

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Зінчук Владислав Вікторович

УДК 631.363

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ
ПОДРІБНЮВАЧА КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ**

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
_____ Зінчук В.В.

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Зінчук Владислав Вікторович. Обґрунтування основних параметрів подрібнювача коренебульбоплодів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

В магістерській роботі для вивчення процесу різання коренебульбоплодів розроблено лабораторну установку подрібнювача.

В результаті проведення досліджень визначено оптимальні значення параметрів подрібнювача: кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 45^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 3$ і швидкість різання $V_p = 12$ м/с при подрібненні коренебульбоплодів для птиці; кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 25^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 2$ і швидкість різання $V_p = 12$ м/с при подрібненні коренебульбоплодів для ВРХ; кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 35^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 2$ і швидкість різання $V_p = 10$ м/с при подрібненні коренебульбоплодів для свиней.

Продуктивність подрібнювача 740...760 кг/год за встановленої потужності 0,5 кВт – 740...760 кг/год, водночас уміст частинок розміром від 3 до 15 мм становить 45...60 %, а питомі енерговитрати – 50...65 Вт·год/т.

Ключові слова: подрібнювач, потужність, продуктивність, ножи, коренебульбоплоди.

ANNOTATION

Zinchuk Vladislav Viktorovich. Justification of the main parameters of the root and tuber chopper. – *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 laboratory chopper was developed to study the process of cutting root and tuberous vegetables.

As a result of the research, the optimal values of the chopper parameters were determined: cutting angle of horizontal knives $\gamma = 45^\circ$, number of horizontal knives $N = 3$ and cutting speed $V_p = 12$ m/s when chopping root and tuberous crops for poultry; cutting angle of horizontal knives $\gamma = 25^\circ$, number of horizontal knives $N = 2$ and cutting speed $V_p = 12$ m/s when chopping root and tuberous crops for cattle; cutting angle of the horizontal knives $\gamma = 35^\circ$, number of horizontal knives $N = 2$ and cutting speed $V_p = 10$ m/s when chopping root and tuberous crops for pigs.

The productivity of the chopper is 740...760 kg/h at an installed power of 0.5 kW, while the content of particles with a size of 3 to 15 mm is 45...60 %, and the specific energy consumption is 50...65 W·h/t.

Keywords: chopper, power, productivity, knives, root and tuberous crops.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 5 |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ІСНУЮЧИХ ПОДРІБНЮВАЧІВ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ ТА ОГЛЯД НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ..... | 8 |
| РОЗДІЛ 2. БУДОВА РОЗРОБЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ... | 18 |
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 26 |
| ВИСНОВКИ..... | 44 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 45 |

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Для виробництва тваринницької продукції використовуються різні види кормів: грубі, соковиті, концентровані, ферментовані. Через деякі переваги [1] (висока врожайність, легка засвоюваність, хороше поїдання, благотворний вплив на фізіологічний стан тварин) цінним видом соковитих кормів є коренебульбоплоди. Під час переробки коренеплодів, у тому числі підготовки до згодовування, обов'язковим є їх подрібнення.

Згідно із зоотехнічними вимогами коренебульбоплоди подрібнюють до часток 10...15 мм для великої рогатої худоби, 5...10 мм для свиней і 4...5 мм - для птиці [2]. Однак аналіз існуючих на сьогоднішній день подрібнювачів показав, що вони відрізняються великою енергоємністю, складністю конструкції, невисокою продуктивністю. Подрібнений у переважній більшості таких машин корм не відповідає зоотехнічним вимогам, являючи собою кашоподібний стан, що веде до втрати соку та поживних речовин.

Тому пропонується робота, спрямована на розроблення та дослідження подрібнювача коренебульбоплодів, що дає змогу отримувати корм, який відповідає зоотехнічним вимогам, для всіх груп тварин із мінімальними енерговитратами, є актуальною.

Об'єкт дослідження – процеси різання та защемлення коренебульбоплодів.

Предмет дослідження – вплив кута защемлення і параметрів коренебульбоплодів на енергоємність робочого процесу подрібнення.

Метою роботи є удосконалення конструкції та обґрунтування основних параметрів подрібнювача коренебульбоплодів для приготування кормів для годівлі тварин і птиці в умовах фермерських господарств, що забезпечує зниження енергетичних і матеріальних витрат (втрат кормів) та підвищення якості продукту.

У зв'язку з поставленою метою в цій роботі вирішувалися такі науково-практичні завдання:

- розробити конструкційне рішення подрібнювача коренебульбоплодів для фермерських господарств;
- експериментально визначити оптимальні параметри та режими роботи подрібнювача коренебульбоплодів;
- розробити рекомендації щодо використання подрібнювача коренебульбоплодів.

Методи наукового дослідження. При виконанні експериментальних досліджень застосовувалися стандартні і розроблені методики. Експериментальні дослідження проводилися на сертифікованому обладнанні, опрацювання результатів проводилося методом математичної статистики в прикладній програмі Portable Statgraphics Centurion 15.2.11.0 for Windows. Оцінювання об'єктів досліджень під час проведення лабораторних і виробничих випробувань було виконано згідно з ДСТУ.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В.Л., **Зінчук В.В.** Аналіз конструкцій існуючих подрібнювачів коренебульбоплодів. 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. 290-292.

2. Куликівський В.Л., **Зінчук В.В.** Будова розробленого подрібнювача коренебульбоплодів. *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. 84-87.

3. Куликівський В.Л., **Зінчук В.В.** Огляд наукових досліджень робочого процесу подрібнення коренебульбоплодів. 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 розроблений подрібнювач, який дає змогу підвищити на 10...15% продуктивність праці під час підготовки коренебульбоплодів до згодовування для тварин і птиці, а також знизити на 5...10% енергоємність робочого процесу.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 46 сторінок комп'ютерного тексту, містить 23 рисунки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ІСНУЮЧИХ ПОДРІБНЮВАЧІВ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ ТА ОГЛЯД НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ

Коренебульбоплоди можна подрібнити трьома способами: різанням, комбінованим ударом і скобленням. Найбільшого поширення під час підготовки коренебульбоплодів до згодовування набуло подрібнення різанням. Для його здійснення найчастіше використовують машини з подрібнювальними органами у вигляді дисків. Розглянемо конструкції деяких із них.

Відомий універсальний подрібнювач кормів, що складається з основи 1 (рис. 1.1), дробильної камери 2, бічних ножів 3, хрестоподібного ножа 4, вала 5, знімних внутрішніх бічних накладок 7 і змінних решіт 8, двох напрямних 9 для закріплення знімних решіт 8, шатківниць 10 і знімного рукава 11, знімного бункера 12 із шибером 13. Для подрібнення соковитих кормів у подрібнювачі передбачено знімний ніж 14, що має додаткові вертикальні ребра 15.

Конструкція подрібнювача дає змогу подрібнювати різні сільськогосподарські культури: зернові, соковиті корми та коренеплоди.

Під час подрібнення коренеплодів знімають бічні накладки 7, встановлюють шатківницю 10 і ніж 14. Коренеплоди подають у бункер 12, за допомогою шибера 13 регулюють подачу матеріалу. У дробильній камері 2 коренеплоди ріжуться бічним 3 і основним 4 ножами. Подрібнена суміш надходить у рукав 11. Ступінь подрібнення регулюється зазором між обертовими ножами 3 і 4. Недоліком даної схеми є підвищене соковиділення через надмірне подрібнення коренеплодів і неможливість різати коренеплоди скибочками.

Ще одним універсальним подрібнювачем є пристрій для подрібнення, який дозволяє подрібнення сільськогосподарської продукції, розроблене М. Г. Мінгалєєвим і Н. С. Кривошеєвим.

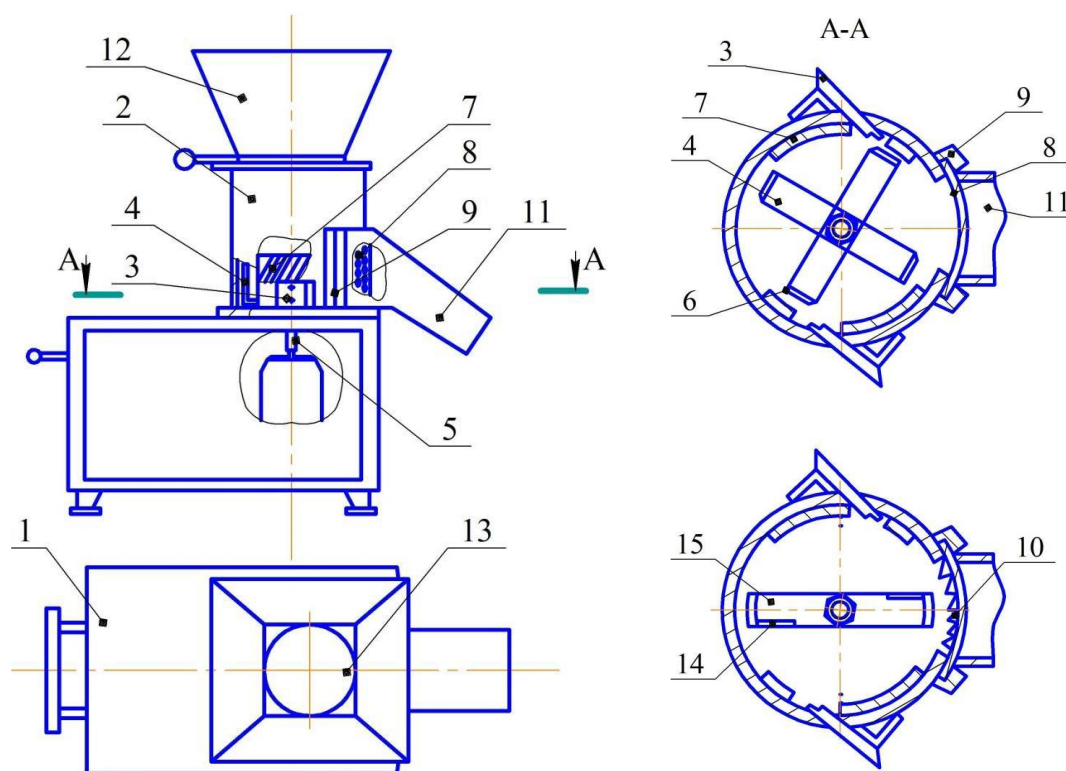


Рис. 1.1. Універсальний подрібнювач кормів: 1 – основа; 2 – дробильна камера; 3 – бічні ножі; 4 – хрестоподібний ніж; 5 – вал; 7 – знімні накладки; 8 – змінні решета; 9 – напрямні; 10 – шинкування; 11 – знімний рукав; 12 – знімний бункер; 13 – шибер; 14 – знімний ніж; 15 – додаткові вертикальні ребра.

Під час подрібнення коренеплодів і зеленої маси знімають днище 15 (рис. 1.2), на посадковий майданчик 14 вала 6 встановлюють ножі. Заслінкою 21 повністю перекривають вікно 3, здійснюють завантаження коренеплодів у бункер і вмикають електродвигун 5. Виведення готової продукції здійснюється через лоток 18.

Згідно з описом винаходу, коренеплоди після переробки мають вигляд пластинок.

Таким чином, до недоліків цього пристрою можна віднести неможливість подрібнювати коренеплоди на скибочки та надмірне подрібнення матеріалу.

Українські виробники пропонують кормоподрібнювач ІКОР-5 (рис. 3, а), призначений для подрібнення зерна, кукурудзи, сіна і коренеплодів, та подрібнювач коренеплодів (рис. 1.3, б), здатний подрібнювати тільки овочі.

Машини відрізняються невисокою продуктивністю, а конструкція їхніх робочих органів не дає змоги різати коренебульбоплоди на скибочки з мінімальним соковиділенням.

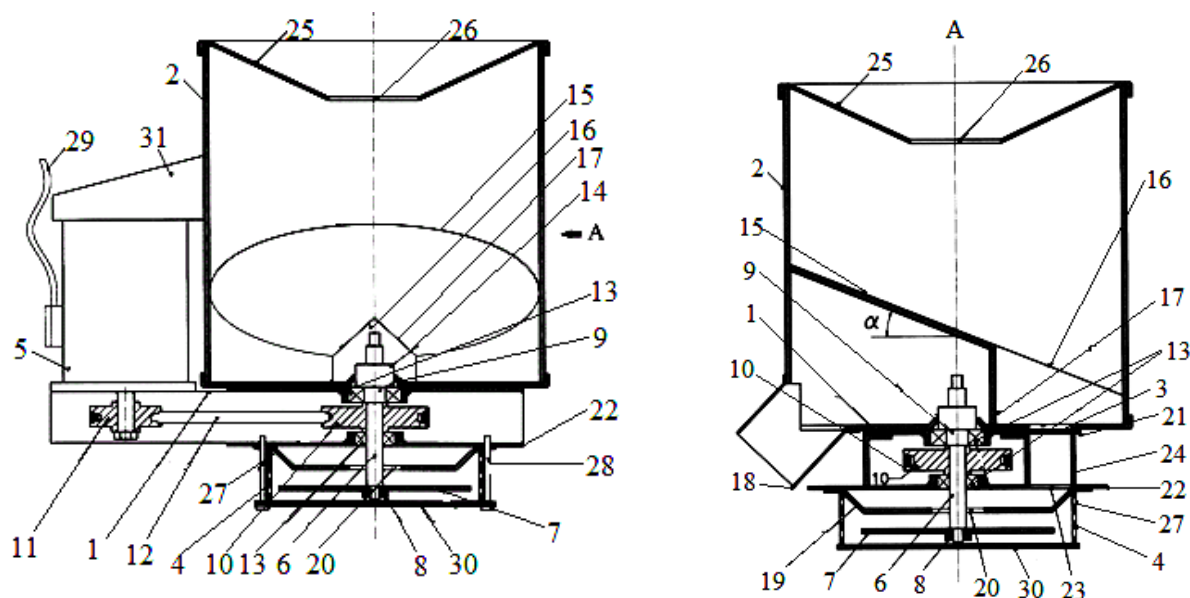
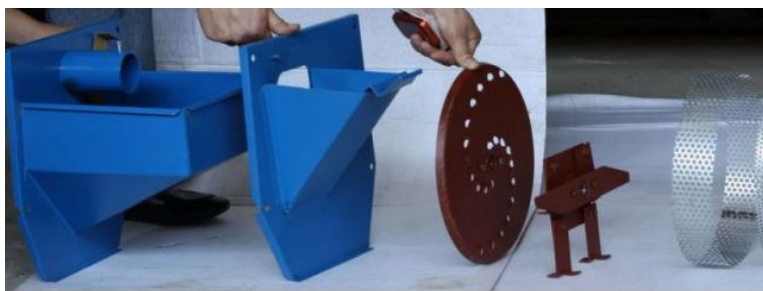


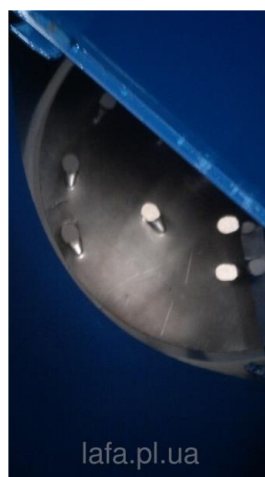
Рис. 1.2. Пристрій для подрібнення сільськогосподарської продукції за патентом № 2252073: 1 – станина; 2 – бункер; 3 – вікно; 4 – сито; 5 – електродвигун; 6 – вал; 7 – ударна пластина; 8 – гайка; 10, 11 – шків; 12 – ремінна передача; 13 – підшипники; 9 – отвір; 14 – посадкова площадка; 15 – знімне днище; 16 – виріз; 17 – перегородка; 18 – лоток; 19 – мембрана; 20 – отвір; 21 – заслінка; 22 – пластина; 23 – вікно для зерна; 24 – перегородка; 25 – кришка; 26 – отвір для засипання зерна; 27 – отвори перфорації; 28 – шпилька; 29 – шнур; 30 – дно; 31 – захисний козирок.

Елікор 1-4 М (рис. 1.4), що виготовляється в Білорусії, на відміну від ІКОР-5, має вищу продуктивність, але більшу споживану потужність.

Просту і надійну конструкцію має подрібнювач коренеплодів ІКП-1,5 (рис. 1.5). Крім того, він вирізняється відносно високою продуктивністю (500 кг/год і більше) і здатністю різати коренеплоди скибочками.



а)



б)

Рис. 1.3. Подрібнювачі кормів українського виробництва: а – ІКОР-5; б – подрібнювач коренеплодів



Рис. 1.4. Подрібнювач кормів Елікор 1-4 М



Рис. 1.5. Подрібнювач коренеплодів ІКП-1,5

Як показав проведений аналіз, наявні подрібнювачі мають велику енергоємність, складні конструктивно, не мають захисту робочих органів у разі потрапляння каміння або металевих включень або мають низьку продуктивність. Практично всі розглянуті агрегати для подрібнення коренебульбоплодів не здатні різати їх на скибочки. Конструкцією більшості з розглянутих подрібнювачів є неможливість своєчасного виведення готового продукту із зони різання, що призводить до непотрібного подрібнення коренеплодів, втрати соку, а, отже, і поживних речовин.

Вивчення процесів подрібнення і конструкцій подрібнювачів неодноразово проводилося багатьма авторами: Аюгіним М.П., Бойком В., Босим Є. С., Бремергом Г. І., Василенком І. Ф., Вольваком С. Ф., Горячкіним В. П., Єрмічовим В. О., Желіговським В. О., Зябловим В. О., Івашковим А. А., Кононовим Б. В., Кузьмовим М. Т., Куктою Б. М., Кузьмінім А. В., Курдюмовим В. І., Лемаєвою М. М., Ліпінським В. І., Матвєєвим О. І., Мейлахс І. І., Мещеряковим Б. В., Мішинським В. І., Мянде А. Е., Некрашевичем В. Ф., Новіковим Г. І., Прокопцевим П. І., Резніком М. Є., Сабліковим М. В.,

Свистуновим І. І., Тітенком А. В., Тищенком І. І., Улановим І. О., Шаповаловим В. І., Шухановим С. М., Ядревським О. П. тощо.

Проведений аналіз наукових праць засвідчив, що до основних параметрів, які впливають на енерговитрати та якість процесу подрібнення кормів, належать: швидкість різання, вид ріжучого інструмента та його розташування, геометричні параметри ріжучого інструмента і на сьогодні не існує єдиної думки про те, який тип ножів, їх розташування, спосіб різання застосовувати для цього процесу. Тому проведемо аналіз основних параметрів, що впливають на подрібнення.

Найбільший вплив на енерговитрати під час подрібнення має швидкість різання. Аналіз науково-технічної та патентної літератури показує: збільшення швидкості різання веде до зниження витрат енергії на процес подрібнення. Так, наприклад, під час подрібнення листостеблової маси і рисової соломи Н. Є. Резніком і Н. Ахметовим доведено, що питома робота різання знижується при збільшенні швидкості різання.

Вибір різального інструменту (пуансон, різець або лезо) здійснюють залежно від особливостей взаємодії різального інструменту і матеріалу. Різання тим чи іншим інструментом ефективніше застосовувати для конкретної групи матеріалів. Для подрібнення м'яких матеріалів найефективніший вид різання лезом. При цьому витрати енергії на процес подрібнення мінімальні.

М. А. Барсов, досліджуючи подрібнення кісток сільськогосподарських тварин, показав, що ефективніший у даному випадку вид різання різцем, а застосування леза призводить до зростання енерговитрат у середньому на 30 %. Низка вчених встановили, що зміна кута заточування ножа в діапазоні 30... 90 ° призводить до збільшення зусилля різання приблизно в 1,4 раза. Як найбільш оптимальне значення можна рекомендувати кут заточування ножа 12...22°.

Одним із важливих параметрів різального інструменту є кут ковзання. Думки про вплив кута ковзання на витрати енергії неоднозначні, а часом і протилежні. Проаналізувавши експериментальні дані вчених можна дійти висновку, що оптимальний кут ковзання леза лежить у межах 25...60°.

Одним із критеріїв оцінки роботи машин для подрібнення продуктів є зусилля різання або питомі витрати. При визначенні зусилля різання в основі лежить формула, виведена В. П. Горячкіним:

$$P = P_o + P_\delta + P_V, \quad (1.1)$$

де P – загальний сумарний опір різанню; P_o – деякий постійно діючий опір; P_δ – опір, що характеризує зусилля, яке витрачається на деформацію стружки; P_V – опір, що характеризує зусилля, яке витрачається на відокремлення стружки і надання їй кінетичної енергії.

З виразу видно, що загальний опір різанню складається з трьох частин: деякий постійно діючий опір, що не залежить від часу; опір, який характеризує зусилля, що витрачається на деформацію стружки зрізаючого шару, у функції поперечного перерізу; зусилля, що витрачається на відкидання відрізаної стружки в бік зі швидкістю, яка дорівнює V .

Остальцев В. П. пропонує використовувати формулу (1) у вигляді:

$$P = P_o + K \cdot a \cdot \Delta + \varepsilon \cdot a \cdot \Delta \cdot V^2, \quad (1.2)$$

де K – коефіцієнт деформації, віднесений до одиниці площі поперечного перерізу зрізаного шару; a і Δ – ширина і товщина шару, що зрізається, відповідно, м; V – лінійна швидкість різання, м/с; ε – коефіцієнт.

Г. І. Новіков присвятив свої дослідження процесу утворення стружки та аналізу основних співвідношень її елементів. Згідно з отриманими результатами Новікова стружка під час різання коренеплодів за формою аналогічна стружці, яку отримують під час різання тендітних металів, або дерева, або задернілого ґрунту тощо. Г. М. Новіков у своїх дослідженнях підтвердив прийнятність використання раціональної формули В. П. Горячкіна під час дослідження процесу різання коренебульбоплодів, а також показав, що форма і розміри ріжучого інструмента мають істотний вплив на силу різання.

Для оцінки енергоефективності роботи агрегату використовується узагальнений показник, який називають питомою енергоемністю операції.

$$\mathcal{E} = \frac{W}{Q\lambda}, \quad (1.3)$$

де W – споживана електродвигуном подрібнювача потужність;

Q – продуктивність подрібнювача;

λ – ступінь подрібнення.

В. І. Липинський, досліджуючи процес подрібнення коренеплодів у розробленому апараті з кільцевими ножами, що являє собою розташований на рамі кожух циліндричної форми з нерухомими ножовими кільцями усередині, у нижній частині яких установлено диск із лопатями, визначив питому енергоємність процесу подрібнення за формулою:

$$\mathcal{E} = \frac{M_B \cdot \omega}{102 \cdot Q}, \quad (1.4)$$

де \mathcal{E} – питома енергоємність процесу подрібнення, кВт×год/т; M_B – момент обертання, необхідний для подолання опору в апараті для подрібнення; ω – кутова швидкість диска, с⁻¹; Q – пропускна здатність установки, т/год.

Як показують попередні дослідження використовуючи отриману залежність, можна визначати складові енерговитрат розробленого ним подрібнювача з кільцевими ножами.

В. І. Липинський в експериментах показав, що на тертя об диск і лопатки витрачається 3...5% від усієї енергії, що витрачається, на різання – 80...85% і на деформацію і переміщення – 12...15%.

Б. В. Кононов і А.В. Титенок, досліджуючи процес у подрібнювачі корене-бульбоплодів у пристрої з вертикальним транспортером зі скребками і пакетом паралельних, встановлених під кутом до транспортера, ріжучих елементів і струндійшли висновку про відповідність складових сили теоремі В.П. Горячкіна.

І. І. Тищенко та О. П. Ядревський, розробивши подрібнювач коренеплодів із дисковим ножом і дослідивши процес різання, пропонують загальне зусилля подрібнення коренеклубнеплодів визначати за формулою:

$$F = F_{рез} = F_1 + F_2 \cdot \cos\beta, \quad (1.5)$$

де $F_{рез}$ – сума сил, що витрачається на руйнування зв'язків у коренеплодах і відгинання скибочок;

F_1 – сила тертя між опорною гранню ножа і коренеплодом;

F_2 – сила тертя між робочою гранню ножа і скибочками, що відрізаються;

b – кут заточування ножа.

Курдюмов В. І. і Хабарова В. В. для подрібнювачів транспортерно-ножового типу з віброуючими ножами вивели залежність потужності, необхідної для різання:

$$W_0 = \frac{v_{mp} \left(F_{тр.в} \cos \frac{\beta}{2} + P_{рез.в} \sin \frac{\beta}{2} \right)}{360\eta} + \frac{v_{mp} l_n g m_{ноз}}{360\eta} + \frac{2 \cdot (m_{пл} + m_n) (\pi f_v A)^2}{t} + \frac{v_{mp} K_p ((m_1 + m_2) g + N_1)}{360\eta} \quad (1.6)$$

де v_{mp} – швидкість транспортера, м/с;

$F_{тр.в}$ – сила тертя вібрації, Н;

$P_{рез.в}$ – сила різання з вібрацією, Н;

l_n – відстань між роликками транспортера, м;

$m_{ноз}$, $m_{пл}$, m_n – відповідно маса погонного метра транспортера, плити та ножів, кг;

f_v – частота коливань, Гц;

A – амплітуда коливань, м;

K_p – коефіцієнт опору перекочуванню коренеплоду;

m_1 , m_2 – маса подрібнюваного матеріалу та поверхні транспортування відповідно, кг;

η – ККД приводу;

t – час подрібнення

Висновки по розділу.

Проведений аналіз наукових праць, присвячених процесу подрібнення коренебульбоплодів, показує, що зусилля різання і потужність, що витрачається на нього, залежать від великої кількості чинників, і немає єдиної думки про дію цих чинників на процес різання коренеплодів.

Таким чином, процес подрібнення коренебульбоплодів потребує додаткових досліджень.

РОЗДІЛ 2

БУДОВА РОЗРОБЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вивчення процесу різання коренебульбоплодів розроблено лабораторну установку подрібнювача. Подрібнювач коренебульбоплодів складається з корпусу 1 (рис. 2.1), електродвигуна 2, пасової передачі 3, кронштейна кріплення опорних підшипників 4, кришки 5, завантажувального бункера 6, додаткової похилої перегородки 7, вивантажувальної горловини 18, ріжучого диска 12, який установлено на валу 19, який містить диск 20 (рис. 2.1), вертикальні 11 і горизонтальні ножі 9, що кріпляться до диска ножа 20 гвинтами 10, лопатки 21 і запобіжну муфту, що складається з гвинта 15, притискної 16 і посадкової 17 шайб. На ріжучому диску 12 виконані радіально розташовані вікна, в яких встановлені вертикальні ножі 11.

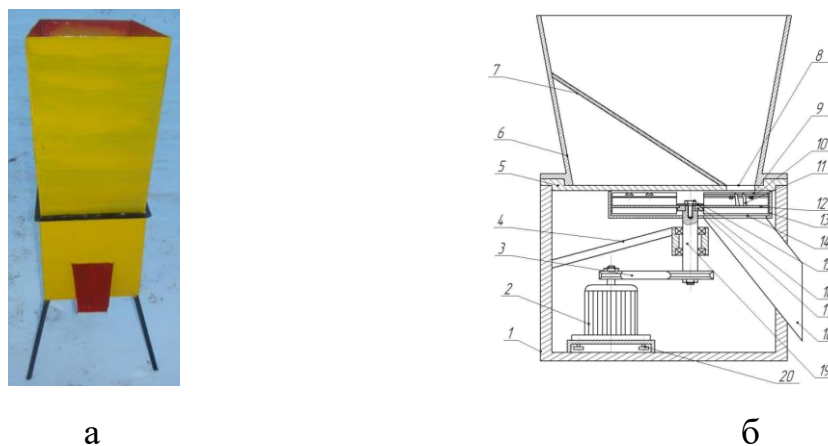


Рис. 2.1. Подрібнювач коренебульбоплодів: а – фото; б – конструкційна схема; 1 – корпус; 2 – електродвигун; 3 – ремінна передача; 4 – кронштейн кріплення опорних підшипників; 5 – кришка; 6 – завантажувальний бункер; 7 – похила перегородка; 8 – завантажувальне вікно; 9 – горизонтальний ніж; 10 – гвинт; 11 – вертикальний ніж; 12 – ріжучий диск; 13 – відбійник; 14 – розвантажувальне вікно; 15 – гвинт; 16 – притискна шайба; 17 – посадкова шайба; 18 – розвантажувальна горловина; 19 – приводний вал; 20 – натяжний пристрій.

Подрібнювач працює таким чином. Коренебульбоплоди завантажуються в завантажувальний бункер 6. Під власною вагою вони скочуються додатковою похилою перегородкою 7 до завантажувального вікна 8, розміщеного на периферії ріжучого диска 12, через яке потрапляють у камеру подрібнення, утворену ріжучим диском 12 і відбійником 13. По периферії у створі завантажувальної горловини 8 обертаються ножі ріжучого диска 12. Під час підходу до коренеплоду вертикальні ножі 11 роблять у ньому вертикальні надрізи, а горизонтальні 9 які йдуть слідом – відрізають стружку.

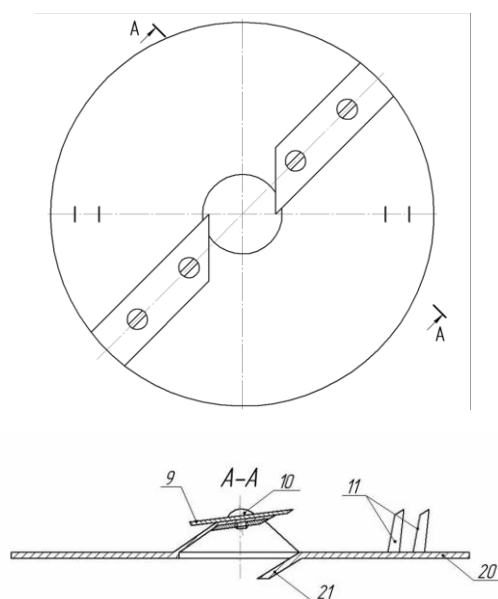


Рис. 2.2. Схема ріжучого диска з двома горизонтальними ножами.

Відстань між вертикальними ножами 11 визначають товщину відрізаної скибочки, а частота обертання ріжучого диска – його висоту. Відрізані скибочки через радіально розташовані на ріжучому диску вікна лопатками 21 переміщуються до вивантажувального вікна 14 і через вивантажувальну горловину 18 виводяться з камери подрібнення.

Для дослідження процесу різання коренеплодів було виготовлено кілька ріжучих дисків з 1, 2 і 3 горизонтальними ножами (рис. 2.3). Максимальні значення кутів різання горизонтальних і вертикальних ножів (рис. 2.3, б) обиралися згідно з рекомендаціями.



а

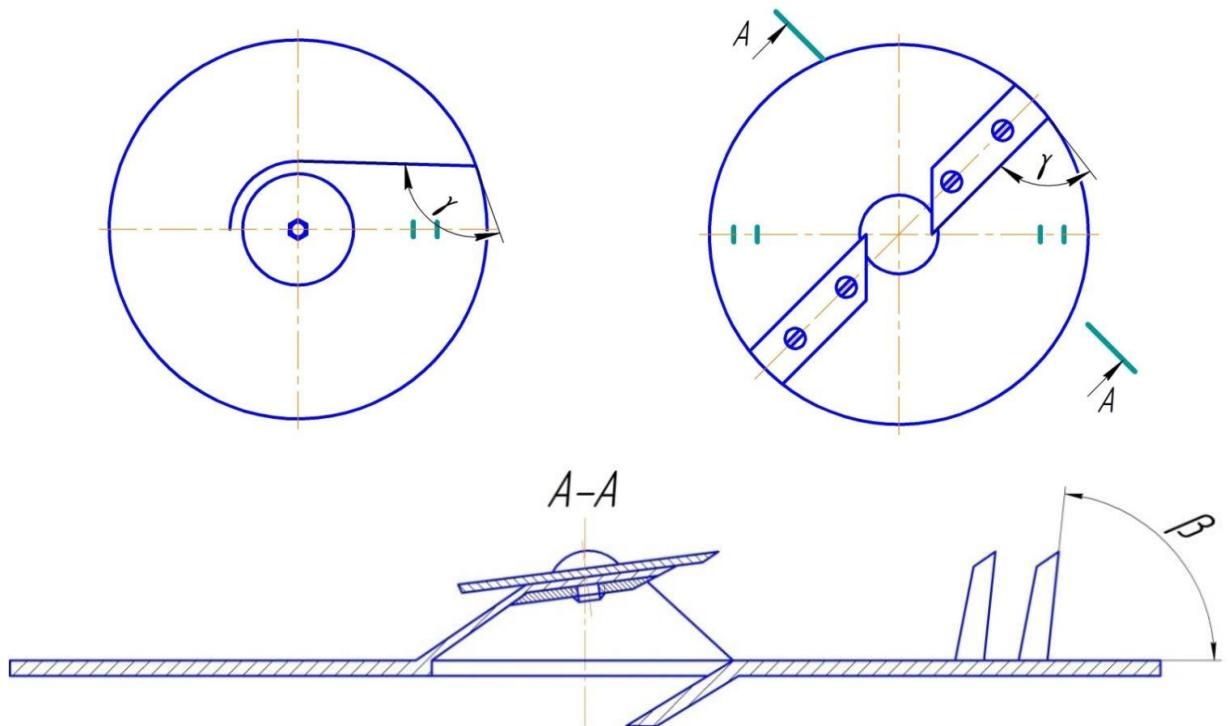


Рис. 2.3. Ріжучі диски з одним і двома горизонтальними ножами: а – фото; б – схема розташування горизонтальних ножів.

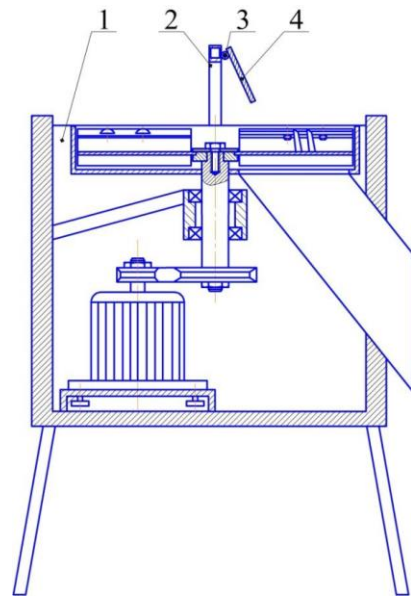
Для вивчення процесу защемлення бульби до подрібнювача було виготовлено пристосування (рис. 2.3), яке складається з кронштейна 2 і з'єднаної з ним за допомогою шарніра 3 пластини 4, що імітує стінку завантажувального бункера.

Граничний кут, за якого починається защемлення, визначали на лабораторній установці (рис. 2.5). Для цього між горизонтальним ножем і пластиною 4 (рис. 2.5) клали бульбу картоплі заданого діаметра $d_{кл}$ і обертали ріжучий диск. У момент зіткнення бульби з пластиною фіксували, перекочується коренеплід чи защемляється. Якщо бульба перекочувалася, то зменшували кут нахилу пластини і знову повторювали експеримент доти, доки не спостерігалось

защемлення коренебульби плода. Кут нахилу пластини, що імітує стінку бункера, зменшували з 90° до моменту защемлення.



a



б

Рис. 2.4. Лабораторна установка для визначення сили різання та кута защемлення: а – загальний вигляд; б – схема; 1 – подрібнювач; 2 – кронштейн; 3 – шарнір; 4 – пластина.

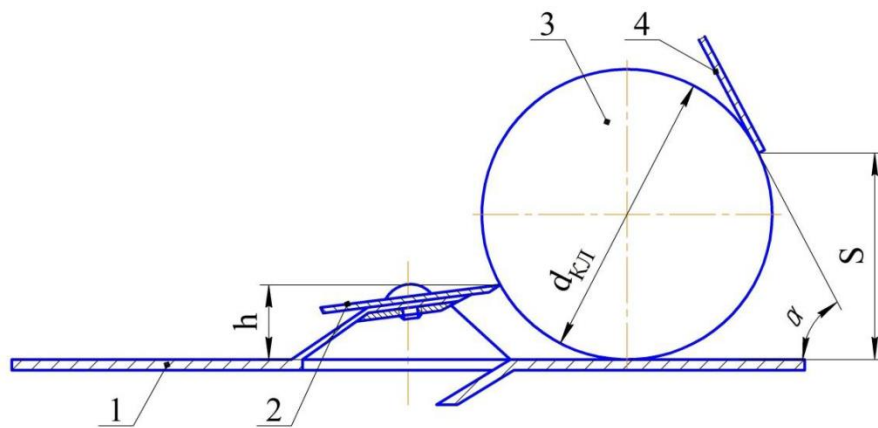


Рис. 2.5. Схема до вивчення процесу защемлення бульби між горизонтальним ножом і похилою стінкою завантажувального бункера подрібнювача: 1 – ріжучий диск; 2 – горизонтальний ніж; 3 – бульба; 4 – пластина

Після того, як для бульби заданого діаметра знаходили кут защемлення, змінювали зазор S і знову проводили пошук потрібного кута. Після визначення кутів защемлення за різних значень зазору S змінювали виліт h горизонтального

ножа і повторювали досліди. Експерименти проводилися для бульб різного діаметра. На підставі отриманих даних будували графіки.

Експерименти з визначення сили різання проводили на розробленій лабораторній установці зі спеціальним пристосуванням (рис. 2.5), досліджували вплив кута нахилу стінки бункера α та виліт ножа h (рис. 2.6).

Для визначення зусилля, необхідного для різання коренебульбоплодів, встановлювали необхідні кут нахилу α і виліт горизонтального ножа h . Між горизонтальним ножом і пластиною (рис. 2.6) клали бульбу картоплі та за допомогою динамометричного ключа за гвинт 15 (рис. 2.2) обертали ріжучий диск.

Після того, як бульба, перемістившись під дією горизонтального ножа, торкалася встановленої під заданим кутом α пластини, і розпочинався процес різання, за шкалою динамометричного ключа фіксували зусилля і заносили в таблицю. Далі змінювали значення кута α і вильоту ножа h і знову проводили заміри сили різання.

За отриманими даними будувалися графіки зміни зусилля різання залежно від кута нахилу стінки бункера і вильоту ножа.

Експеримент проводили в такій послідовності. Встановлювали необхідні конструктивні та технологічні параметри, вмикали електродвигун, засипали в бункер заздалегідь зважене наважування масою 10 кг, засікали час, за який відбудеться подрібнення бульб, і підраховували пропускну здатність подрібнювача за відомою формулою.

З метою визначення енергоємності процесу подрібнення під час проведення дослідів за допомогою приладу Mastech MS 2203 фіксували за приладами такі показники: потужність холостого ходу, потужність на привід ріжучого диска за усталеного режиму роботи.

Після закінчення дослідів з готового продукту відбирали наважку, розділяли її на фракції, кожену з яких зважували на вагах ВК-300.01 з точністю до 0,01 г і підраховували їхнє відсоткове співвідношення за масою.

Фракції мали такі розмірності (мм): до 15; від 15,1 до 20; від 20,1 до 30; понад 30.

Поділ на фракції здійснювали за допомогою ручного класифікатора

Оскільки привід робочого органа можна здійснити різними способами, то з метою порівняння конструкції робочих органів різних подрібнювачів основним критерієм оптимізації нами прийнято показник, що характеризує корисні витрати потужності, віднесені до одиниці маси готового продукту з урахуванням ступеня подрібнення.

Однак тільки питомі енерговитрати, що відображають ефективність процесу подрібнення, не можуть виступати як критерії роботи машини. Крім того, готовий корм має відповідати зоотехнічним вимогам [6], згідно з якими товщина скибочок має бути 5...12 мм, ширина 10...50 мм. Тому нами запропоновано показник, що оцінює відсотковий вміст частинок розміром 5...15 мм у загальній масі готового продукту.

Відсотковий вміст фракції розміром 5...15 мм прийняли другим критерієм оптимізації.

Важливе значення має пропускну здатність подрібнювача.

Вона враховується під час проектування технологічної лінії приготування кормів, а також необхідна для визначення показників дозування. На підставі цього третім критерієм оптимізації прийняли пропускну здатність подрібнювача коренебульбоплодів.

З метою зниження часу і витрат енергії на проведення експериментів, кількості проведених дослідів, лічильної роботи, коштів на виготовлення і модернізацію лабораторного та дослідного зразків подрібнювача під час дослідження процесів защемлення і різання бульб застосовувалися методи теорії планування експерименту [2].

У роботі використовувалися методики планування активного експерименту, опис яких викладено в роботах Адлера Ю. П., Альошкіна В. Р., Мельникова С. В. та ін. авторів [2].

Межі зміни чинників обирали з урахуванням результатів і рекомендацій, наданих у численних роботах із досліджень робочого процесу подрібнювачів кормів, а також виходячи з конструкційних особливостей розробленого подрібнювача коренебульбоплодів. Проведення як повного, так і дробового експериментів здійснювалося в такій послідовності: вибір математичної моделі; побудова плану експерименту; визначення коефіцієнтів регресії; проведення оцінки значущості коефіцієнтів отриманої регресії; аналіз рівняння побудованої регресії.

Коефіцієнти регресії розраховували за отриманими під час реалізації експерименту результатами. За цими коефіцієнтами оцінювали вплив відповідного фактору: зі збільшенням значення коефіцієнта зростає і вплив фактору на критерій оптимізації.

З метою відсіювання незначущих чинників і фіксації їх на оптимальному рівні спочатку реалізовували експерименти першого порядку, а для визначення оптимальних параметрів значущих чинників проводили додаткові експерименти зі зміною чинників на трьох рівнях.

Оскільки випадкові помилки підкоряються закону нормального розподілу [4], і в разі реалізації багаторазових вимірювань однієї й тієї самої величини, результати дослідів перебувають у межах $\pm 3\sigma$, а довірча ймовірність становила 95 %, усі досліди з дослідження процесу різання проводили в трикратній повторності.

З метою створення однакових умов під час проведення експериментів із вивчення процесу різання бульб і виключення появи систематичних помилок через вплив чинників, що не підлягають контролю, під час планування та проведення експерименту порядок проведення дослідів рандомізували за допомогою таблиць випадкових чисел.

З метою створення однакових умов під час проведення експериментів із вивчення процесу різання бульб і виключення появи систематичних помилок через вплив чинників, які не підлягають контролю, під час планування та

проведення експерименту порядок проведення дослідів рандомізували за допомогою таблиць випадкових чисел [6].

Обчислення та оцінку значущості коефіцієнтів отриманих моделей регресій, перевірку адекватності моделей і побудову поверхонь відгуків та їхніх двовимірних перерізів проводили в програмі Portable Statgraphics Centurion 15.2.11.0 for Windows згідно з рекомендаціями [5,]. Фактор, що підлягає аналізу, вважали значущим, якщо його значення не перевищувало P-Value (р-значення), що зазначено в таблиці дисперсійного аналізу, чисельного значення, що дорівнює 0,05. Значимість кожного досліджуваного фактора і його взаємодій з іншими факторами оцінювали за графіком Парето.

Висновки по розділу

Оптимізацію досліджуваних чинників під час вивчення процесу різання здійснювали методом розв'язання компромісної задачі шляхом накладення двовимірних перерізів, унаслідок чого визначалося таке поєднання чинників, за якого спостерігаються мінімальні питомі енерговитрати на подрібнення одиниці коренебульбоплодів за забезпечення необхідної якості готового продукту.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою підтвердження теоретичних розрахунків згідно з розробленою програмою проведено дослідження, спрямовані на обґрунтування умов защемлення бульби картоплі між горизонтальним ножем і похилою стінкою завантажувального бункера. Згідно з методикою, описаною в розділі 2, вивчався вплив розміру бульби $d_{кл}$, вильоту h ножа і зазору S (рис. 2.6) між ріжучим диском і крайкою похилої стінки на її кут, за якого бульба не перекочується через ніж, а відбувається її защемлення. Значення вильоту ножа h встановлювали, виходячи із зоотехнічних вимог, що висуваються до подрібнених частинок коренебульб плодів. Мінімальне значення зазору S обмежене максимальним вильотом ножа, максимальне - розмірами досліджуваних бульб. Дослідження проводили за кута різання горизонтального ножа $\gamma = 45^\circ$ (рис. 3.1).

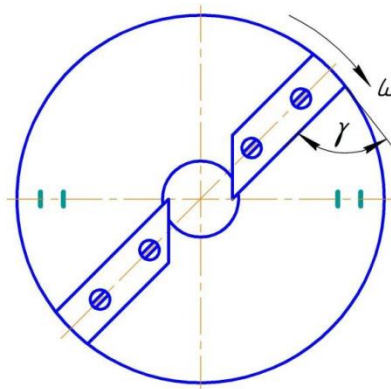


Рис. 3.1. Схема встановлення горизонтальних ножів на ріжучому диску

У результаті проведених експериментів виявлено, що зі збільшенням зазору S (рис. 3.6) незалежно від розмірів бульби і вильоту ножа значення граничного кута защемлення знижується (рис. 3.2...3.4). Це пояснюється тим, що зі зменшенням зазору між кромкою похилої стінки і ріжучим диском знижується момент перекидання бульби відносно ріжучої кромки горизонтального ножа. З цієї ж причини відбувається зменшення кута α при зниженні вильоту ножа h .

Як видно з графіків, за вильоту горизонтального ножа $h = 20$ мм кут нахилу стінки бункера за розмірів бульби, менших за 70 мм, досягає значення 90° і за зазору S , що дорівнює 30 мм, гарантовано забезпечує затискання бульби (рис. 3.2, 3.3).

За розмірів бульби, менш ніж 60 мм, кут нахилу стінки бункера набуває значення 90° за умови вильоту ножа понад 10 мм (рис. 3.2), у разі зниження h до 5 мм необхідно зменшувати кут α до $40\dots 60^\circ$.

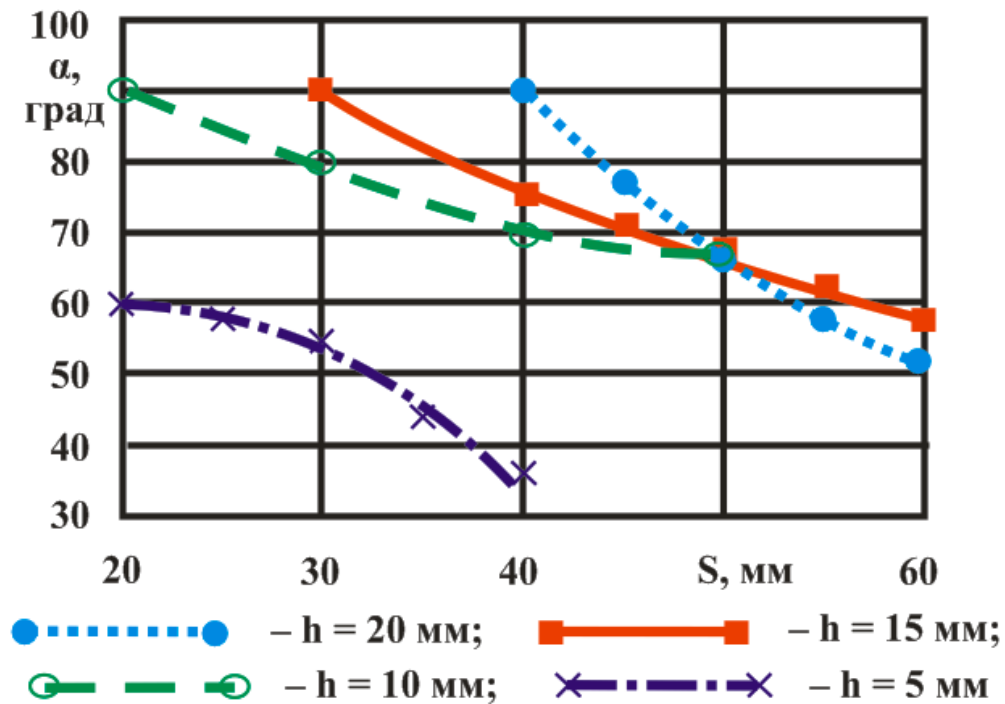


Рис. 3.2. Вплив зазору S на кут защемлення бульби при $d_{KL} = 60$ мм

У разі подрібнення бульб, діаметр яких становить близько 70 мм, для гарантованого защемлення бульби при $\alpha = 90^\circ$ необхідно виліт ножа встановлювати не менше 15 мм (рис. 3.3). У разі вильоту ножа менше 10 мм защемлення не відбувається і бульба перекочується через ніж за будь-яких значень зазору S .

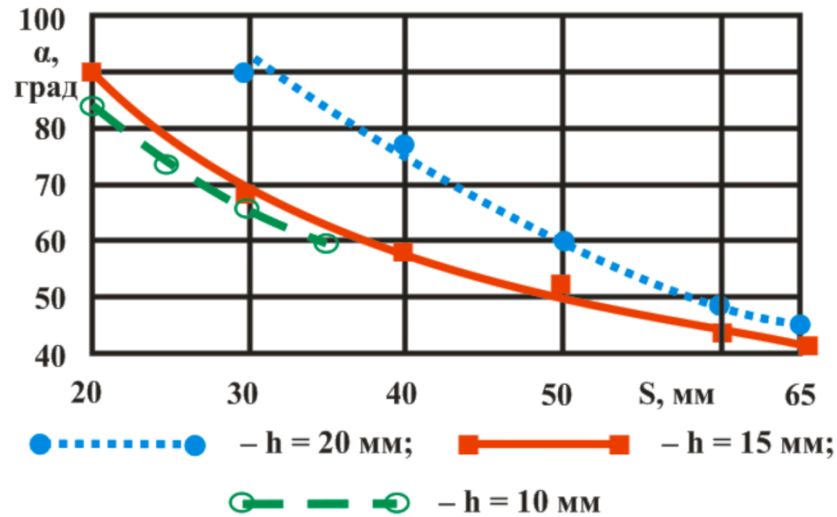


Рис. 3.3. Вплив зазору S на кут зацмлення бульби при $d_{KL} = 70$ мм

За діаметра бульби понад 80 мм кут нахилу стінки не досягає максимально можливого значення 90° , незалежно від S і h (рис. 3.4). Тому під час подрібнення коренеплодів, діаметр яких перевищує 80 мм, необхідно задавати h , що дорівнює 15...20 мм, а кут нахилу α – 40...60°.

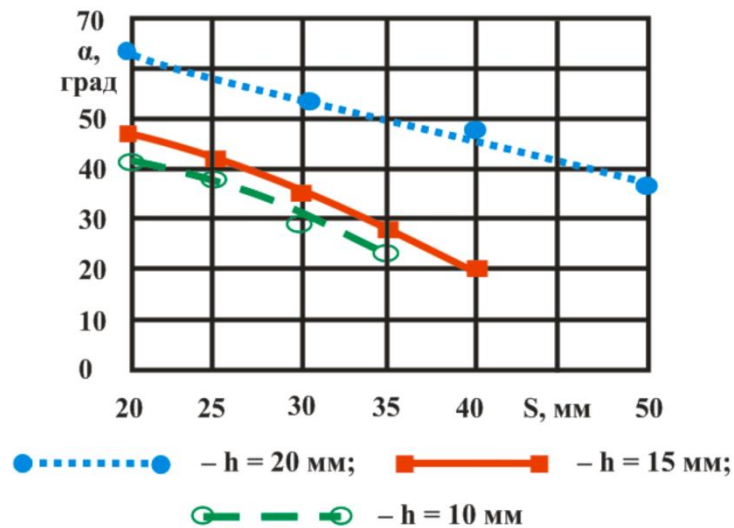


Рис. 3.4. Вплив зазору S на кут зацмлення бульби при $d_{KL} = 80$ мм.

Також розглядався випадок із кутом різання $\gamma = 110^\circ$. У цьому випадку бульба під дією горизонтального ножа зміщувалася до центру обертання ріжучого диска, і зацмлення коренеплоду не спостерігалось. Тому під час подальших досліджень кут різання приймали меншим за 90° .

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що з метою гарантованого зацмлення бульби між горизонтальним ножом і стінкою

завантажувального бункера в розробленому подрібнювачі необхідно зазор S між кромкою стінки бункера виконувати мінімальним ($S = 20$ мм), виліт ножа h – максимальним ($h = 20$ мм), кут нахилу стінки бункера під час подрібнення коренебульбоплодів розміром до 80 мм може дорівнювати 90° , а під час подрібнення бульб розміром понад 80 мм - мінімум 60° , кут різання не повинен перевищувати 90° .

Визначення сили різання проводили згідно з методикою, описаною в розділі 2. Вивчався вплив кута різання γ горизонтального ножа (рис. 3.1) і кута нахилу стінки бункера (рис. 2.6). Значення кута різання ножа γ встановлювалися, виходячи з рекомендацій і становили близько 45° [5].

Значення кута α нахилу стінки бункера приймалися, виходячи з результатів з визначення кута защемлення.

У результаті проведених експериментів виявлено, що зі збільшенням кута нахилу стінки зусилля різання знижується і за збільшення α з 30 до 90° зменшується в 1,67...2,45 рази (рис. 3.4).

Зменшення кута різання з 55 до 40° також веде до зниження зусилля різання в 1,17...2 рази.

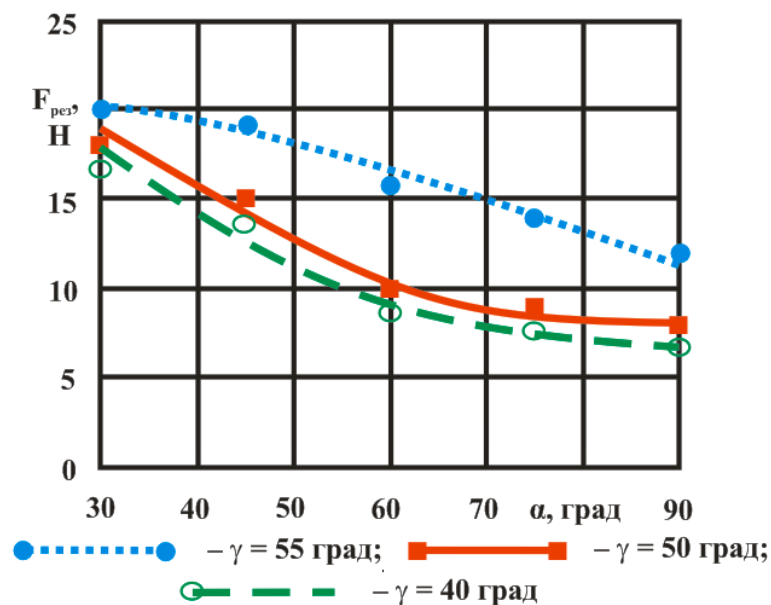


Рис. 3.4. Вплив кута різання горизонтального ножа і кута нахилу стінки бункера на силу різання

Другим етапом вивчення процесу різання було з'ясування працездатності розробленого подрібнювача коренебульбоплодів у разі використання різних варіантів ріжучого диска та визначення найперспективнішої конструктивно-технологічної схеми установки.

Вивчався вплив частоти обертання n ріжучого диска і кількості горизонтальних ножів N на робочі характеристики подрібнювача. Для цього було проведено серію однофакторних експериментів під час подрібнення коренебульбоплодів.

Випробування проводили на картоплі, середній діаметр бульб якої становив 43...45 мм. Частоту обертання ріжучого диска задавали такою, що дорівнювала 1150 хв⁻¹, 1128 хв⁻¹, 880 хв⁻¹, 711 хв⁻¹ і 573 хв⁻¹. Дослідження проводили з двома варіантами ріжучих дисків: з одним і двома ріжучими горизонтальними ножами з кутом нахилу $\alpha = 45^\circ$ (рис. 3.4). Кут нахилу β вертикальних ножів на обох дисках також становив 45° (рис. 3.4, б). Кути нахилу горизонтальних і вертикальних ножів у 45° обрано як максимально рекомендовані значення кутів різання ножів [1].

Роботу подрібнювача коренебульбоплодів оцінювали за трьома критеріями: продуктивністю, питомими енерговитратами на подрібнення та відсотковим умістом частинок подрібненої фракції від 3 до 15 мм.

Аналіз отриманих залежностей (рис. 3.5 і 3.6) показує, що за максимальної частоти обертання ріжучого диска $n = 1150$ хв⁻¹ в обох випадках продуктивність максимальна ($Q = 540$ кг/год у разі різання одним ножем та $Q = 720$ кг/год у разі різання двома ножами), а питомі енерговитрати мінімальні ($E = 93$ Вт·год/т у разі різання одним ножем та $E = 56$ Вт·год/т – двома) у разі різання двома ножами. Число частинок з розміром 3...15 мм при різанні одним ножем становить $\Theta = 50$ %, двома ножами – $\Theta = 54$ %.

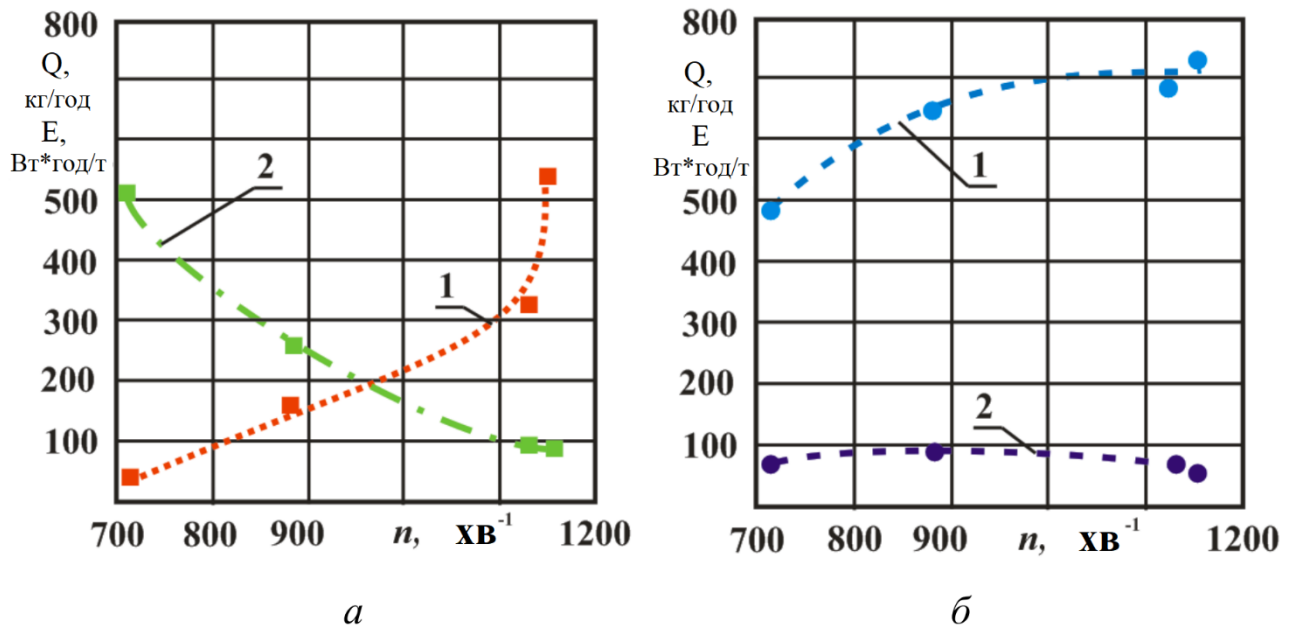


Рис. 3.5. Залежності продуктивності подрібнювача та його питомої енергоємності при подрібненні: а – одним горизонтальним ножом; б – двома горизонтальними ножами; 1 – продуктивність подрібнювача; 2 – питомі енерговитрати

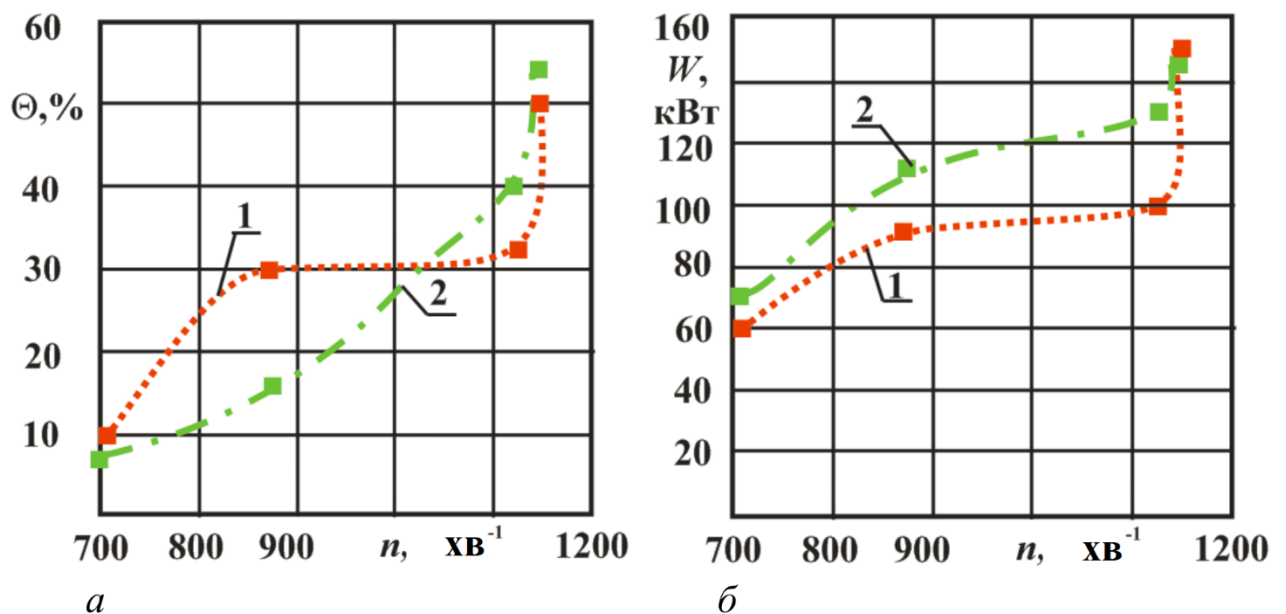


Рис. 3.6. Залежності а) відсоткового вмісту часток 3...15 мм Θ , б) споживаної потужності W під час подрібнення: 1 – одним горизонтальним ножом; 2 – двома горизонтальними ножами.

З метою вибору необхідного режиму роботи подрібнювача під час підготовки коренебульбонеплодів до згодовування тваринам різних груп (ВРХ,

свині, птахи) побудовано діаграми розподілу фракцій картоплі (рис.. 3.7 і 3.8), отримані під час подрібнення одним і двома ножами за різної частоти обертання ріжучого диска.

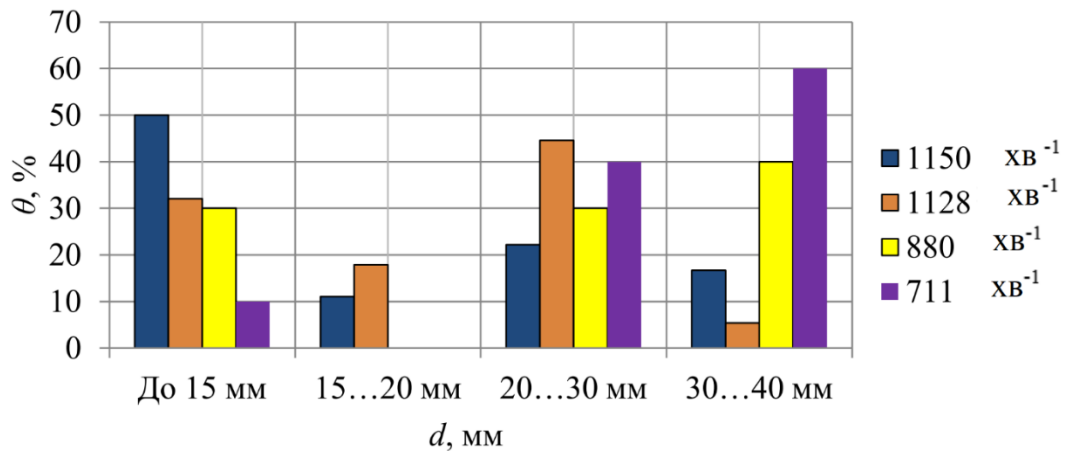


Рис. 3.7. Відсотковий вміст фракцій картоплі під час подрібнення 1 ножем.

З графіків видно, що в обох випадках зі збільшенням частоти обертання ріжучого диска вміст дрібної фракції зростає, а великої зменшується.

Можна зазначити, що з метою збільшення часток розміром до 15 мм необхідно збільшувати частоту обертання ріжучого диска до величини, не меншої за 1128 хв⁻¹. Під час подрібнення картоплі ріжучим диском із двома ножами кількість дрібної фракції зростає на 5...30 % (рис. 3.8).

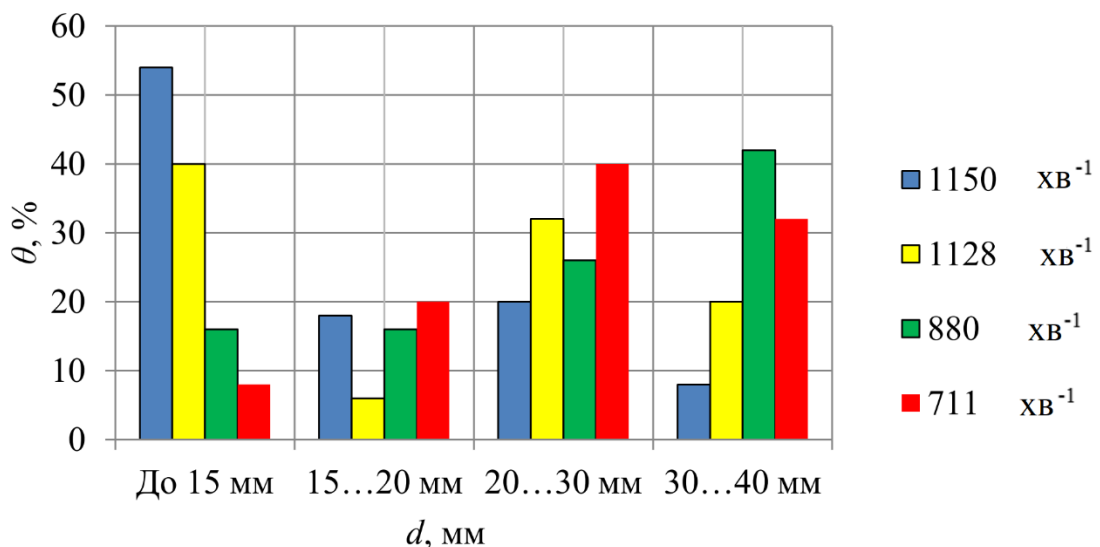


Рис. 3.8. Відсотковий вміст фракцій картоплі під час подрібнення 2 ножами.

Таким чином, на підставі проведених досліджень робочого процесу подрібнення коренебульбоплодів, можна зробити такі висновки:

1) для зниження сили різання кут нахилу стінки бункера має наближатися до 90° , кут різання горизонтальних ножів не повинен перевищувати 50° ;

2) для зниження питомих енерговитрат, збільшення продуктивності установки та вмісту фракції подрібнених коренеплодів розміром до 15 мм необхідно збільшувати кількість горизонтальних ножів і швидкість різання.

Після проведення однофакторних експериментів з метою встановлення оптимальних конструкційних параметрів подрібнювача коренебульбоплодів проведено дослідження методом активного експерименту.

З метою отримання математичної моделі та визначення ступеня впливу кожного з досліджуваних чинників під час дослідження процесу заземлення бульби реалізовано план Бокса-Бенкена для 3 чинників. Як досліджувані фактори брали: x_1 – виліт горизонтального ножа h ; x_2 – діаметр бульби $d_{кл}$; x_3 – зазор між кромкою похилої стінки і ріжучим диском S , мм. За критерій оптимізації прийнято кут нахилу α стінки завантажувального бункера.

Після реалізації дослідів за планом і обробки експериментальних даних розраховано коефіцієнти регресії та отримано математичну модель із 95 %-ою довірчою ймовірністю:

$$y = 66,46 + 11,75 \cdot x_1 - 20,5 \cdot x_2 - 12,25 \cdot x_3 + 8,19 \cdot x_1^2 + 8,5 \cdot x_1 \cdot x_2 + 7,5 \cdot x_1 \cdot x_3 - 7,31 \cdot x_2^2. \quad (3.1)$$

Коефіцієнти регресії, значення яких менші за довірчий інтервал, виключено з моделі.

Аналіз моделі (3.1) показує, що на граничний кут нахилу стінки завантажувального бункера найбільший вплив чинять розміри бульби ($b_2 = -20,5$), і їх зниження веде до збільшення кута α . Фактори x_1 і x_3 меншою мірою впливають на критерій оптимізації.

Незначимими в цих дослідах виявилися ефекти: x_{32} і x_2x_3 .

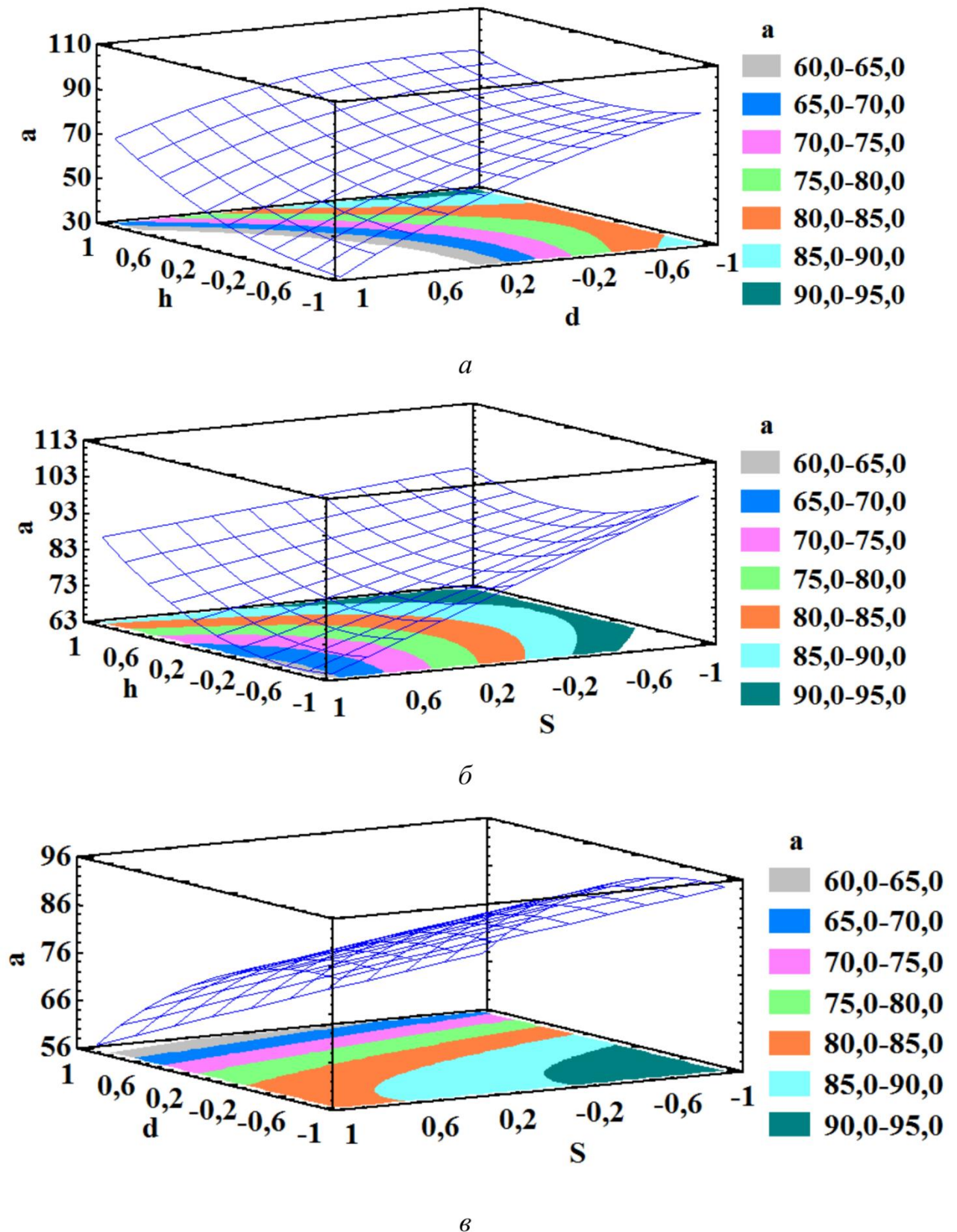


Рис. 3.9. Поверхні відгуків і двовимірні перерізи, що характеризують вплив досліджуваних факторів на кут нахилу стінки α : а – h і $d_{кл}$ за $S = -0,21$; б – h і S за $d_{кл} = -0,95$; в – $d_{кл}$ і S за $h = 0,87$.

Оптимальні значення досліджуваних чинників, за яких відбувається защемлення бульби, мають значення: виліт ножа $h = 19$ мм, зазор $S = 28$ мм, діаметр бульби має прагнути до мінімального значення, тобто $d_{\text{кл}} = 60$ мм.

Поверхня відгуку (рис. 3.9, а) в координатах вильоту ножа h і діаметра бульби $d_{\text{кл}}$ за фіксованого чинника $x_3 = -0,21$ показує, що зі збільшенням x_1 і зниженням x_2 критерій оптимізації зростає з 30° до максимального значення.

З аналізу поверхні відгуку (рис. 3.9, б) у координатах вильоту горизонтального ножа h і зазору S між кромкою похилої стінки та різальним диском за фіксованого значення чинника $x_2 = -0,95$ видно, що збільшення чинника x_1 від нижньої до верхньої меж і зниження чинника x_3 веде до зростання кута защемлення на 64%.

Зростання критерію оптимізації на 75% спостерігається і за одночасного зниження факторів x_1, x_2 (рис. 3.9, в).

Таким чином, у результаті реалізації плану експерименту отримано адекватну модель регресії, за допомогою якої визначено оптимальні значення досліджуваних чинників, за яких забезпечується гарантоване затискання подрібнюваних бульб.

Під час проведення пошуку оптимальних значень факторів, що впливають на процес різання, було реалізовано повний чотирифакторний експеримент 2^4 .

Фактор x_5 (швидкість різання ножів) змінювали, ґрунтуючись на результатах однофакторних експериментів. Рівні варіювання кута різання γ (рис. 2.4, а) горизонтальних ножів (фактор x_6) прийняті згідно з рекомендаціями [5]. Кут нахилу β вертикальних ножів (рис. 2.4, б) призначали з умови незатискання бульб, а також, виходячи з особливостей конструкції подрібнювача.

Після реалізації дослідів та опрацювання експериментальних даних розраховано оцінки коефіцієнтів регресії та отримано математичні моделі:

$$y_1 = 447,75 + 239,75 x_4 + 33,25 x_5 + 31,75 x_6 + 18,25 x_5 x_6; \quad (3.2)$$

$$y_2 = 144,99 - 62,65 x_4 - 30,22 x_5 - 17,03 x_6 + 20,43 x_4 x_5 + 16,18 x_4 x_6 - 15,84 x_5 x_6; \quad (3.3)$$

$$y_3 = 40,99 + 2,24 x_5 + 4,51 x_4 x_5 + 2,21 x_4 x_5 - 3,21 x_5 x_6. \quad (3.4)$$

Коефіцієнти регресії з абсолютною величиною, меншою за довірчий інтервал, виключені з моделей регресії. Аналіз моделі (3.2) показує, що на продуктивність подрібнювача найбільший вплив чинить кількість ножів ($b_4=239,75$), з його збільшенням спостерігається зростання продуктивності установки.

На енергоємність процесу (3.3) найбільший вплив також має фактор x_4 ($b_4=62,65$), зі збільшенням кількості ножів енергоємність процесу збільшується. На збільшення вмісту фракції 3...15 мм найбільш значуще впливає фактор x_3 – кут нахилу горизонтальних ножів ($b_6=2,24$), при його збільшенні вміст потрібної фракції збільшується. Аналіз математичних моделей (3.2), (3.3), (3.4) показав, що фактор x_7 – кут різання вертикальних ножів, у цих дослідах виявився незначущим.

Компромісну задачу для трьох критеріїв оптимізації розв'язували графоаналітичним методом за допомогою накладення двовимірних перерізів поверхонь відгуку. Визначали значення факторів, що дають мінімальні енерговитрати за найбільшого вмісту фракції 3...15 мм і максимальної продуктивності.

Двовимірні перерізи (рис. 3.10, а) в координатах кількості горизонтальних ножів N та швидкості різання V_p за фіксованих чинників x_3 та x_4 на нульовому рівні показують, що зі збільшенням кількості горизонтальних ножів та частоти їхнього обертання питомі енерговитрати знижуються зі 190 до 70 Вт·год/т, продуктивність збільшується з 298 до 637 кг/год, а відсотковий вміст фракції 3...15 мм – з 37 до 44 %.

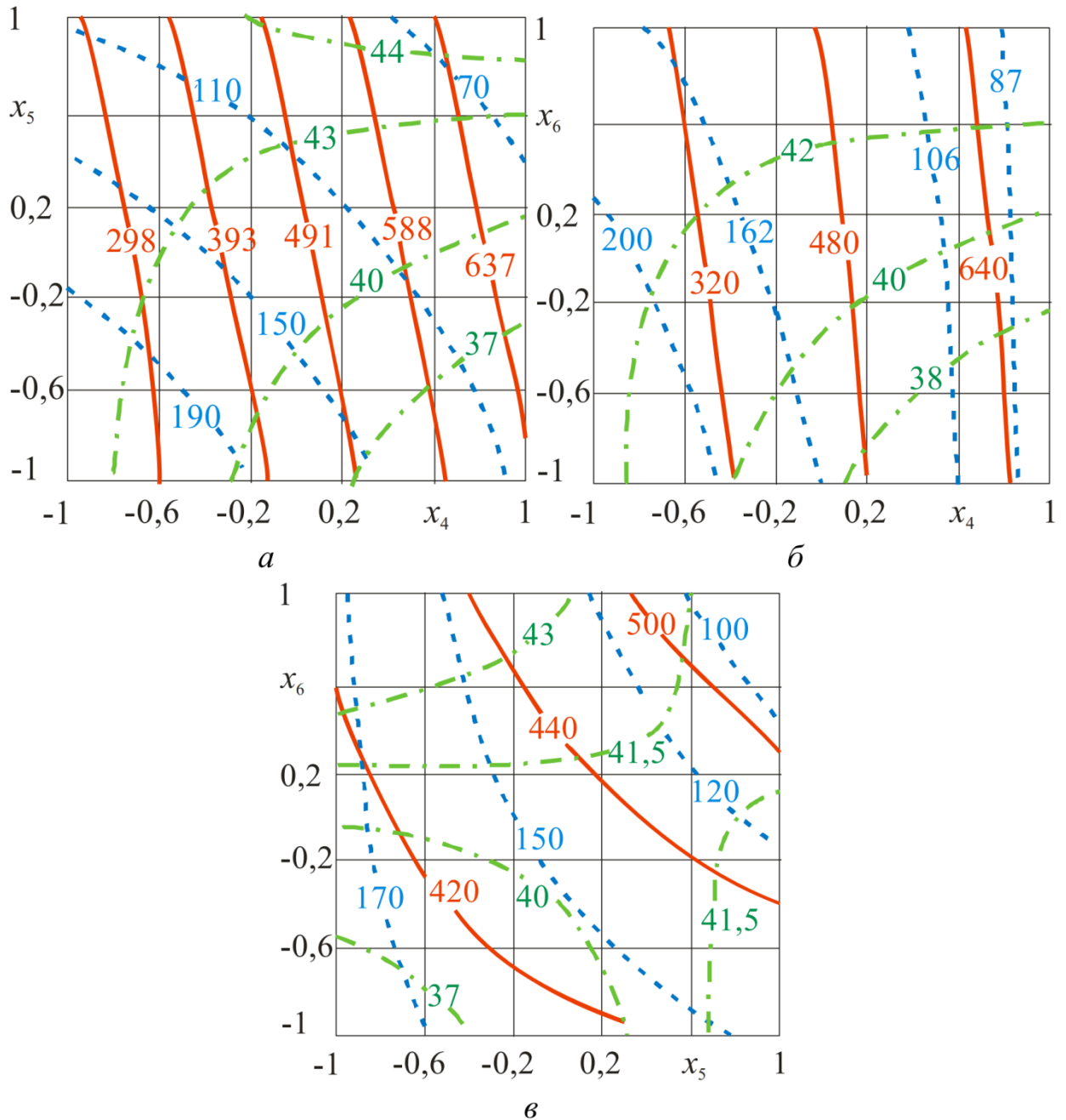


Рис. 3.10. Двовимірні перерізи поверхонь відгуків, що характеризують вплив досліджуваних факторів на критерії оптимізації:

- — — — — продуктивність Q , кг/ч;
- — — — — питомі енергозатрати E Вт*год/т
- · — · — · — — — — процентний вміст частинок фракції 3...15 мм

З аналізу двовимірного перерізу (рис. 3.10, б) у координатах кількості горизонтальних ножів N_i кута різання горизонтальних ножів γ за фіксованих чинників x_3 і x_4 на нульовому рівні видно, що збільшення досліджуваних

чинників від нижньої до верхньої меж призводить до зниження енерговитрат із 200 до 87 Вт·год/т, збільшення продуктивності з 320 до 640 кг/год, а відсоткового вмісту фракції 3...15 мм – із 37 до 44 %.

З аналізу двовимірних перерізів (рис. 3.10, в) у координатах швидкості різання V_p і кута різання горизонтальних ножів γ видно, що їх збільшення призводить до зростання продуктивності та зниження питомих енерговитрат, при цьому максимальний вміст частинок фракції 3...15 мм спостерігається за максимального кута різання.

Проведені дослідження засвідчили, що з чотирьох досліджуваних чинників такі ефекти як кількість горизонтальних ножів, швидкість різання та кут різання горизонтальних ножів, а також більшість їхніх парних взаємодій чинять суттєвий вплив на показники роботи подрібнювача коренебульбоплодів. Тому з метою вивчення й опису області оптимуму лінійного наближення недостатньо, і необхідно використовувати планування другого порядку.

Тому було реалізовано матрицю плану Бокса-Бенкена для 3 факторів.

Кількість горизонтальних ножів N змінювали від 1 до 3. Для цього було виготовлено додатковий різальний диск із трьома горизонтальними ножами (рис. 3.11).

Швидкість різання V_p змінювали від 9 до 12,5 м/с з інтервалом 1,5 м/с, а кут різання горизонтальних ножів γ – від 25 до 45° з кроком 10°.

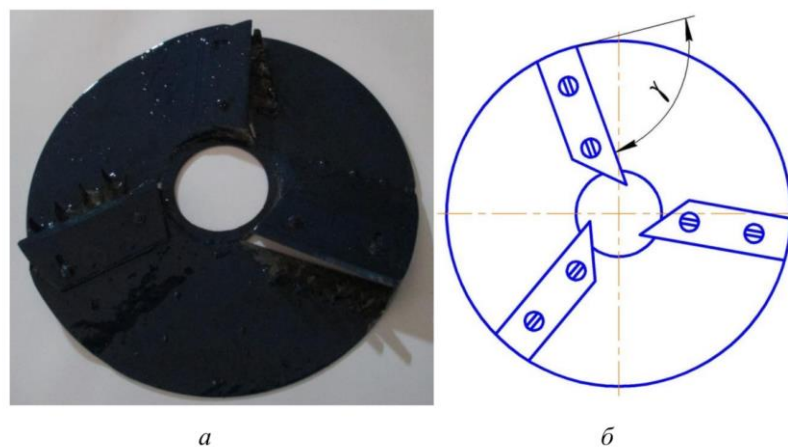


Рис. 3.11. Різучий диск подрібнювача коренебульбоплодів із трьома горизонтальними ножами: а – загальний вигляд; б – схема

Після реалізації дослідів за планом і опрацювання експериментальних даних отримано математичні моделі в розкодованому вигляді:

$$Q = -2211,9 + 1625,6 \cdot N + 165,7 \cdot V_p - 196,5 \cdot N^2 - 61,2 \cdot N \cdot V_p; \quad (3.5)$$

$$\Theta = 1358 - 619,1 \cdot N - 74,7 \cdot V_p - 6,7 \cdot \gamma + 43,6 \cdot N^2 + 26,9 \cdot N \cdot V_p + 3,3 \cdot N \cdot \gamma; \quad (3.6)$$

$$\Theta = 217,8 - 39,8 \cdot N - 25 \cdot V_p - 2,4 \cdot \gamma + 9,95 \cdot N^2 + 0,9 \cdot V_p \cdot \gamma - 0,08 \cdot \gamma^2. \quad (3.7)$$

Незначущі коефіцієнти регресії, тобто абсолютна величина яких менша за довірчий інтервал, виключені з моделей регресії. Адекватність отриманих моделей перевіряли за допомогою критерію Фішера. Отримані математичні моделі регресії адекватні з 95%-вою ймовірністю.

Аналіз моделі (3.7) відсоткового вмісту фракції 3...15 мм, показує, що найбільший вплив на критерій оптимізації має кількість горизонтальних ножів ($b_4 = -39,8$, $b_{44} = 9,95$).

Енергоємність процесу (3.6) також значно залежить від кількості горизонтальних ножів ($b_4 = -619,1$) – з їх збільшенням енергоємність процесу знижується. Збільшення швидкості різання ($b_4 = -74,4$) знижує енергозатрати.

На продуктивність установки (3.5) найбільший вплив має ($b_4 = -196,5$) кількість горизонтальних ножів.

Аналіз математичних моделей і пошук оптимальних значень факторів проводили також графоаналітичним способом за допомогою накладання двовимірних перерізів.

На рис. 3.12, а представлено двовимірні перерізи залежностей критеріїв оптимізації від кількості горизонтальних ножів N і швидкості різання V_p за фіксованого значення фактора x_3 на нульовому рівні. З аналізу двовимірних перерізів видно, що зі збільшенням максимальна продуктивність і мінімальні енерговитрати спостерігаються за 2...3 горизонтальних ножів і максимальної швидкості різання. При цьому кількість фракції 3...15 мм становить 49...65 %.

Аналіз двовимірних перерізів (рис. 3.12, б) у координатах кількості горизонтальних ножів N і кута різання α показує, що в інтервалі $N = 2...3$ і $\gamma =$

30...37° спостерігаються найкращі умови різання: максимальна продуктивність $Q = 750$ кг/год, максимальний вміст часток розміром 3...15 мм, що дорівнює 42...58 %. Енерговитрати при цьому становлять 50...65 Вт·год/т.

Двовимірні перерізи (рис. 3.12, в) показують, що найкращі показники критеріїв оптимізації досягаються за максимальних значень чинників x_5 і x_6 .

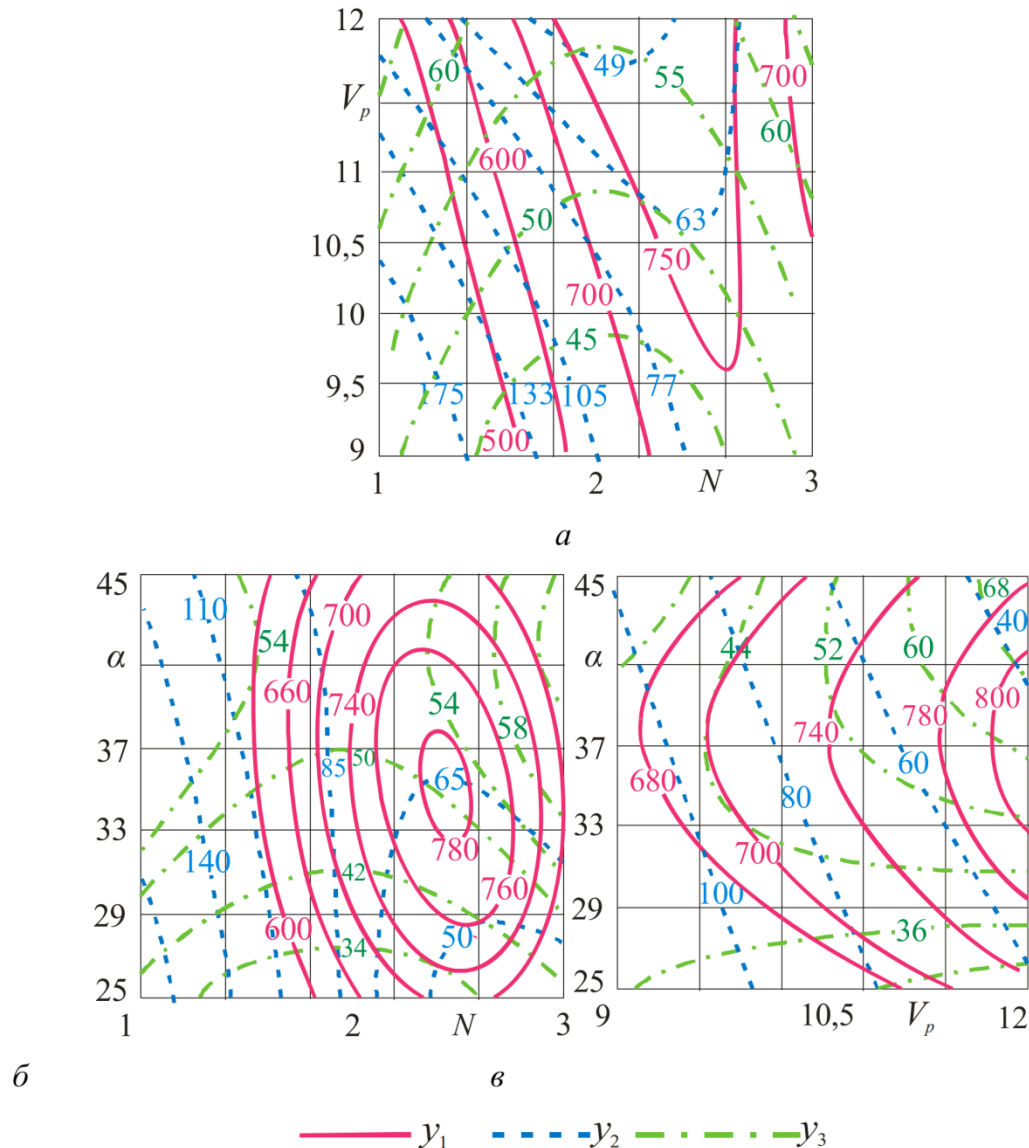


Рис. 3.12. Двовимірні перерізи поверхні відгуку, що характеризують вміст частинок розміром 3...15 мм, енергоємність процесу та продуктивність

Двовимірні перерізи (рис. 3.12, в) показують, що найкращі показники критеріїв оптимізації досягаються за максимальних значень чинників x_2 і x_3 .

За допомогою програми Portable Statgraphics Centurion 15.2.11.0 визначено значення досліджуваних чинників і критеріїв оптимізації, за яких досягаються

необхідні згідно із зоотехнічними вимогами [3, 4] розміри подрібненої фракції для різних видів груп тварин (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Оптимальне поєднання досліджуваних факторів під час подрібнення коренебульбоплодів для різних видів груп тварин

| Вид тварин | Оптимальне значення фактору | | | Оптимальне значення критерія оптимізації | | |
|------------|-----------------------------|-------|-------|--|--------------------------|--------------|
| | x_4 | x_5 | x_6 | Q , кг/год | \mathcal{E} , Вт·год/т | Θ , % |
| Птахи | 3 | 12 | 45 | 693 | 76 | 84 |
| Свині | 2 | 12 | 26 | 756 | 57 | 24,5 |
| ВРХ | 2 | 11 | 32 | 767 | 60 | 52,6 |

Таким чином, у результаті дослідження процесу різання коренебульбоплодів у розробленому подрібнювачі із застосуванням методів планування експерименту зафіксовано такі оптимальні значення його параметрів: кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 45^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 3$ і швидкість різання $V_p = 12$ м/с при подрібненні коренебульбоплодів для птиці, кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 25^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 2$ і швидкість різання $V_p = 12$ м/с при подрібненні коренебульбоплодів для ВРХ. Кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 35^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 2$ і швидкість різання $V_p = 10$ м/с при подрібненні коренебульбоплодів для свиней.

Апробацію подрібнювача коренебульбоплодів (рис. 3.13) проводили під час подрібнення коренебульбоплодів для згодовування великій рогатій худобі.

Випробування проводилися за встановлених оптимальних параметрів: кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 25^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 2$, швидкість різання $V_p = 12$ м/с, виліт ножа $h = 19$ мм, зазор $S = 28$ мм. Діаметр подрібнюваних бульб становив $d_{кл} = 45...65$ мм.



а



б

Рис. 3.13. Подрібнювач коренебульбоплодів у процесі апробації

У результаті перевірки виявлено, що вміст частинок розміром від 3 до 15 мм становив 45...60 %, продуктивність подрібнювача – 740...760 кг/год, витрати електроенергії, віднесені до одиниці маси готового корму – 50...65 Вт·год/т.

Висновки по розділу

1. Виявлено, що для гарантованого зацмлення бульби між горизонтальним ножом і стінкою завантажувального бункера в розробленому подрібнювачі необхідно зазор S між кромкою стінки бункера та ріжучим диском виконувати мінімальним ($S = 20$ мм), виліт ножа h – максимальним ($h = 20$ мм), кут нахилу стінки бункера під час подрібнення коренебульбоплодів розміром до 80 мм може дорівнювати 90° , а під час подрібнення бульб розміром понад 80 мм – щонайменше 60° , кут різання не повинен перевищувати 50° .

2. Виявлено, що:

а) для зниження сили різання кут нахилу стінки бункера має наближатися до 90° , кут різання горизонтальних ножів не повинен перевищувати 50° ;

б) для зниження питомих енерговитрат, збільшення продуктивності установки та вмісту фракції подрібнених коренеплодів розміром до 15 мм необхідно збільшувати кількість горизонтальних ножів і швидкість різання.

3. Отримано модель регресії, за допомогою якої визначено оптимальні значення параметрів, за яких забезпечується гарантоване защемлення подрібнюваних бульб: виліт ножа $h = 19$ мм, зазор $S = 28$ мм, діаметр бульби $d_{кл} = 60$ мм.

4. Зафіксовано оптимальні значення настрювальних параметрів подрібнювача: кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 45^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 3$ і швидкість різання $V_p = 12$ м/с при подрібненні коренебульбоплодів для птиці; кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 25^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 2$ і швидкість різання $V_p = 12$ м/с під час подрібнення коренебульбоплодів для ВРХ; кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 35^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 2$ і швидкість різання $V_p = 10$ м/с під час подрібнення коренебульбоплодів для свиней.

5. Виявлено, що під час подрібнення коренебульбоплодів для ВРХ продуктивність подрібнювача становить 740...760 кг/год, уміст частинок розміром від 3 до 15 мм – 45...60 %, питомі енерговитрати - 50...65 Вт·год/т .

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Визначено оптимальні значення параметрів подрібнювача: кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 45^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 3$ і швидкість різання $V_p = 12$ м/с при подрібненні коренебульбоплодів для птиці; кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 25^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 2$ і швидкість різання $V_p = 12$ м/с при подрібненні коренебульбоплодів для ВРХ; кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 35^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 2$ і швидкість різання $V_p = 10$ м/с при подрібненні коренебульбоплодів для свиней.

Виявлено, що: при подрібненні коренебульбоплодів для ВРХ продуктивність подрібнювача становить 740...760 кг/год, вміст часток розміром від 3 до 15 мм – 45...60 %, питомі енерговитрати - 50...65 Вт·год/т; при подрібненні коренебульбоплодів для птиці: кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 45^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 3$ і швидкість різання $V_p = 12$ м/с;

- під час подрібнення коренебульбоплодів для ВРХ: кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 25^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 2$ і швидкість різання $V_p = 12$ м/с;

- під час подрібнення коренебульбоплодів для свиней: кут різання горизонтальних ножів $\gamma = 35^\circ$, кількість горизонтальних ножів $N = 2$ і швидкість різання $V_p = 10$ м/с.

Продуктивність подрібнювача 740...760 кг/год за встановленої потужності 0,5 кВт – 740...760 кг/год, водночас вміст частинок розміром від 3 до 15 мм становить 45...60 %, а питомі енерговитрати – 50...65 Вт·год/т.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Куликівський В.Л., **Зінчук В.В.** Аналіз конструкцій існуючих подрібнювачів коренебульбоплодів. 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. 290-292.
2. Куликівський В.Л., **Зінчук В.В.** Будова розробленого подрібнювача коренебульбоплодів. *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. 84-87.
3. Куликівський В.Л., **Зінчук В.В.** Огляд наукових досліджень робочого процесу подрібнення коренебульбоплодів. 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).
4. Дударев І. І. Обґрунтування експлуатаційних параметрів дискового подрібнювача кормів: монограф. Одеса, 2021. 139 с.
5. Ревенко І.І., Кукта Г.М., Манько В.М. Механізація виробництва продукції тваринництва. Київ : Урожай, 1994. 264 с.
6. Ревенко Ю.І., Пилипенко О.М., Чибис С.М. Оцінка якості сумісного подрібнення і змішування компонентів комбікормів молотковою дробаркою. Зб.наук. пр. Нац. аграр. універ-ту. Т. ІХ. К.: НАУ, 2000. С. 172–177.
7. Рогатинський Р.М., Капаціла Ю.Б., Дмитрів Д.В. Змішувач комбікормів. Зб. наук. пр. Нац. аграр. універ-ту. Київ : НАУ, 2000. Т. 7. С. 156–159.
8. Jain N., Ottino J.M., Lueptow R.M. Effect of interstitial fluid on a granular flowing layers. J. Fluid Mech.Vol. 508. 2014. С. 23–44.

9. Семенов О.М., Єрмаков С.В., Підлісний В.В. Дослідження будови, роботи та використання подрібнювачів кормів для сільськогосподарських тварин. Методичні вказівки. Кам'янець-Подільський: Подільський державний аграрно-технічний університет (ПДАТУ), 2017. 40 с.
10. Шведик М.С. Механізація тваринництва. Луцьк : Луцький НТУ, 2013. 88 с.
11. Братішко В.В. Науково-технічні основи приготування комбікормів гвинтовими грануляторами. Монографія. Тернопіль: Крок, 2017. 234 с.
12. Roshanianfard A., Faizollahzadeh-Ardabili S. Autonomous Agricultural Vehicles: Concepts, Principles, Components, and Development Guidelines. Boca Raton: CRC Press, 2024. 219 p.
13. Allen Theodore. Introduction to Engineering Statistics and Lean Six Sigma: Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems. 3rd Edition. Springer, 2018. 656 p.
14. Bhote K. World Class Quality: Using Design of Experiments to Make It Happen. 2nd ed. New York: AMACOM, American Management Association, 2000. XXIV, 487 p.
15. Box G.E.P. An Accidental Statistician: The Life and Memories of George E.P. Box. Wiley, 2013. 304 p.
16. Cornell J.A. Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data. 3rd ed. Wiley, 2002. 674 p.