремінними передачами 10.

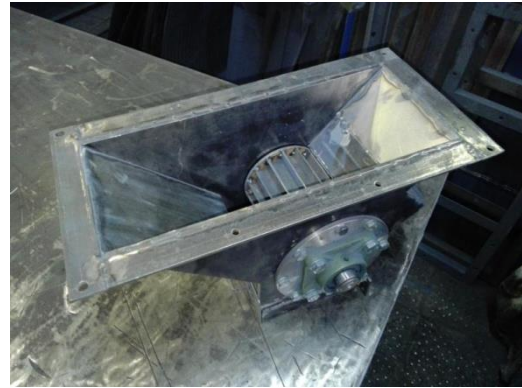
Плющилка працює таким чином. Зерновий матеріал (зерно) 11, що підлягає подрібненню, завантажується в живильний бункер 2. Під час відкриття вікна регулювальною заслінкою 4, що дає змогу регулювати пропускну спроможність плющилки, зерновий матеріал (зерно для плющення) 11, який перебуває в живильному бункері 3, захоплюється канавками живильного вальця 6 і подається через вікно 3, підвідний канал 5 і через нього в міжвальцьовий зазор 12 вальців 7 і 8, де захоплюється вальцями і проходить плющення (подрібнення), потім виводиться з міжвальцьового зазору 12 і як готовий продукт 13, плющене фуражне зерно відправляється на збереження або безпосередньо на згодовування. Установлення живильного вальця 6 у живильному бункері 2 плющилки над регульованим за висотою вікном 3 розпушує зерно 11, що надходить до бункера на плющення, що усуває його зависання в бункері 2, тим самим забезпечує безперервність і рівномірність подавання зерна 11 на плющення і безперервність усього технологічного процесу плющення зерна, що підвищує продуктивність плющилки. Крім того, зерно надходить у зону плющення від вальця 6 через канал 5 з технологічно необхідною швидкістю, що істотно поліпшує захоплення зерна вальцями для плющення, що також значно підвищує пропускну здатність

плющилки і в кінцевому підсумку знижує собівартість одержуваного продукту [17].

На підставі конструктивно-технологічної схеми було виготовлено варіанти виконання конструкції живильного пристрою і самих живильних вальців (рис. 2.2 а, б, в) [17].



а



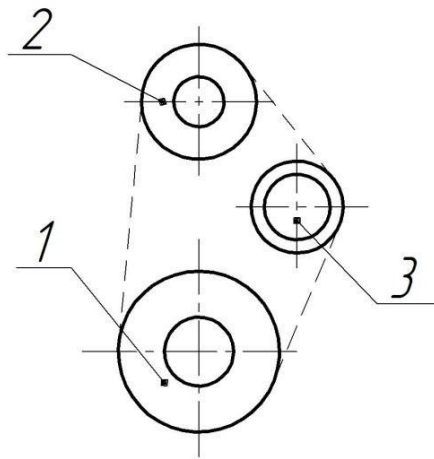
б



в

Рис. 2.2. Живильний пристрій із діаметром вальців 200 мм. (а), з діаметром вальців 120 мм. (б) і виконання живильних вальців (в).

Привід живильного пристрою здійснювався набором шківів і ременів для різних частот обертання живильного вальця, а також за допомогою частотного перетворювача, конструктивну схему приводу представлено на рис. 2.3 а, конструкційне виконання – на рис. 2.3 б [17].



1 – шків на вальці для плющення;

2 – шків на питаючому валу;

3 – натяжник.

а



б

Рис. 2.3. Конструктивна схема приводу живильного пристрою (а), привід живильного пристрою (б): шків на живильному валу $D=138$ мм, шків на вальці плющення $D=116$ мм; шків на живильному валу $D=138$ мм, шків на вальці плющення $D=190$ мм; шків на живильному валу $D=116$ мм, шків на вальці плющення $D=190$ мм; шків на живильному валу $D=116$ мм, шків на вальці плющення $D=190$ мм; шків на живильному валу $D=116$ мм, шків на вальці плющення $D=116$ мм [17].

Відповідно до завдань дослідження проводили за методикою, викладеною в відомих роботах. Кількість дослідів, замірів і проб приймали відповідно до ОСТ 70.19.2-83. Під час проведення експериментальних досліджень враховували особливості варійованих факторів. Обирали найбільш прийнятні плани досліджень: однофакторного експерименту, планування багатофакторного активного експерименту.

Пропускню здатність плющилки для кожної повторності дослідів визначали шляхом зважування готового продукту на вагах. Час дослідів фіксували секундоміром. Середню пропускню здатність підраховували за формулою:

$$Q = \sum_{i=3}^n 3,6 \cdot \frac{G}{t}, \quad (2.1)$$

де Q - середня пропускна здатність плющилки, т/год;

G - маса готового продукту за час дослідження, кг;

t - час дослідження, с.

Під час розрахунку пропускної здатності враховували тільки ту частину готового продукту, яка відповідала сталому режиму роботи установки.

Для визначення енергоємності процесу та питомих енерговитрат під час плющення матеріалу під час дослідів фіксувалася споживана потужність на привід вальців при робочому навантаженні і потужність на холостому ході вальців.

Споживану потужність визначали за формулою:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_{\phi} \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad (2.2)$$

де U_{ϕ} - фазна напруга мережі, В;

I - сила струму, А;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності, це відношення активної потужності P (Вт) до повної S (ВА): $\cos(\varphi) = P/S$.

Висновки по розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи розроблена програма та методика проведення експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 3.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів живильного пристрою після реалізації однофакторних експериментів проведено дослідження з використанням методики планування експерименту.

Під час проведення досліджень оцінювали вплив на технологічний процес плющення таких чинників живильного пристрою: частоти обертання вальця живильного пристрою n , кількості лопатей на вальці z , діаметра вальця живильного пристрою D , висоти встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення h , кута нахилу лопатей вальця живильного пристрою α , а як критерії оптимізації використовували пропускну спроможність плющилки Q (т/год) і питомі енерговитрати на плющення E (кВт·т/год).

Для вивчення спільного впливу конструктивно-технологічних параметрів на показники робочого процесу реалізовано напіврепліку повного факторного експерименту типу 2^{5-1} з визначальним контрастом $1 = -x_1 x_2 x_3 x_4 x_5$.

Чинники та рівні їхнього варіювання наведено в таблиці 3.1, а матрицю плану та результати досліджень - у таблиці 3.2. Інтервали та рівні варіювання факторів обрано на основі результатів однофакторних експериментів.

Таблиця 3.1 – Фактори та рівні їх варіювання

Рівні варіювання факторів	Фактори				
	Частота обертання вальця живильного пристрою n , xv^{-1}	Число лопатей на вальці z , шт.	Діаметр вальця D , м	Висота встановлення живильного пристрою h , мм	Кут нахилу лопатей α , град.
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхній рівень (+)	1000	32	0,2	380	17
Нижній рівень (-)	500	16	0,12	330	0

Таблиця 3.2 – Матриця плану 2^{5-1} і результати експериментальних досліджень.

№ п/п	Фактори					Критерії оптимізації	
	Частота обертання вальця живильного пристрою n , хв^{-1}	Число лопатей на вальці z , шт.	Діаметр вальця D , м	Висота встановлення живильного пристрою h , мм	Кут нахилу лопатей a , град.	Пропускна здатність, Q , т/год	Питомі енерговитра- ти E , кВ- год/т
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-1	-1	-1	-1	-1	0,992	4,97
2	+1	+1	-1	-1	-1	0,995	4,59
3	+1	-1	+1	+1	+1	1,242	4,1
4	-1	+1	+1	+1	+1	0,975	4,42
5	+1	-1	+1	-1	-1	1,197	3,75
6	-1	+1	+1	-1	-1	0,994	4,73
7	-1	-1	-1	+1	+1	0,999	4,9
8	+1	+1	-1	+1	+1	0,99	4,44
9	+1	-1	-1	-1	+1	0,97	4,7
10	-1	+1	-1	-1	+1	0,957	4,75
11	-1	-1	+1	+1	-1	1,099	4,27
12	+1	+1	+1	+1	-1	1,293	3,97
13	+1	-1	-1	+1	-1	1,071	4,33
14	-1	+1	-1	+1	-1	0,979	4,71
15	-1	-1	+1	-1	+1	1,095	4,32
16	+1	+1	+1	-1	+1	1,252	3,95

Після реалізації дослідів, розрахунку оцінок коефіцієнтів регресії отримали такі моделі робочого процесу:

$$\begin{aligned}
 y_1 = & 1,064 + 0,058 \cdot x_1 - 0,015 \cdot x_2 + 0,098 \cdot x_3 + 0,024 \cdot x_4 - 0,022 \cdot x_5 + 0,020 \cdot x_1 x_2 + \\
 & + 0,021 \cdot x_1 x_3 - 0,003 \cdot x_1 x_4 + 0,010 \cdot x_1 x_5 - 0,026 \cdot x_2 x_3 - 0,022 \cdot x_2 x_4 + 0,011 \cdot x_2 x_5 + \\
 & + 0,011 \cdot x_3 x_4 - 0,004 \cdot x_3 x_5 - 0,048 \cdot x_4 x_5.
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned}
 y_2 = & 4,369 - 0,155 \cdot x_1 + 0,023 \cdot x_2 - 0,266 \cdot x_3 - 0,062 \cdot x_4 + 0,041 \cdot x_5 - 0,030 \cdot x_1 x_2 - \\
 & - 0,033 \cdot x_1 x_3 + 0,056 \cdot x_1 x_4 + 0,018 \cdot x_1 x_5 + 0,088 \cdot x_2 x_3 + 0,027 \cdot x_2 x_4 - 0,093 \cdot x_2 x_5 + \\
 & + 0,028 \cdot x_3 x_4 + 0,028 \cdot x_3 x_5 + 0,092 \cdot x_4 x_5.
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Оцінки коефіцієнтів регресії, величина яких менша за довірчого інтервалу, можна виключити з математичної моделі. Після цього математичні моделі робочого процесу набудуть вигляду:

$$\begin{aligned}
 y_1 = & 1,055 + 0,070 \cdot x_1 + 0,086 \cdot x_3 + 0,013 \cdot x_4 + 0,011 \cdot x_1 x_2 + 0,030 \cdot x_1 x_3 - 0,017 \cdot x_2 x_3 \\
 & - 0,013 \cdot x_2 x_4 - 0,039 \cdot x_4 x_5.
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

$$y_2 = 4,353 - 0,129 \cdot x_1 + 0,050 \cdot x_2 - 0,292 \cdot x_3 - 0,088 \cdot x_4 + 0,067 \cdot x_5 - 0,046 \cdot x_1 x_2 + 0,072 \cdot x_1 x_4 + 0,105 \cdot x_2 x_3 + 0,043 \cdot x_2 x_4 - 0,110 \cdot x_2 x_5 + 0,045 \cdot x_3 x_5 + 0,108 \cdot x_4 x_5. \quad (3.4)$$

Аналіз математичних моделей показує таке:

- на пропускну здатність плющилки зерна з живильним пристроєм найбільший вплив мають діаметр вальця живильного пристрою ($b_3 = 0,086$) і частота обертання вала живильного пристрою ($b_1 = 0,070$), при їх збільшенні пропускну здатність зростає;

- на питомі енерговитрати на плющення плющилкою з живильним пристроєм найбільший вплив має діаметр вальця живильного пристрою ($b_3 = -0,292$), з його збільшенням питомі енерговитрати знижуються.

Однорідність дисперсії при обробці дослідних даних визначали за критерієм Кохрена. Розрахункові значення становили $G_1 = 0,25$ і $G_2 = 0,07$. Обчислені значення критерію Кохрена порівнювали з табличним, які при числі ступенів свободи $f_1 = 2$, $f_2 = 16$ становить $G_{табл.} = 0,28$.

Оскільки табличне значення $G_{табл.} > G$ більше за обчислене, то дисперсії однорідні.

Адекватність математичних моделей оцінювали за допомогою F-критерію Фішера. Розрахункові значення F-критерію Фішера $F_1 = 6,26$ і $F_2 = 2,37$. Обчислені значення F-критерію менші за табличне $F_{табл.} = 2,9$ за 5%-го рівні значущості та числі ступенів свободи $f_1 = 2$ і $f_2 = 32$. Звідси випливає, що за $F_{табл.} > F$, модель (3.2) адекватна з 95%-вою ймовірністю, а модель (3.1) - неадекватна.

Побудовано діаграми значущості чинників і поєднання чинників для кожного з критеріїв оптимізації:

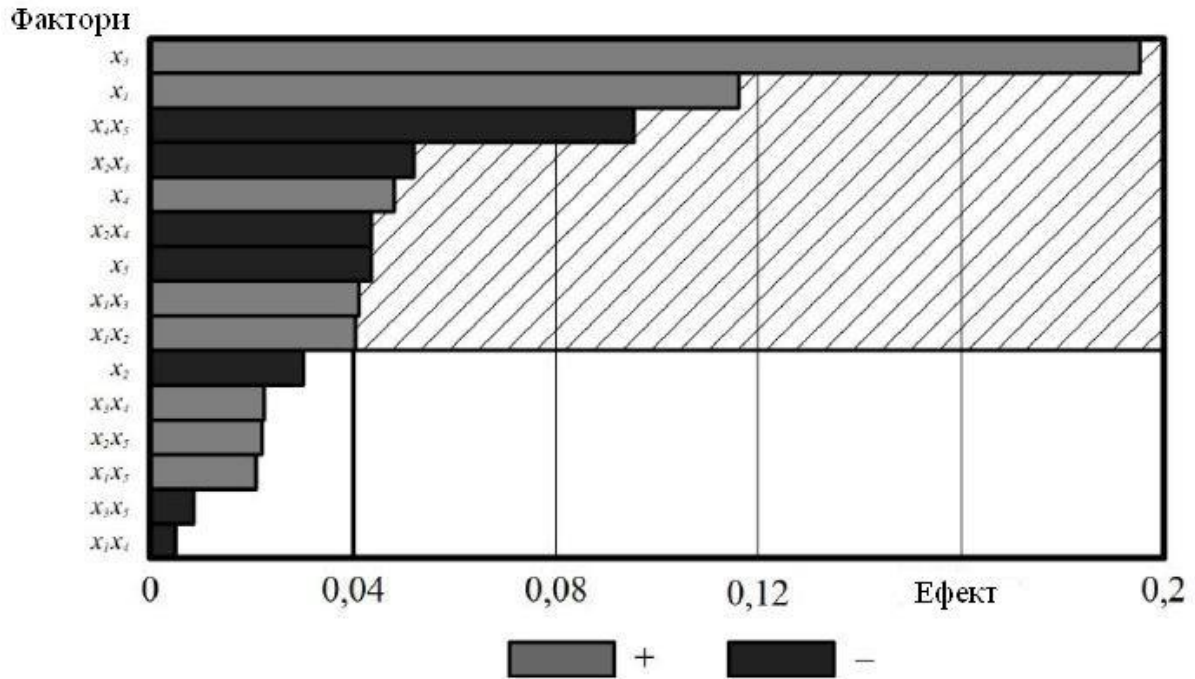


Рис. 3.1. Діаграма значущості чинників і поєднання чинників при критерії оптимізації u_1

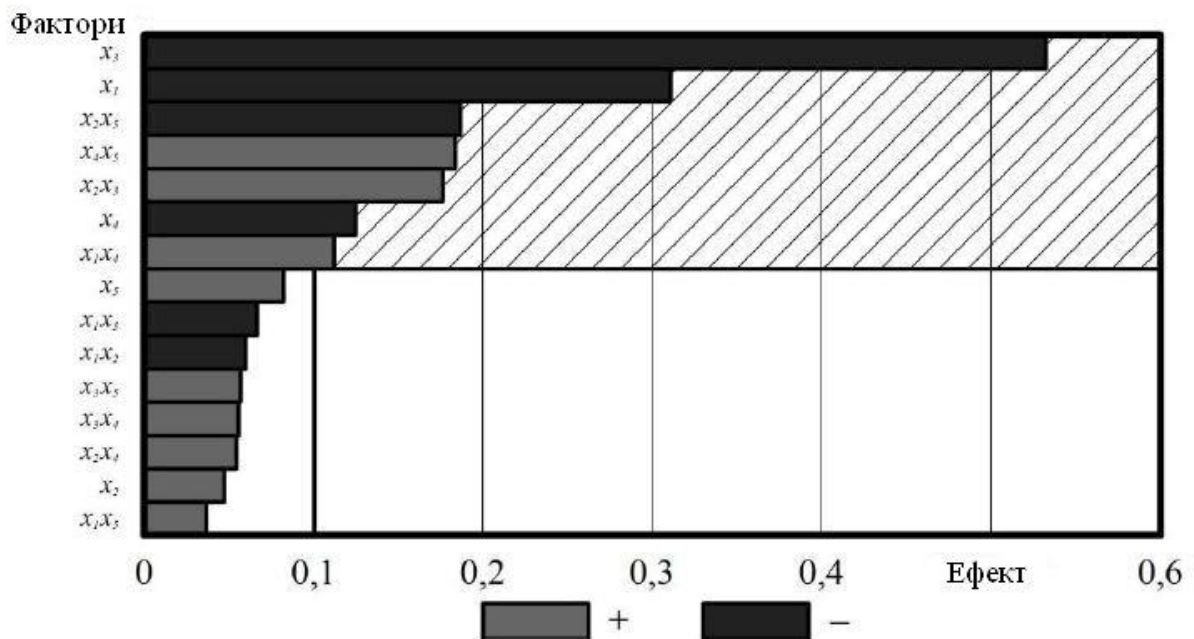


Рис. 3.2. Діаграма значущості чинників і поєднання чинників при критерії оптимізації u_2

Аналіз діаграм значущості чинників і сполучень чинників показує, що найбільший вплив на пропускну спроможність має поєднання чинників x_1 x_2 і x_4

x_5 , а на питомі енерговитрати - $x_1 x_4$, $x_2 x_3$, $x_2 x_5$ і $x_4 x_5$. Виходячи з цього, подальший аналіз математичних моделей проводили за допомогою перерізів поверхонь відгуку при даних поєднаннях чинників (рис. 3.3...3.7).

Аналіз поверхонь відгуку дав змогу дійти висновку, що оптимальними величинами фіксованих значень чинників x_2 - числа лопатей на вальці, x_4 - висоти встановлення живильного пристрою і x_5 - кута нахилу лопатей, за яких критерії оптимізації y_1 і y_2 найкращі, являються $x_2 = z = 16$ шт., $x_4 = h = 370$ мм, $x_5 = \alpha = 0^\circ$.

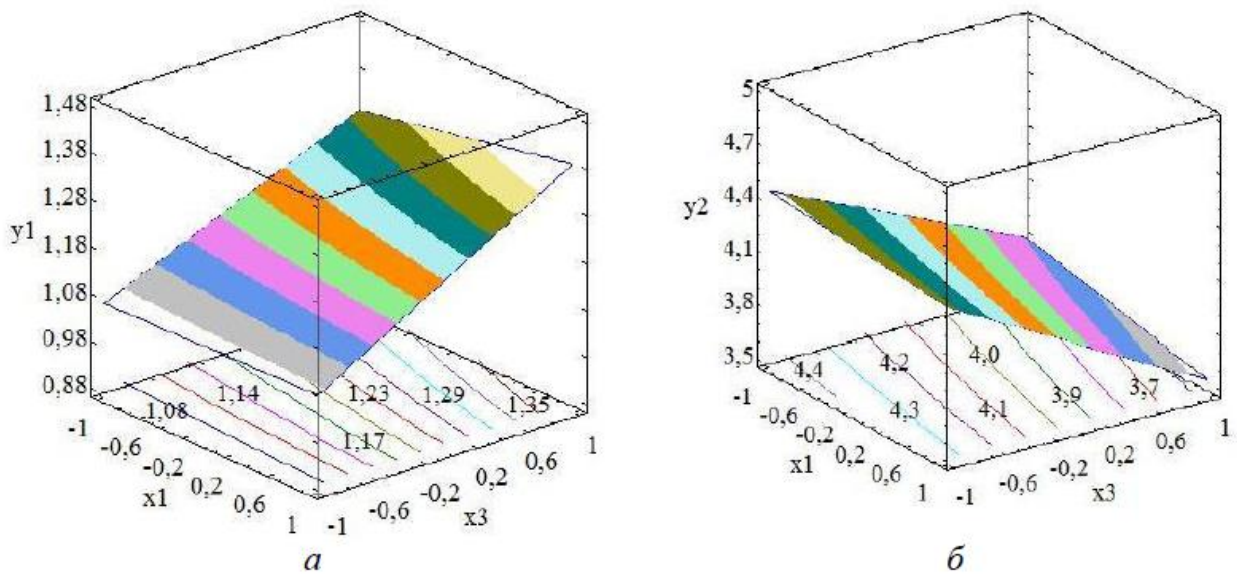


Рис. 3.3. Поверхні відгуку, що характеризують пропуску спроможність Q , т/год (а) і питомі енерговитрати \mathcal{E} , кВт·год/т (б) залежно від діаметра живильного вальця D та частоти його обертання n , за фіксованих значень факторів $x_2 = -1$ ($z = 16$ шт.), $x_4 = 1$ ($h = 370$ мм), $x_5 = -1$ ($\alpha = 0^\circ$).

Аналізуючи поверхні відгуку (рис. 3.3, а), бачимо, що збільшуючи частоту обертання вальця n від 740 до 900 хв^{-1} за його діаметру D в інтервалі від 0,192 до 0,2 м, максимальна пропуску спроможність становитиме $Q=1,35$ т/год за фіксованих значень чинників: $x_2 = -1$ ($z=16$ шт.), $x_4 = -1$ ($h=370$ мм), $x_5 = -1$ ($\alpha=0^\circ$).

Аналіз поверхні відгуку (рис. 3.3, б) за фіксування значень зазначених вище чинників показує, що питомі енерговитрати становитимуть $E = 3,6$ кВт·год/т, за частоти обертання вальця n від 830 до 900 хв^{-1} і його діаметра D від 0,196 до 0,2 м.

Із поверхонь відгуків (рис. 3.3 а, б) можна зробити висновок, що оптимальними величинами фіксованих значень чинників x_4 і x_5 , для критеріїв оптимізації становлять $x_4 = h = 370$ мм, $x_5 = \alpha = 0^\circ$, а для чинника x_1 - частоти обертання вальця, виходячи з попередніх досліджень, оптимальним показником є $x_1 = n = 900$ хв⁻¹.

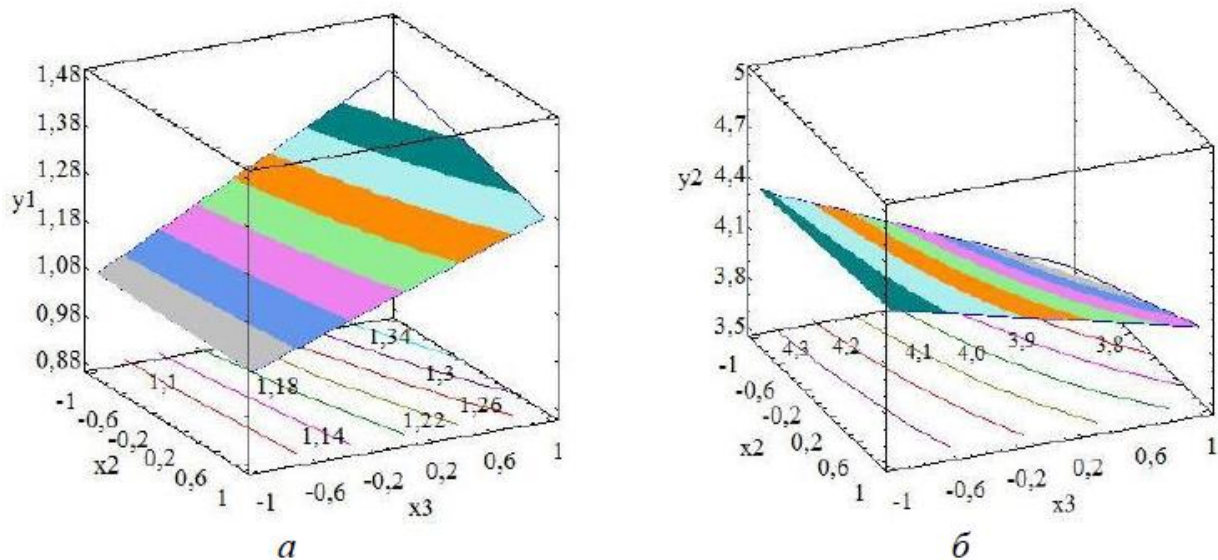


Рис. 3.4. Поверхні відгуку, що характеризують пропускну спроможність Q , т/год (а) та питомі енерговитрати \mathcal{E} , кВт·год/т (б) залежно від діаметра вальця, що живить, D і числа лопатей z за фіксованих значень факторів $x_1 = 1$ ($n = 900$ хв⁻¹), $x_4 = 1$ ($h = 370$ мм), $x_5 = -1$ ($\alpha = 0^\circ$).

Поверхня відгуку (рис. 3.4, а) показує, що зі збільшенням діаметра вальця D від 0,19 до 0,2 м та зменшенням числа лопатей z у межах від 26 до 16 шт. досягаємо максимальної пропускної спроможності $Q=1,34$ т/год за фіксованих значень чинників: $x_1=1$ ($n=900$ хв⁻¹), $x_4=1$ ($h=370$ мм), $x_5=-1$ ($\alpha=0^\circ$).

Рисунок 3.4, б показує, що мінімальне значення питомих енерговитрат становитиме $\mathcal{E} = 3,7$ кВт·год/т за цих самих значень чинників, а значущі чинники будуть такими: діаметр вальця живильного пристрою D в інтервалі від 0,19 до 0,2 м та кількість лопатей вальця z у межах від 16 до 22 шт.

З аналізу перерізів поверхонь відгуків, розглянутих раніше, можна дійти висновку, що показниками фіксованих значень чинників x_2 і x_5 , для оптимальних критеріїв оптимізації, становлять $x_2 = z = 16$ шт., $x_5 = \alpha = 0^\circ$, а для чинника x_3 -

діаметру вальця, з огляду на попередні дослідження, оптимальним показником є $x_3 = D = 0,2$ м.

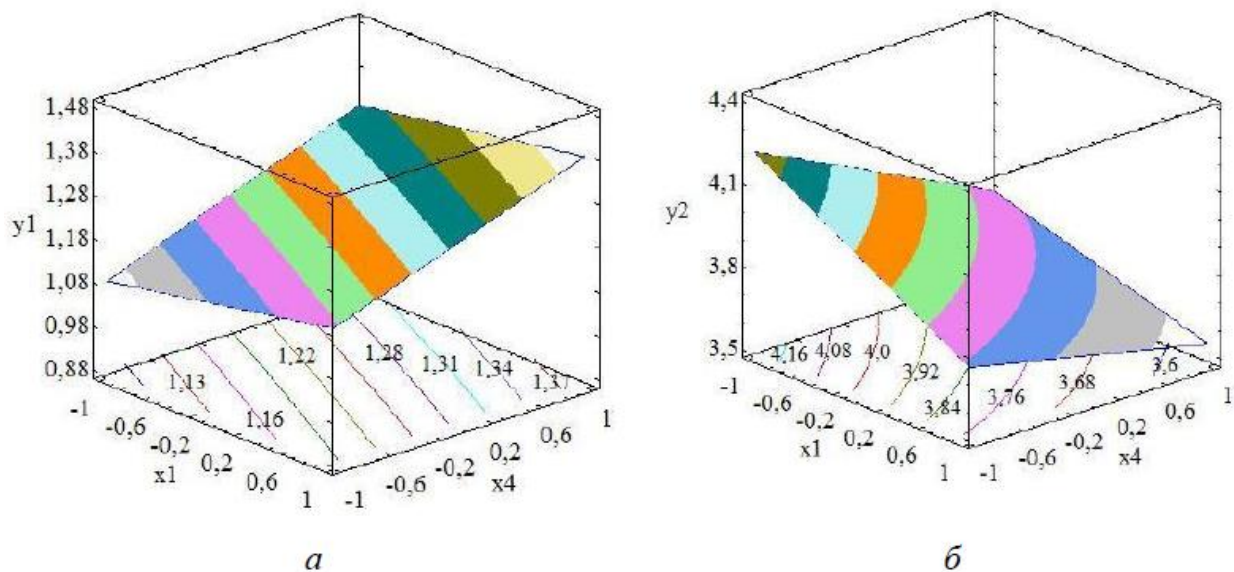


Рис. 3.5. Поверхні відгуку, що характеризують пропускну спроможність Q , т/год (а) і питомі енерговитрати \mathcal{E} , кВт·год/т (б) залежно від висоти встановлення живильного пристрою h і частоти обертання n , за фіксованих факторів $x_2 = -1$ ($z = 16$ шт.), $x_3 = 1$ ($D = 0,2$ м), $x_5 = -1$ ($\alpha = 0^\circ$).

Аналізуючи поверхні відгуку (рис. 3.5, а) бачимо, що, збільшуючи висоту встановлення живильного пристрою відносно робочої зони плющення h з 365 до 370 мм та збільшуючи частоту обертання вальця n у межах від 820 до 900 хв^{-1} , досягли максимального значення продуктивності $Q=1,37$ т/год за фіксованих значень чинників: $x_2=-1$ ($z=16$ шт.), $x_3=-1$ ($D=0,2$ м), $x_5=-1$ ($\alpha=0^\circ$).

Під час аналізу поверхні відгуку (рис. 3.5, б), за фіксування значень зазначених вище чинників (x_2 , x_3 і x_5) досягаємо мінімального значення питомих енерговитрат $\mathcal{E} = 3,6$ кВт·год/т, відповідно дане значення досягнуте за висоти встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення h у межах від 350 до 370 мм і частоти обертання n від 830 до 900 хв^{-1} .

Виходячи з аналізу поверхонь відгуків (рис. 3.3...3.7), можна дійти висновку, що оптимальними величинами фіксованих значень чинників: x_1 , x_2 і x_3 ,

для критеріїв оптимізації y_1 і y_2 становлять $x_1 = n = 900 \text{ хв}^{-1}$, $x_2 = z = 16 \text{ шт.}$, $x_3 = D = 0,2 \text{ м.}$

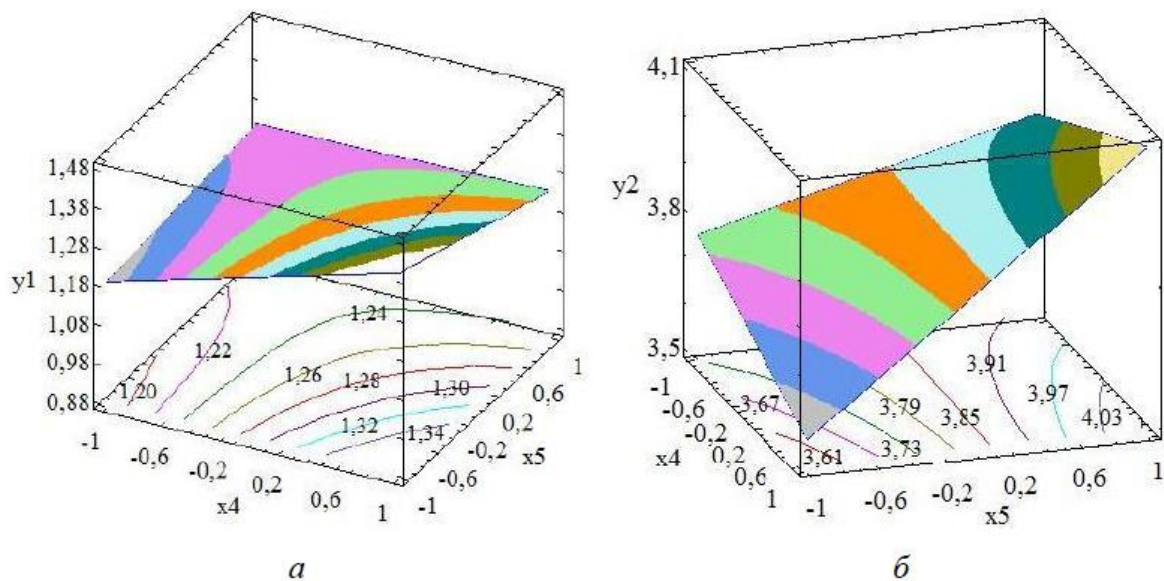


Рис. 3.6. Поверхні відгуку, що характеризують пропускну спроможність Q , т/год (а) і питомі енерговитрати \mathcal{E} , кВт·год/т (б) залежно від кута нахилу лопатей α і висоти встановлення живильного пристрою h , за фіксованих факторів $x_1 = 1$ ($n = 900 \text{ хв}^{-1}$), $x_2 = -1$ ($z = 16 \text{ шт.}$), $x_3 = 1$ ($D = 0,2 \text{ м.}$).

Аналіз поверхні відгуку (рис. 3.6, а) показує, що збільшуючи висоту встановлення живильного пристрою відносно робочої зони плющення h в інтервалі від 358 до 370 мм та зменшуючи кут нахилу лопатей α від 5 до 0 град, досягнуто максимальне значення пропускної спроможності $Q=1,34$ т/год за фіксованих значень чинників: $x_1=1$ ($n=900 \text{ хв}^{-1}$), $x_2=-1$ ($z=16 \text{ шт.}$), $x_3=1$ ($D=0,2 \text{ м.}$).

Аналіз поверхні відгуку (рис. 3.6, б) за значень чинників $x_1 = 1$, $x_2 = -1$ і $x_3 = 1$, говорить, що досягнуто мінімального значення питомих енерговитрат $\mathcal{E} = 3,61$ кВт·год/т. Отже, дане значення досягаємо за висоти встановлення живильного пристрою відносно робочої зони плющення h від 355 до 370 мм та кут нахилу лопатей вальця α від 0 до 2 град.

Аналіз поверхонь відгуків (рис. 3.3...3.7) дав змогу вибрати величини фіксованих значень чинників $x_1 = n = 900 \text{ хв}^{-1}$, $x_3 = D = 0,2 \text{ м}$, $x_4 = h = 370 \text{ мм}$, оскільки за них досягаються найкращі показники критеріїв оптимізації y_1 і y_2 .

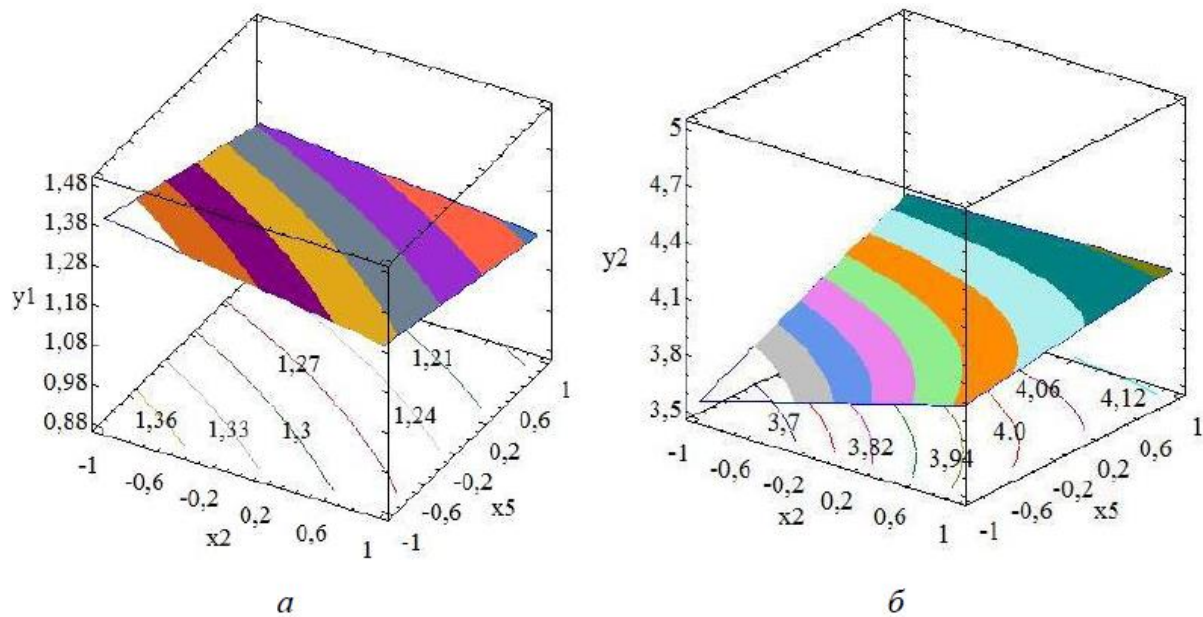


Рис. 3.7. Поверхні відгуку, що характеризують пропускну спроможність Q , т/год (а) і питомі енерговитрати \mathcal{E} , кВт·год/т (б) залежно від кута нахилу лопатей α і числа лопатей вальця z , за фіксованих факторів $x_1 = 1$ ($n = 900$ хв⁻¹), $x_3 = 1$ ($D = 0,2$ м), $x_4 = 1$ ($h = 370$ мм)

Поверхня відгуку (рис. 3.7, а) показує, що, зменшуючи число лопатей вальця z з 21 до 16 шт. і зменшуючи кут нахилу лопатей вальця α від 3 до 0 град., досягаємо максимального значення пропускної спроможності $Q = 1,36$ т/год за фіксованих значень чинників: $x_1 = 1$ ($n = 900$ хв⁻¹), $x_3 = 1$ ($D = 0,2$ м), $x_4 = 1$ ($h = 370$ мм).

Мінімальне значення питомих енерговитрат становитиме $\mathcal{E} = 3,7$ кВт·год/т (рис. 3.7, б) за цих самих значень чинників, а змінні чинники будуть такими: число лопатей вальця z в інтервалі від 16 до 22 шт. і кут нахилу лопатей вальця α від 0 до 4 град.

Таким чином отримали такі критерії оптимізації, що мають максимальне значення пропускної здатності $Q = 1,34...1,37$ т/год і мінімальне значення питомих енерговитрат $\mathcal{E} = 3,6...3,7$ кВт·год/т.

Аналізуючи отримані експериментальні дані, дійшли такого висновку: найбільший вплив на величину критеріїв оптимізації чинить поєднання чинників конструктивно-технологічного характеру - діаметр вальця та частота його

обертання, при цьому частота обертання вальця живильного пристрою в більшості випадків найефективніша лише для значень n від 800 до 900 хв^{-1} і є оптимальною, тому цей чинник необхідно включити до подальших досліджень та прийняти інтервал варіювання даного чинника від 800 до 900 хв^{-1} .

Під час досліджень було виявлено, що найбільший вплив на критерії оптимізації мають: діаметр вальця живильного пристрою D в інтервалі від 0,12 до 0,2 м і висота встановлення живильного вальця щодо робочої зони плющення h в інтервалі від 320 до 370 мм.

Оскільки для подальшої оптимізації необхідно змінити інтервал варіювання фактора x_1 - частота обертання вальця живильного пристрою з 800 до 900 хв^{-1} і математична модель регресії неадекватна, то необхідно застосовувати повний факторний експеримент другого порядку.

Аналізуючи проведені дослідження вище необхідно виокремити основні фактори для подальшої оптимізації. Для цього використаємо відому методику і занесемо отримані раніше дані в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 - Аналіз і вибір факторів за найкращими значеннями критеріїв оптимізації.

Двовимірні перерізи за поєднанням чинників	Фіксовані значення факторів					Оптимальні значення критеріїв оптимізації		Найкращі оптимальні значення критеріїв оптимізації		Поєднання факторів, за найкращих критеріїв оптимізації
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	Q , т/год	\mathcal{E} , кВт-т/год	Q , т/год	\mathcal{E} , кВт-т/год	
x_1x_3	-	-1	-	+1	-1	1,35	3,50	-	3,50	$x_1 x_4$; $x_4 x_5$; $x_2 x_3$ $x_2 x_5$
x_2x_3	+1	-	-	+1	-1	1,34	3,60	-	-	-
$x_1 x_4$	-	-1	+1	-	-1	1,37	3,51	1,37	-	$x_1 x_3$, $x_4 x_5$;
x_4x_5	+1	-1	+1	-	-	1,34	3,51	-	-	-
x_2x_5	+1	-	+1	+1	-	1,36	3,60	-	-	-
S	4	3	3	3	3					

Аналізуючи таблицю 3.3, бачимо, що фактор x_1 - частота обертання вальця живильного пристрою, при його фіксованому значенні повторюється найбільше (4 рази), відповідно, цей фактор треба буде враховувати з урахуванням висловлених припущень і висновків раніше.

Фактори x_2 (число лопатей вальця), x_3 (діаметр вальця живильного пристрою), x_4 (висота встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення), x_5 (кут нахилу лопатей вальця) повторюються однаково кількість разів. Виділивши найкраще оптимальне значення критеріїв оптимізації, бачимо, що для питомих енерговитрат $\mathcal{E} = 3,60$ кВт-т/год найкращими поєднаннями є x_1 x_4 ; x_2 x_3 ; x_4 x_5 і x_2 x_5 . Для пропускної здатності $Q = 1,37$ т/год оптимальним є поєднання чинників x_1 x_3 і x_4 x_5 . Фактор x_2 і x_3 у поєднаннях повторюються двічі, але фактор x_2 впливає тільки на один критерій оптимізації, ніж фактор x_3 , з цього випливає, що фактор x_2 буде виключено з подальших досліджень.

Таким чином, для подальшої оптимізації необхідно залишити такі фактори: x_1 (частота обертання вальця живильного пристрою), x_3 (діаметр вальця живильного пристрою) та x_4 (висота встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення), але фактор x_5 (кут нахилу лопатей вальця) не можна враховувати в подальших дослідженнях, тому що його фіксоване значення в усіх дослідах складає $x_5 = -1$ ($\alpha = 0^\circ$). Значення цього кута не можна робити від'ємним, оскільки для забезпечення технологічного процесу це неприпустимо, тому що для такого типу живильних пристроїв кут нахилу лопатей має бути спрямований у бік обертання живильного вальця.

Реалізовано матрицю повного факторного експерименту другого порядку.

Матрицю плану 3^3 і результати досліджень наведено в таблиці 3.4 і 3.5. Інтервали та рівні варіювання факторів було обрано на підставі проведених раніше досліджень.

Таблиця 3.4 – Фактори та рівні варіювання.

Рівні варіювання факторів	Фактори		
	Частота обертання вальця живильного пристрою n , хв^{-1}	Діаметр вальця D , м	Висота встановлення живильного пристрою h , мм
	x_1	x_2	x_3

Верхній рівень (+)	900	0,2	380
Нульовий рівень (0)	750	0,16	355
Нижній рівень (-)	800	0,12	330

Таблиця 3.5 – Матриця плану 3^3 і результати експериментальних досліджень.

№ п/п	Фактори			Критерії оптимізації	
	Частота обертання вальця живильного пристрою n , хв ⁻¹	Діаметр вальця D , м	Висота встановлення живильного пристрою h , мм	Пропускна здатність, Q , т/год	Питомі енерговитрати \mathcal{E} , кВт·год/т
1	2	3	4	5	6
1	-1	-1	-1	0,97	4,47
2	0	-1	-1	0,976	4,51
3	1	-1	-1	0,995	4,57
4	-1	0	-1	1,13	4,16
5	0	0	-1	1,139	4,15
6	1	0	-1	1,14	4,3
7	-1	1	-1	1,33	3,795
8	0	1	-1	1,37	3,74
9	1	1	-1	1,343	3,75
10	-1	-1	0	0,975	4,53
11	0	-1	0	1,03	4,47
12	1	-1	0	1,049	4,4
13	-1	0	0	1,13	4,15
14	0	0	0	1,153	4,137
15	1	0	0	1,171	4,13
16	-1	1	0	1,33	3,77
17	0	1	0	1,371	3,9
18	1	1	0	1,353	3,9
19	-1	-1	1	0,9975	4,57
20	0	-1	1	1,04	4,41
21	1	-1	1	1,071	4,33
22	-1	0	1	1,13	4,15
23	0	0	1	1,16	4,13
24	1	0	1	1,17	4,11
25	-1	1	1	1,317	4,03
26	0	1	1	1,33	3,91
27	1	1	1	1,373	3,96

Після реалізації дослідів, розрахунку оцінок коефіцієнтів регресії отримали такі моделі робочого процесу повного факторного експерименту другого порядку:

$$y_1 = 1,161 + 0,021 \cdot x_1 + 0,121 \cdot x_2 + 0,017 \cdot x_3 - 0,019 \cdot x_1^2 - 0,005 \cdot x_1 x_2 + 0,010 \cdot x_1 x_3 - 0,011 \cdot x_2^2 - 0,057 \cdot x_2 x_3 - 0,004 \cdot x_3^2. \quad (3.5)$$

$$y_2 = 4,120 - 0,021 \cdot x_1 - 0,285 \cdot x_2 - 0,004 \cdot x_3 + 0,021 \cdot x_1^2 + 0,015 \cdot x_1 x_2 + 0,037 \cdot x_1 x_3 + 0,046 \cdot x_2^2 + 0,046 \cdot x_2 x_3 - 0,017 \cdot x_3^2. \quad (3.6)$$

Оцінки коефіцієнтів регресії, величина яких менша за довірчого інтервалу, можна виключити. Після цього математичні моделі робочого процесу набудуть вигляду:

$$y_1 = 1,151 + 0,021 \cdot x_1 + 0,121 \cdot x_2 + 0,017 \cdot x_3 - 0,019 \cdot x_2^2 - 0,01 \cdot x_1 x_3. \quad (3.7)$$

$$y_2 = 4,145 - 0,021 \cdot x_1 + 0,285 \cdot x_2 + 0,037 \cdot x_1 x_3 - 0,046 \cdot x_2^2 - 0,046 \cdot x_2 x_3. \quad (3.8)$$

Аналіз математичних моделей показує таке:

- на пропускну здатність плющилки зерна з живильним пристроєм найбільший вплив мають діаметр вальця живильного пристрою ($b_2 = 0,121$) і частота обертання вала живильного пристрою ($b_1 = 0,021$), при їх збільшенні пропускну здатність зростає;

- на питомі енерговитрати плющилки з живильним пристроєм найбільший вплив має діаметр вальця живильного пристрою ($b_2 = 0,285$), з його збільшенням питомі енерговитрати знижуються.

Результати та аналіз отриманих даних проводили за допомогою двовимірних перерізів (рис. 3.8 а, б).

Аналізуючи двовимірні перерізи поверхонь відгуку за пропускну здатністю (рис. 3.8, а), маємо оптимум зі значенням пропускну здатності $Q = 1,29$ т/год, за поєднання факторів висоти встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення $h = 370$ мм і більше, за частоти обертання вальця живильного пристрою $n = 887$ хв⁻¹, але це значення пропускну здатності неможливо досягти, оскільки збільшення висоти встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення живильного вальця щодо робочої зони плющення призведе до зміни конструкції плющилки зерна.

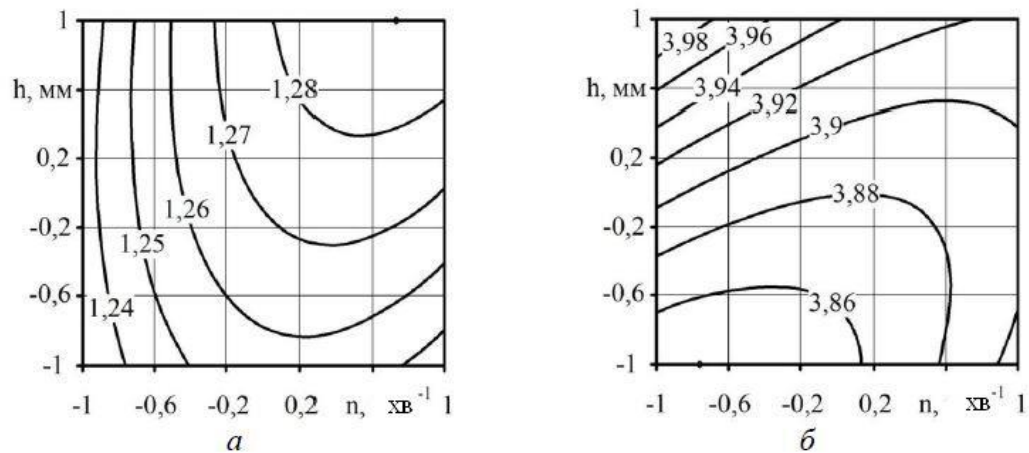


Рис. 3.8. Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризують пропускну спроможність Q , т/год (а) і питомі енерговитрати \mathcal{E} , кВт·год/т (б) залежно від частоти обертання вальця n і висоти встановлення живильного пристрою h за фіксованого значення фактора $x_2 = 1$ ($D = 0,2$ м).

Отже, найбільша пропускну спроможність $Q = 1,28$ т/год, буде досягнута в межах базової конструкції плющилки зерна за оптимальних значень чинників: висоти встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення h в інтервалі від 354 до 370 мм та частоти обертання вальця живильного пристрою n у межах від 852 до 900 хв^{-1} , за фіксованого значення чинника $x_2 = 1$ ($D = 0,2$ м).

Аналогічно для двовимірного перерізу (рис. 3.8, б): можливе мінімальне значення питомих енерговитрат буде становити $\mathcal{E} = 3,84$ кВт·год/т, за умови зменшення висоти встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення $h = 320$ мм і нижче та частоти обертання вальця живильного пристрою $n = 810 \text{ хв}^{-1}$ фіксуємо значення h на величині 320 мм, тому що її зменшення є неможливим унаслідок конструктивних особливостей плющилки зерна.

Таким чином, не виходячи за межі двовимірного перерізу, достатньо мати висоту встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення h у межах від 320 до 332 мм та частоту обертання вальця живильного пристрою n в інтервалі від 800 до 857 хв^{-1} , щоб питомі енерговитрати були мінімальні та становили $\mathcal{E} = 3,86$ кВт·год/т.

З огляду на те, що для обох перерізів (рис. 3.8 а, б) характерна різноспрямована зміна напрямку, відповідно необхідно розв'язати компромісну задачу методом накладення двовимірних перерізів поверхонь відгуку (рис. 3.9).

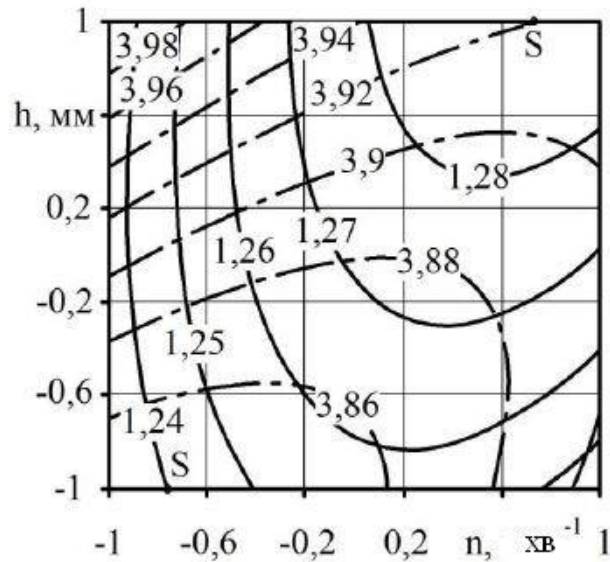


Рис. 3.9. Двовимірний переріз поверхні відгуку, що характеризує пропускну здатність Q , т/год питомі енерговитрати \mathcal{E} , кВт·год/т залежно від частоти обертання вальця n і висоти встановлення живильного пристрою h за фіксованого фактора $x_2=1$ ($D=0,2$ м).

У результаті повного факторного експерименту другого порядку встановили оптимальні величини параметрів плющилки зерна: частота обертання вальця живильного пристрою $n = 810...855$ хв⁻¹, висота встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення $h = 320...332$ мм і діаметр вальця $D = 0,2$ м. Відповідно дані оптимальні параметри чинників n , h і D визначають такі величини критеріїв оптимізації: найбільшу пропускну здатність $Q = 1,24...1,26$ т/год і найменші питомі енерговитрати $\mathcal{E} = 3,86$ кВт·год/т.

Висновки по розділу

Аналіз отриманих залежностей показує високу ефективність застосування живильного пристрою, а саме: надходження зерна в зону плющення зі швидкістю, що дорівнює або близька до окружної швидкості вальців для плющення ($\omega R = 8$

м/с), призводить до збільшення пропускної спроможності плющилки і зниження питомих енерговитрат процесу; найкращі показники технологічного процесу плющення спостерігаються в інтервалі швидкостей введення зерна в зону плющення $V_0 = V_{над} = 8 \dots 9$ м/с, що практично відповідає окружній швидкості вальців для плющення (для базової плющилки ПЗ-1 ця швидкість становить $\omega R \approx 8,2$ м/с).

Аналізуючи отримані експериментальні дані, дійшли такого висновку: найбільший вплив на величину критеріїв оптимізації чинить поєднання чинників конструктивно-технологічного характеру - діаметр вальця та частота його обертання, при цьому частота обертання вальця живильного пристрою в більшості випадків найефективніша лише для значень n від 800 до 900 хв^{-1} та є оптимальною, тому цей чинник необхідно включити до подальших досліджень та прийняти інтервал варіювання цього чинника від 800 до 900 хв^{-1} . Під час досліджень було виявлено, що найбільший вплив на критерії оптимізації мають: діаметр вальця живильного пристрою D в інтервалі від 0,12 до 0,2 м і висота встановлення живильного вальця щодо робочої зони плющення h в інтервалі від 320 до 370 мм. У результаті повного факторного експерименту другого порядку встановили оптимальні величини параметрів плющилки зерна: частота обертання вальця живильного пристрою $n = 810 \dots 855$ хв^{-1} , висота встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення $h = 320 \dots 332$ мм і діаметр вальця $D = 0,2$ м. Відповідно дані оптимальні параметри чинників n , h і D визначають такі величини критеріїв оптимізації: найбільшу пропускну спроможність $Q = 1,24 \dots 1,26$ т/год і найменші питомі енерговитрати $\mathcal{E} = 3,86$ кВт-год/т.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено конструктивно-технологічну схему плющилки зерна з живильним пристроєм, що містить раму: живильний бункер із вікном і регульовальною заслінкою, канал для подавання зерна на плющення, живильний валець із лопатями, вальці для плющення лівий і правий. Лівий валець

встановлений на нерухомих опорах, а правий - на рамі з можливістю повороту для аварійного відводу від лівого вальця і для регулювання міжвальцьового зазору. Приводи вальців здійснюються від електродвигуна клиноремінними передачами.

Проведено експериментальні дослідження технологічного процесу плющення зерна плющилкою з живильним пристроєм, що підтверджують теоретичні передумови: при надходженні зерна до зони плющення зі швидкістю, що дорівнює або близька до окружної швидкості вальців для плющення, процес плющення є найефективнішим, пропускна спроможність плющилки - найбільша за найменших питомих енерговитрат.

Встановлено оптимальні конструктивно-технологічні параметри живильного пристрою плющилки зерна: частота обертання вальця живильного пристрою $n = 810 \dots 855 \text{ хв}^{-1}$, висота встановлення живильного вальця відносно робочої зони плющення $h = 320 \dots 332 \text{ мм}$ і діаметр вальця $D = 0,2 \text{ м}$. Величини цих оптимальних параметрів визначають найбільшу пропускну спроможність $Q = 1,24 \dots 1,26 \text{ т/год}$ за найменших питомих енерговитрат $\mathcal{E} = 3,86 \text{ кВт-год/т}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Верещинський А. П. Наукові основи і практика підвищення ефективності сортових хлібопекарських помелів пшениці. Автореферат. 05.18.02 - Технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів і комбікормів, олійних і луб'яних культур. 2013. НУХТ. Київ. 37 с.

2. Возіян В. В. Вплив параметрів лушення та водотеплової обробки зерна на вихід і кулінарну оцінку плющеної крупи із пшениці спельти. Зернові продукти і комбікорми. 2017. Вип. 17 (1). С. 28–32.

3. Возіян В. В., Любич В. В., Сухомуд О. Г. Технологічні властивості зерна сортів пшениці озимої різного еколого-географічного походження. Збірник наукових праць ВНАУ. 2013. Вип. 1(71). С. 121–125.

4. Герман М. М., Маренич М. М. Якість зерна пшениці м'якої озимої та шляхи її підвищення. Вісник Полтавської Державної Аграрної Академії. 2013. № 4. С. 19–22. DOI:10.31210/visnyk2013.04.04.

5. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О. Вихід і якість круп'яних продуктів із зерна сортів і ліній пшениць. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2017. Вип. 4. С. 11–17.

6. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., Воробйова Н. В. Фізико-механічні властивості зерна різних сортів і ліній пшениць. Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. 2017. № 3(45). С. 11–18.

7. Господаренко Г. М., Полторецький С. П., Любич В. В., Железна В. В. Удосконалення режимів пропарювання за виробництва крупи плющеної із зерна пшениці спельти. Збірник наукових праць НУС. 2018. Вип. 93 (1). С. 8–22.

8. Гуторова О. О., Стасенко О. М. Господарський механізм ефективного виробництва зерна в сільськогосподарських підприємствах: теорія та практика: монографія. монографія. Харків: ХНАУ, Федорко, 2014. 242 с.

9. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2021 рік. 2021. Київ. 523 с.

10. Дмитрук Є. А., Любич В. В., Новіков В. В. Вихід крупи плющеної із зерна тритикале залежно від ступеня його лушіння та режиму водно-теплової обробки. Зернові продукти і комбікорми. 2015. Вип. 1 (59). С. 23–27. DOI:10.15673/2313-478x.59/2015.51151.

11. ДСТУ 4117:2007. Зерно та продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії. [Чинний від 2007-08-01]. Вид. офіц. Київ: Київський інститут хлібопродуктів, 2007. 8 с.

12. ДСТУ ISO 2171:2009. Зернові, бобові та продукти їх помелу. Визначення загальної золи методом озолування (ISO 2171:2007, IDT) [На заміну ДСТУ 4252-2003; чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2011. 9 с.

13. ДСТУ ISO 3093:2019. Пшениця, жито та борошно з них, пшениця тверда й манні крупи з твердої пшениці. Визначення числа падіння методом ХагбергаПертена (Hagberg-Perten) (ISO 3093:2009, IDT). [На заміну ГОСТ 27676-88, ДСТУ ISO 3093:2009; чинний від 2019-12-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 16 с.

14. ДСТУ ISO 712:2015. Зернові та продукти з них. Визначення вмісту вологи. Контрольний метод (ISO 712:2009, IDT). [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 20 с.

15. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костогриз П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень в агрономії / ред. В. О. Єщенко. Вінниця: ПП «ГД «Едельвейс і К»», 2014. 332 с.

16. **Гірш А.Ф.** Огляд технологій приготування концентрованих кормів. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 180-182.

17. Білецький В. Р., **Гірш А.Ф.** Розробка конструктивно-технологічної схеми плющили сухого та вологого зерна. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 53-55.

18. Білецький В. Р., **Гірш А.Ф.** Конструкції та класифікація живильних пристроїв плющилок зерна. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).