

**І.І. Дударев, С.М.Уминський, С.С. Житков**

**ОБГРУНТУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ДИСКОВОГО ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ**

**ОДЕСА 2021**

ББК 30.373

УДК 621.7(075.8)

**ISBN 978-617-7337-65-1**

## **Обґрунтування експлуатаційних параметрів дискового подрібнювача кормів**

**І.І. Дударев,  
С.М. Уминський,  
С.С. Житков**

Монографія спрямована на вирішення проблем з підвищенням ефективності використання дискового подрібнювача кормів. У виконаній роботі встановлено, що ефективне використання стрижнів кукурудзи у складі кормових сумішей потребує відповідної підготовки сировини, а саме її подрібнення для досягнення гранулометричного складу з забезпеченням зменшення енерговитрат для здійснення процесу подрібнення. У роботі надані аналітичні вираження, що пояснюють геометричні параметри подрібнювача враховуючи фрикційні особливості сировини. Розглянуті конструкція й геометричні параметри дискового подрібнювача для обробки стрижнів кукурудзи, до певного гранулометричного стану.

Рецензенти:

В.П.Ларшин - д.т.н., професор Одеського національного політехнічного університету;

О.О.Якімов - д.т.н., професор Одеського національного політехнічного університету;

Є.В. Михайлов – д. т. н., професор кафедри «Машиновикористання в землеробстві» Таврійського державного агротехнологічного університету.

Рекомендовано до друку вченою радою Одеського державного аграрного університету (протокол № 6 від 29 чевня 2021 р.).

## ВСТУП

Для підвищення продуктивності тваринництва шляхом створення надійної кормової бази на принципі ресурсозберігаючої технології передбачається здійснення комплексу технологічних, технічних і організаційних заходів для збільшення виробництва грубих, соковитих кормів і фуражного зерна. Успішне виконання цього завдання стає можливим, в основному, за рахунок розширення посівів кукурудзи, яка по врожайності біологічної маси й зерна, універсальності використання й поживності перевершує майже всі зернофуражні культури і займає провідне місце у світі в раціонах годівлі тварин.

Монографія присвячена проблемі підвищення ефективності відгодівлі тварин за рахунок використання обґрунтованих експлуатаційних режимів підготовки сировини до використання в кормах з застосуванням подрібнювального обладнання. Виконана робота дозволила встановити, що для ефективного використання стрижнів кукурудзи у складі кормових сумішей для великої рогатої худоби основною вимогою є їх попереднє подрібнення до часток розміром до 5 мм з фракційним вмістом не менш ніж 70% і використанням неметалоємної машини з зменшеними потребами енергоспоживання на здійснення процесу. Отримане аналітичне вираження, що зв'язує основні геометричні параметри дискового подрібнювача з урахуванням фрикційних властивостей оброблюваного матеріалу. Обґрунтовані принцип дії, конструкція й геометричні параметри машини для здрібнювання стрижнів кукурудзи, відповідаючих їх гранулометричному складу й фізико-механічним властивостям. Обґрунтовані розрахункові вираження для визначення продуктивності й потужності дискового подрібнювача. Встановлені закономірності двоступінчастого процесу подрібнення стрижнів кукурудзи в дискових машинах. Визначені вихідні дані для розробки дослідно-промислових зразків машин для грубого подрібнення й тонкого здрібнювання стрижнів кукурудзи. В монографії

надані рекомендації з режимів процесу подрібнення та обґрунтовано, аналітичне вираження для вибору раціональної комбінації геометричних параметрів дискового подрібнювача.

## **Розділ 1.Світове виробництво кукурудзи.**

### **1.1 Сучасний стан розвитку культури.**

Сьогодні основна задача кормовиробництва це означає насичення ринку кормів відповідною продукцією для того,щоб допомогти нагодувати наш зростаючий світ, населення якого, як очікується, зросте майже на 30 відсотків до 2050 року. У той же час це також означає допомогу в адаптації до все більш складним силам на ринках, впливу нормативних вимог і зміни їх діяльності, заохочення фермерів до максимального використання кормів і підвищення продуктивності тварин.

Мета - забезпечення кормами більш дешево, ефективно і навіть більш раціонально. Виробнича лініямісія - це не тільки обцянку а й реальна продукція. Необхідно надати кращий корм для кращого життя. Інноваційні та обґрунтовані технології впроваджені в життя в життя, це постійна робота над побудовою технологіческіхоперацій, які забезпечать найкращі показники. Ринкові сили глобальної системи продовольчої економіки змінюються з кожним днем. Споживачі хочуть бути впевненими в виробництві тваринного білка, який вони споживають, а нормативні акти змінюють способи ведення діяльності. Наша місцева середовище вимагає індивідуальних рішень, заснованих на великому досвіді. Інжениринг працює щодня, прагнучи поліпшити рішення по годівлі для всіх основних видів тварин. Від оцінки сировини до складання комбикормів і рішень для підвищення продуктивності - ми можемо підвищити рентабельність і якість продукції . Вплив розміру частинок кормів в наші дні - дуже важлива тема. Це пояснюється тим, що існує два протилежні погляди на їх використання: з одного боку, більш дрібний помел покращує засвоюваність, а з іншого боку, грубі інгредієнти необхідні для природного функціонування шлунково-кишкового тракту (ШКТ). Як і в більшості експериментів на тваринах з кормами, вплив розміру частинок корми вимірюється на такі параметри продуктивності живої тварини, як споживання корму і час перетравлення,

маса тіла і питомий використання корму. Однак можлива зміна розміру часток має також враховувати аспекти виробника, такі як ефективність установки (наприклад, споживання енергії і продуктивність), а також зміни параметрів якості комбікорму (наприклад, якості гранул) і класифікації кормових інгредієнтів. Першим кроком у виробництві кормів є змішування, а потім зменшення розміру з (подрібнення), що призводить до зменшення розміру зерна. Як правило, зменшення розміру частинок призводить до збільшення площі поверхні компонентів, що дозволяє більш інтенсивно взаємодіяти з травними ферментами і кислотами в шлунково-кишковому тракті тварини. Однак анатомія измельчающего шлунка, його роль в травленні дає зрозуміти, що тварини потребують подрібнених кормах . Отсутствие належної функції подрібнення шлунка і, як наслідок, скорочення часу утримання в травній системі негативно позначається на продуктивності тварин. Таким чином, за останнє десятиліття увага переключилася на різноманітну структуру кормів. Менші розміри частинок поліпшили питома витрата корму в гранульованому кормі, але для гранульованого корму не спостерігалось жодних поліпшень - але і погіршення. Зниження якості гранул (поява більш дрібних фракцій в системі годування) не впливало негативно на продуктивність в порівнянні з раціоном, що містить дрібно подрібнену кукурудзу. На якість подрібнення, крім складу, найкраще впливає застосовувана технологія (молоткова шліфувальна машина, роликовий стілець). Наступним кроком стала поява «цілих» частин - подрібненої кукурудзи, цілого зерна пшениці - на додаток до стандартних основних кормів. Останні використовуються в Норвегії з кінця 1990-х років.

Використання кукурудзи грубого помелу покращує приріст і питома споживання корму. Також позитивним результатом є те, що його використання збільшувало вагу роздробленого шлунка, а також час затримки перетравлення (утримання їжі) і покращувало очевидну переварюваність клубової кишки. Ще одним важливим аспектом їх використання було позитивний вплив на витрати на годування.

Додавання в корм подрібненої кукурудзи і цільнозернових зерен часто відбувається на фермах, що не пов'язане з виробничими витратами. Цей спосіб годування дуже поширений в Західній Європі. Інша версія полягає в тому, що незбиране зерно пшениці додається в змішувач перед гранулювання. Це призводить до дуже доброї якості гранул і виключає вибіркоче споживання корму. Недоліком є менший розмір твердого зерна в порівнянні з варіантом, в якому така ж кількість пшениці додається в готовий корм після гранулювання. Слід також зазначити, що при використанні дрібленого зерна кукурудзи або цільного зерна пшениці завжди підкреслюються такі параметри якості, як фізичні характеристики (колір, запах), відсутність забруднюючих речовин, мікробіологічний статус і харчова цінність. Перші цікаві з точки зору гігієни кормів, а другі - з точки зору рецептури кормів. Звичайно, впровадження дроблення, подрібнення і гранулювання вимагає великих вкладень (як на фермах, так і на підприємствах по виробництву кормів), а на термін окупності впливає безліч факторів. Однак, оскільки вони позитивно впливають на продуктивність тварин, а також на витрати на годування, рекомендується їх практичне застосування - на додаток до управління годуванням, що, звичайно, вимагає підвищеної уваги. Кукурудза являє собою високоврожайний продукт який широко зарекомендував себе як універсальна культура яка використовується у зерновому, кормовому та технічному напрямках. В нашій країні вирощування кукурудзи відбувається в основному у кормовому напрямку. Значного розповсюдження знайшли корма з використанням кукурудзи для виготовлення грубих кормів для жуйних тварин з подрібненими качанами які оброблюють до стану висівок. Подальше використання таких кормів доцільно у суміщності з концентрованими та соковитими кормами. Всі складові кукурудзи мають необхідні ознаки доброго перетравлення організмом тварин і достатньо легко засвоюються. Харчова вартість виробів з кукурудзи відпоаває вимогам щодо раціонального балансу поживних речовин, наприклад 100 кг зеленої маси рослини характеризуються 32

кормовими одиницями (к.о.), а така ж кількість подрібнених стрижнів має вже 35 к.о.

За останній період площа під цією культурою у світі зростає, так розмір площ враховуючи всі культури, що вирощуються у світі, а це 1870 млн гектарів саме під кукурудзу було у 2019 році використано 191,5 млн гектарів, що становить 10%. За інформацією від Kleffmann Group країни які займають лідируючі позиції займають площу 110 млн гектарів, це провідні держави з розвинутою економікою, а саме:

- Китай - 41 млн га;
- США - 33,1 млн га;
- Бразилія - 18,1 млн га;
- Індія - 9,5 млн га;
- ЄС - 8,6 млн га;
- Україна - 4,9 млн га (близько 3%).

Світове виробництво кукурудзи становить більш ніж 1102 млн т.

Країни лідери-виробники , це:

- США -347 млн.т ( за рахунок впровадження сучасних технологій);
- Китай - 254 млн.т ( за рахунок використання збільшених площ);
- Україна- 36 млн.т ( за рахунок площ, кліматичних умов, та застосування як традиційних так і передових технологій), що від світового виробництва складає 3%.

Враховуючи площі та отримані врожаї можна зазначити успіхи Туреччини де врожайність становить 11,5 т/га, США – 10,5т/га, Канади 10,0 т/га.

Під кукурудзу в Україні підпадає май же п'ята частина від усіх посівних площ. Обсяг культури на зерно в порівнянні з сумарними показниками посівів всіх куьтур становитиме 18% ( порівнюючи з минулим роком збільшення на 1,5 % ), при цьому площа оброблювальних земель становить 27,3 млн.га. Подальший розвиток культури передбачає зростання площ під кукурудзу на рівні 5100 тис. га, що є найвищим показником для України.



За двадцятирічний період частка площ для вирощування кукурудзи в Україні характеризується чотирьократним збільшенням обсягів. Під кукурудзу в останні роки було засіяно більш ніж 5000 тис. га, де площа збирання становила близько 5000 тис. га, тобто 96,6 %. Таким чином спостерігається збільшення посівних площ більш ніж на 420 тис.га., так наприклад з порівнянням показників 2018 року відбулося збільшення на 108,5%. Слід також зазначити, що починаючи з 2000 років спостерігається зростання використаних площ з 1278 на 4987 тис. га, тобто майже на 290%.

За останній рік в Україні було зібрано 35,8 млн т кукурудзи, що перебільшує показники збирання за минуле десятиріччя на 57%

За рахунок впровадження сучасних технологій та кліматичних умов Україна в світі після США, Китаю та інших країн входить у десятку найбільш розвинутих держав та займає 6 місце з виробництва даної культури. Однак потенційні можливості цієї кошовної культури, яка збирається переважно на зелений силос, використовуються далеко не повністю. Одним з напрямків розв'язку завдання є більш широке й раціональне застосування для кормових цілей стрижнів кукурудзи, складових близько 20% частини її врожаю і володіючих певною живильною цінністю, які при традиційних способах заготовки кормів практично не використовуються і йдуть в відходи.

У зв'язку з тим, що стрижні кукурудзи мають специфічні фізико-механічні властивості, які недостатньо вивчені, і в цей час не визначені ефективні способи й засоби здрібнювання, що забезпечують одержання стрижневої крупки необхідного гранулометричного складу, що відповідає зоотехнічним вимогам, вирішення завдань удосконалення процесу здрібнювання їх на основі застосування нового обладнання, що задовольняє принципу безвідхідної технології здобуває практичну значність і є актуальним для виробництва кормів.

Залишки врожаю кукурудзи мають велике значення, особливо в країнах, що розвиваються, де широко застосовується збір качанів кукурудзи і їх природна сушка. Після сушіння і обмолоту зерна кукурудзяні качани доступні для

енергетичного використання на фермах. Недоліком їх енергетичного використання при спалюванні в порівнянні з деревиною є більш високий вміст калію, хлору та азоту і більш низька температура розм'якшення золи. Випробування невеликих котлів на деревній трісці показали, що розмір кукурудзяних качанів слід зменшити, щоб полегшити спалювання і подачу за допомогою широко використовуваних гвинтових конвеєрів. Бажана довжина частинок має становити 1-1,5 їх діаметра. Аналізи подрібненого матеріалу у деяких сучасних конструкціях показали, що більше 80% часток знаходилися в діапазоні 3,15-45 мм, менше 1% менше 1 мм і менше 1% більше 63 мм. Про кількість поживних залишків кукурудзи писали багато авторів. Що повідомляється маса соломи, зазначена щодо маси зерна, знаходиться в діапазоні від 0,9 до 1,0 . Також вивчався вплив прибирання соломи на родючість ґрунту [3]. Graham et al. визначили граничне значення віддаленої соломи без негативного впливу на родючість ґрунту близько 28%. Урожайність качанів кукурудзи повідомляється рідко. Kromer et al. повідомили, що частка качанів в цілісному олії кукурудзи становить від 9,8% до 10,6%. Pordesimo et al. представили такі частки частин рослини кукурудзи: 45,9% зерна, 27,5% стебла, 11,4% листя, 8,2% качанів і \* n Відповідний автор; електронна пошта: (приховано) 7,0% лушпиння в перерахунку на суху речовину. Хоскінсон і ін. досліджували прибирання всієї залишкової маси кукурудзи при різній висоті зрізу. Частка качанів кукурудзи склала близько 9% від загальної надземної біомаси. Однак ця частка варіювалася залежно від висоти стрижки. Більш корисно висловлювати урожай качанів кукурудзи щодо врожаю зерна, оскільки останній майже завжди реєструється. Діапазон відносної врожайності частин рослини кукурудзи, розрахований на основі сухої речовини. Відносна врожайність кукурудзяних качанів становить від 10% до 20% від маси зерна. Як середньої частки можна використовувати відносну прибутковість 18%. У розвинених країнах прибирання кукурудзи в основному виробляється універсальними зернозбиральними комбайнами з відповідною жаткою і

настройками робочих параметрів для цієї операції. Прибирання поживних залишків кукурудзи до сих пір не вирішена належним чином. Проблемами є низька щільність і в основному високий вміст вологи в соломі, що містить стебла, листя, качани і лушпиння. У країнах, що розвиваються для збирання кукурудзи використовується луцильний комбайн або збір качанів вручну. Зібране часто сушаться природним шляхом. Природна сушка качанів кукурудзи сприяє значному скороченню загального споживання вкопних. Після сушіння в кінці лютого або в першій половині березня і обмолоту зерна кукурудзяні качани залишаються на фермерському подвір'ї. Вологість качанів зазвичай становить 10-12%, що приблизно на 2% нижче, ніж у зерен.

## **1.2 Загальна характеристика та будова компонентів кукурудзи**

Основні компоненти рослини кукурудзи, включаючи качани які складені з зерна, стрижня й обгорток, а також стебла із суцвіттям і листи, мають різну будову, неоднакову кормову цінність і в різні фази розвитку значно відрізняються як по питомій вазі в сухій масі рослини, так і по змісту і якісному составу хімічних компонентів [21,52,55,84,111,140 ].

Качан кукурудзи являє собою стовщину вісь - стрижень циліндричної або конусоподібної форми й має потужну добре розвинену складну провідну систему, яка забезпечує постачання до зернівок що розвиваються органічних речовин та води.

Провідні тканини в качані схематично являють собою два порожніх циліндри, вставлених один в іншій. Дослідники відзначають у стрижні качана дві провідні системи: внутрішню й зовнішню. Провідна система внутрішньої зони представлена пучками, що розташовуються у вигляді двох концентричних кілець, а зовнішня, розташована по периферії стрижня, має деяку подібність із внутрішньою, хоча й відрізняється рядом особливостей [142.143, 144, 148 ].

Зерновка кукурудзи складається з ендосперму, щитка, зародка й оболонки й має різну консистенцію. Зародок становить біля 15 % зерновки [ 136 ] . До складу покриття зерновки входить плодова (перикарпій) і насінна (

спермодерма) оболонки, які перетерплюють істотні зміни в процесі дозрівання [ 3 ].

Стрижень кукурудзяного качана є складеним тілом, тому що полягає, в основному, з 3-х частин: серцевини, стовбура й лусочок, які різняться будовою й фізико-механічними властивостями. Зовнішня частина стрижня покрита шаром лусочок, що представляють собою гнізда для зерен кукурудзи, що нагадують стільники. Судинні пучки здеревілої паренхіми утворюють два порожні циліндри, встановлених друг у друга і являються основою стовбура стрижня. Зовнішня його частина й стовбур становлять близько 98 % від загальної маси стрижня качана.

Серцевина стрижня, заповнена паренхімою й складає лише 2 % від його маси, являє собою пористу, гигроскопічну речовину білого кольору. При змочуванні водою серцевина набухає й після висушування обсяг її збільшується в кілька раз, у порівнянні з первинним станом. Серцевина й лусочки стрижня мають пружні властивості. Дослідженнями [ 8 ]. встановлено, що при тиску 0,05 Мпа паренхіма не здобувала своєї первісної форми, але при вологості 20 % серцевина набухала й ухвалювала свої колишні розміри. Лусочки стискаються при тиску 0,7 Мпа й при вологості  $W = 25\%$  після зняття навантаження лусочки відновлювали свою форму, при  $W = 18\%$  більша їхня частина втрачала свою пружність, а при  $W = 9\%$  вони ставали тендітними.

Стебла кукурудзи в молодому віці - трав'янисті, м'які й соковиті, а до кінця вегетаційного періоду стають міцними й майже одревесневевшими. Висота стебла становить 0,6...5,0 м при діаметрі 2...7 см, а його висока міцність забезпечується механічним кільцем склеренхіми [109].

### **1.3 Хімічний склад кукурудзи.**

Важливою характеристикою качанів є співвідношення в них зерна й стрижнів, тому що внаслідок відмінності їх хімічного складу й фізичних властивостей, воно впливає на виникнення, характер і інтенсивність протікання складних біологічних, фізичних і хімічних процесів у насипах

качанів при зберіганні. Долідження [22], свідчать, що це співвідношення для качанів кукурудзи різних районів вирощування, встановлено, що для природньої вологості вихід зерна склав у середньому 77,3 % і стрижня 22,7 %, а в перерахуванні на суху речовину відповідно 80,7 % і 19,3 %.

У матеріалах [ 8 ] показано, що питома маса стрижня коливається в межах 10,5...40,0 %, але чаші 14...28 % від загальної маси качана, а середній вихід стрижнів становить 25 %.

За даними Канзаської досвідченої станції США спостерігається слідуєче співвідношення всіх частин надземної маси кукурудзи:

- стебла - 26 %;
- листи - 30 %;
- стрижні - 10 %;
- зерно - 34 %.

У карликових форм листів на 20 % більше, чим у звичайних сортів кукурудзи [146 ]. Аналіз хімічного складу рослини кукурудзи в цілому показує, що на ранніх фазах розвитку в ньому втримується значна кількість води ( до 85 %), тому енергетична живильність такого корму низька, а протеїнова найбільша (табл.1.1) .

В сухій речовині кукурудзи до цвітіння втримується 9,4 % протеїну й у міру росту рослини кількість сухої речовини зростає, але зміст протеїну знижується до 7,4 % у стадії повної стиглості. У кукурудзі втримуються вуглеводи двох основних типів:

- структурні;
- неструктурні (містять крохмаль і цукор, які легко-перетравлюються й мають велике значення в живленні тварин).

Таблиця 1.1

## Chemical composition of corn by phase of development

Vegetation phase	Dry substance	Content in dry matter , %			
		Starch-units	Crude protein	Trawler-leg protein	Cage guilt
1	2	3	4	5	6
flowering	17	60,5	9,41	5,20	27,05
dairy	20	58,5	7,30	5,00	26,75
milk-wax	25	60,0	8,84	6,00	22,40
wax	30	61,7	8,00	5,30	21,00
full	40	62,0	7,40	4,45	22,00

З розвитком рослини зміст неструктурних вуглеводів зростає, а кількість структурних (клітковина) при цьому зменшується з 27,05 % під час цвітіння до 22,00 % у стадії повної стиглості (табл. I . I ), однак кількість лігніну, який надає структурну міцність рослинам шляхом утвору містків між волокнами целюлози й геміцелюлози, зростає з 2,18 % до 3,67 %.

Слід передбачати, що целюлоза й геміцелюлоза, зв'язані з лігніном, важкодоступні для впливу бактеріальних ферментів у рубці худоби, що трохи знижує перетравлення сирої клітковини кукурудзи [ 41, 113 ] .

З ростом рослини змінюється також зміст жиру в кукурудзі з 2,5 % у фазі цвітіння до 3,1 % у фазі технічної стиглості [52 ] .

Поряд зі зміною загальної кількості живильних речовин у зеленій кукурудзі змінюється також кількість мінеральних речовин. Так в I кг зеленої маси кукурудзи у фазах стеблуння, цвітіння, молочної й воскової стиглості кальцію втримується відповідно 1,28; 1,33; 1,43; 1,45 і 1,69 г, а фосфору 0,53 ; 0,6 3 ; 0,6 7 ; 073 і 0,82 г [69, 126]. Таким чином, у процесі росту й розвитку

кукурудзи їх зміст, хоча й незначно, збільшується при збереженні співвідношення 2:1, тому згодовування однієї зеленої маси кукурудзи недостатньо ефективно й в раціони необхідно вводити фосфорно-кальцієву підгодівлю. Виконаний аналіз хімічного складу рослини кукурудзи дозволив встановити, що найбільший вихід живильних речовин досягається в стадії, близької до повної зрілості, при якій, в основному, забирають кукурудзу на зерно, у зв'язку із чим і стрижні кукурудзи у цій стадії містять максимальну кількість корисних речовин.

Аналіз загального хімічного складу окремих компонентів кукурудзи при різних фазах розвитку (табл. 1.2) показує, що найціннішими показниками, що визначають її поживність у всіх фазах розвитку рослини, є зерно й листя.

Таблиця 1.2

Хімічний склад окремих компонентів кукурудзи за фазами розвитку ( у % на абсолютно суху речовину) [ 126 ]

фаза вегета ції	воло гість,%	з м і с т					
		протеїну	білку	жиру	клітко вини	безазотистих екстрактивних речовин	золи
<b>з е р н о</b>							
молоч на	76,88	14,88	13,44	4,49	4,14	73,41	3,08
молоч но- воско ва	58,54	11,38	11,13	5,24	3,55	77,42	2,41
воско ва	45,09	12,19	11,50	6,00	3,05	76,05	1,81
повна	35,02	11,31	10,94	5,66	2,23	79,06	1,74
<b>с т р и ж н і к а ч а н і в</b>							
молоч на	77,85	6,56	5,63	1,39	23,60	66,03	2,42
молоч но-	67,98	4,00	3,50	0,70	28,15	65,15	2,00

ВОСКО ва							
ВОСКО ва	62,51	3,31	2,81	0,89	31,69	62,50	1,62
ПОВНА	57,97	2,56	2,06	0,50	32,82	62,71	1,41
<b>обкладки качанів</b>							
МОЛОЧ на	81,51	5,94	5,06	1,32	20,75	68,24	3,75
МОЛОЧ НО- ВОСКО ва	78,73	5,75	4,19	1,26	24,80	63,65	4,54
ВОСКО ва	72,62	4,88	4,00	1,20	25,29	64,59	4,04
ПОВНА	60,67	5,06	4,13	1,22	30,24	57,47	6,01
<b>стебла</b>							
МОЛОЧ на	80,66	6,31	3,50	1,54	31,90	53,64	6,61
МОЛОЧ НО- ВОСКО ва	81,45	4,94	2,75	1,38	30,41	56,16	7,11
ВОСКО ва	79,90	4,75	2,81	0,86	27,57	59,47	7,35
ПОВНА	78,11	4,94	3,25	0,89	31,20	56,13	6,84
<b>листя</b>							
МОЛОЧ на	73,82	13,06	11,31	2,90	24,62	44,11	15,31
МОЛОЧ НО- ВОСКО ва	73,34	11,56	10,94	3,26	22,85	45,36	16,99
ВОСКО ва	70,27	9,31	9,06	2,95	24,50	45,08	18,16
ПОВНА	62,98	7,81	6,13	2,29	26,02	46,89	16,99



Порівнюючи у фазі повної стиглості зміст живильних речовин у інших компонентах можна зробити висновок що за змістом білка, протеїну й жиру стрижні значно поступаються стеблам і обгорткам качанів, по змісту клітковини перебувають на одному рівні, але містять більше безазотистих екстрактивних речовин і в 4,3...4, 9 рази менше золи.

У ряді робіт [ 2, 35, 92 ] також приводиться загальний хімічний склад стрижнів кукурудзи й вказується, що по кормових одиницях ( від 0,2 до 0,4 корм.од. в I кг) вони перевершують солому гарної якості.

Для більш повного порівняльного аналізу хімічного складу стрижнів, кукурудзи були проаналізовані дані робіт [21, 23, 135, 140 ] , у результаті чого встановлено (табл. 1.3 ), що у фазі повної стиглості стрижні містять крохмалю трохи більше, ніж обгортки, але значно менше ніж зерно. За змістом ж водо- розчинних вуглеводів вони перевершують зерно к трьократному розмірі.

Таблиця 1.3

Зміст крохмалю та водорозчинених вуглеводів у окремих ділянках качана кукурудзи за фазами розвитку( у % на абсолютно суху речовину)

частка качана	фаза вегетації					
	крохмаль			водорозчинені вуглеводи		
	молочна	воскова	повна	молочна	воскова	повна
зерно	41,80	65,20	72,30	7,58	1,52	0,56
стрижень	-	7,50	3,74	8,93	1,62	1,84
обкладки	6,78	3,72	3,71	16,37	2,70	1,49

При цьому зміст цукрів у їх складі в різних часткахнеоднаковий про що наведено у даних табл. 1.4

Таблиця 1.4

Зміст цукрів у різних частях стрижня качану кукурудзи ( у мг на 1 кг сухої речовини)

частка стрижня	моносахаріди	дісахаріди		Підсумок цукрів
		всього	у т. ч. цукроза	
верхня	2,0	2,9	0,9	4,9
середня	1,4	0,8	0,0	2,2
основа	1,6	1,3	0,0	2,9

Встановлено також, що у всіх фазах стиглості стрижні містять значну кількість вільних жирних кислот, при цьому кислотне число жиру становить для зерна й стрижня при молочної, воскової й повної фазах стиглості відповідно 43,92; 10,24; 8,94 і 120,7; 76,06; 47,12 мг КОН на 1 г.

Таким чином, аналіз виконаних досліджень по хімічному складу стрижнів і порівняння його з іншими компонентами рослини кукурудзи дозволяє зробити висновок про доцільність використання стрижнів при виробництві кормів. Враховуючи, що ефективність і енергоємність процесу подрібнення, на вивчення закономірностей якого спрямована робота, залежить від вологості матеріалу, що визначає його міцнісні властивості, був виконаний аналіз наявних даних по гігроскопічних властивостях стрижнів кукурудзи, а також іншим фізико-хімічним властивостям.

У роботі [ 21] показано, що при зберіганні в умовах поступового зменшування відносної вологості повітря відбувається зміна співвідношення вологості зерна й стрижня в качані.

Залежно від підсихання качана положення поступове змінюється й при вологості качана, рівня 16,7 %, вологість зерна  $W$  й стрижня стають однаковими, а потім  $W$  стрижня стає менше. Дослідженнями також встановлено, що не тільки стрижень у цілому специфічний за власними гігроскопічними властивостям, але і його різні частини суттєво

відрізняються вологостю як одна від іншої, так і від зерновки кукурудзи (табл. 1.5 ). Враховуючи, що стрижні перед здрібнюванням звичайно підлягають визначеному часу зберігання, а також те, що їх міцнісні властивості багато в чому залежать від вологості, на підставі даних табл. 1.5 при проведенні експериментальних досліджень був обраний діапазон зміни її в межах 8...20 %.

Таблиця 1.5.

Зміна рівноважної вологості стрижня, його частин і зерна при різній відносній вологості повітря [ 21 ]

Відносна вологість повітря, %	Рівноважна вологість, %				
	стрижень у цілому	вершина стрижню	основа стрижню	середина стрижню	зерно
20	7,21	7,30	7,23	7,20	8,08
40	7,74	8,58	7,74	7,64	9,15
60	9,76	10,49	9,76	9,69	11,75
80	14,08	14,83	14,83	13,89	15,51
100	29,02	33,38	30,21	28,33	25,13

Що стосується інших фізико-механічних властивостей стрижнів, то в існуючих дослідженнях практично відсутні дані, у зв'язку із чим виникає необхідність їх визначення при вивченні закономірностей процесу здрібнювання й обґрунтованого вибору параметрів машин, що реалізують цю технологічну операцію.

## **Розділ 2. Сучасні дослідження, досвід, та умови ефективного використання стрижнів кукурудзи**

### **2.1. Використання стрижнів кукурудзи при виробництві кормів**

У цей час використання стрижнів кукурудзи при виготовленні кормів йде, в основному, по двом напрямкам:

- консервування цілих або здрібнених качанів, що включає кілька способів (висушування, силосування, хімічне консервування, вентилявання природне або штучно охолодженим повітрям і інші);
- заготовка здрібненої зерно-стрижневої суміші (ЗСС) з попередньо обмолочених качанів [ 94, 123, 125 ]

Для консервування качанів кукурудзи її забирають кукурудзо - збиральними комбайнами при вологості качанів 40...45 %. Потім качани в цілому або здрібненому на стаціонарних подрібнювачах завантажують їх у сховище, ущільнюють і герметизують. Найбільш привабливим варіантом консервування качанів вважають закладку їх у траншеї або вежі в здрібненому виді. При цьому розміри подрібнених часток повинні бути в межах 3...4 мм і їх має бути не менш 70 % при обов'язковій відсутності цілих зерен. При заготовці кукурудзяній зерно - стрижневої суміші з різним співвідношенням зерна й стрижнів, кукурудзу забирають комбайнами та з обмолотом качанів вологістю 35...40 % у стадії воскової стиглості, після чого суміш подрібнюють на дробарках, а отриману масу силосують у наземних або баштових сховищах. На відміну від технології силосування здрібнених качанів кукурудзи, при заготовці зерно-стрижневої суміші разом із зерном використовують тільки частину стрижнів (приблизно 40...80% від маси в качанах). Необхідний рівень клітковини в консервованому кормі досягають регулюванням робочих органів комбайнів при збиранні або відсіванням великих часток при згодовуванні.

Для годівлі свиней цей рівень становить 5...7 %, а для великої рогатої худоби - 10...12 %. Живильні речовини, що втримуються в ЗСС, консервуються шляхом бактеріального гідролізу сахароз із утворенням органічних кислот і

цукрів [ 9, 104 ]. Технологія заготовки ЗСС із різним співвідношенням зерна й стрижнів одержала назву ЦЦМ ( від англійського ССМ -Corn Cob Mix, що в перекладі означає зерно-стрижнева суміш). Дослідженнями, встановлено, що продуктивна дія ЗСС перебуває на рівні концентрованих кормів, виготовлених з висушеного зерна. Важливою умовою одержання високоякісного корму є здрібнювання ЗСС до певного гранулометричного состава. В експериментальних дослідженнях кормів з використанням ЗСС різного ступеня здрібнювання з модулем здрібнювання 5...6 ( грубий помел) і 2 (дрібне мливо) закладали у дві бетоновані ємності для зберігання. Після 150 діб зберігання визначено, що ЗСС грубого помелу за якістю була нижче, чим дрібного млива тому що вона містила менше кислот, більше спирту при більш високих втратах сухої речовини [ 131 ].

## **2.2. Підготовка сировини та принципи заготовок ЗСС.**

У рекомендаціях зі ступеня здрібнювання ЗСС є деякі розбіжності. Так, є дослідження якими вказується, що в здрібненому продукті повинно бути не менш 80 % часток розміром до 2 мм, іншу її частину повинні становити частки розміром 2...5 мм. Інші дослідження у роботі [ 130 ] рекомендована наявність часток розміром до 2 мм - не менш 60 %, а відповідно до зоотехнічних вимог зерно-стрижнева суміш повинна бути здрібнена так, щоб часток до 2 мм ( для свиней) і 4 мм (для великої рогатої худоби) було не менш 70 %. Результати дослідників [ 126 ], показують, що наявність у ЗСС твердих, гострих шматків стрижнів розміром більше 2,0 мм викликає у тваринних ушкодження стінок шлунково-кишкового тракту, тому при відгодівлі свиней рекомендують розміри здрібнених часток у межах 0,6...1,3 мм. Застосовують також технологію заготовки зерно-стрижневої суміші з качанів з обгортками (ЗССО), при якій качани забирають і консервують із обгорткою в здрібненому виді. Встановлено [ 131 ], що силос зі здрібнених качанів з обгортками має високу кормову цінність - близько 720 кормових одиниць (7,4 Мдж чистої енергії) на 1 кг сухої речовини. По енергії 1,5 кг такого силос з добавкою 0,2 кг соєвого шроту може замінити 1 кг комбикор-

ма для високопродуктивних кормів. У кормовиробництві використовують також листо-стрижневу суміш (ЗССЛ), яку одержують при скошуванні верхньої частини рослини кукурудзи у фазі воскової стиглості зерна на висоті прикріплення качанів з наступним здрібнюванням. Заготовка такого корму потребує здрібнювання кукурудзяної маси до часток розміром 5...7 мм, а поживність 1 кг сухої речовини ЗССЛ становить 1,5...1,10 корм. од. для жуйних, тварин [ 54, 119 ]. Встановлено, що при заготовці кукурудзи на корм великій рогатій худобі найбільший вихід кормових одиниць із одиниці площі може бути отриманий при збиранні біологічної маси кукурудзи у фазі воскової стиглості при більш дрібному її здрібнюванні, чому для звичайного силосування. У цьому випадку кукурудзу забирають кормозбиральними комбайнами, обладнаних рекаттерами. Поряд із широким використанням стрижнів у суміші з іншими компонентами рослини кукурудзи, їх застосовують також і окремо для одержання грубих кормів [39, 112]. Для згодовування тваринам слід використовувати тільки доброякісні, не уражені цвіллю й гнилизною стрижні качанів кукурудзи. Звичайно вони мають вологість 14...16 %, добре зберігаються під навісами й в інших приміщеннях легкого типу. Стрижні з більш високою вологістю також придатні для відгодівлі, але при зберіганні вони швидко пліснявіють і гниють. Рекомендується [27] перед згодовуванням збагачувати стрижні карбамідом, при цьому одну частину карбаміду ввиді порошку розчиняють в 9...10 частинах меляси й розбавляють водою (на одну частину розчину 2...3 частини води). Приготовлені в такий спосіб стрижні використовують для молочних корів по 6...8 кг, худобі на відгодівлі - по 8...10 кг, молодняку ВРХ старше року - по 4...5 кг, молодняку до року - по 3...4 кг, вівцям - по 0,5...1,0 кг на голову у день. Для широкого застосування можна рекомендувати технологію підготовки й згодовування стрижнів кукурудзяних качанів коли стрижні подрібнюють на дробарці, змочують розчином патоки (на одну частину патоки беруть чотири частини води з карбамідом), ретельно перемішують і відволожують кілька годин, протягом

яких частки стрижнів, що володіють високою гігроскопичністю, насичуються розчином [ 27]. Перед згодовуванням худобі в суміш додають здрібнений цукровий буряк. Стрижні кукурудзяних качанів в натуральному й крупнодрібному видах погано поїдаються тваринами через наявність дерев'янистого циліндра, тому перед згодуванням їх слід подрібнювати в борошно. При цьому відзначається, що ступінь зброджування стрижнів залежить від якості млива. Так, стрижні, нарізані кружечками товщиною 5 мм, зброджуються на 20,5 %, а борошно середнього млива - на 75 %. У зв'язку з тим, що в сухому виді борошно зі стрижнів кукурудзи тваринами поїдається неохоче, перед згодовуванням великій рогатій худобі рекомендується змочувати її 15...20 %-ним розчином меляси з розрахунку 50 кг розчину на центнер борошна, додаючи в необхідній кількості поварену сіль, кобальт і карбамід. При відсутності меляси борошно зі стрижнів присмачують розчином повареної солі у воді з розрахунку 30...50 г на голову в добу [ 40 ]. Здрібнені стрижні використовують також у складі кормових сумішей у які, залежно від рецептури, додають висівки, мучку, зернові відходи, шроти, мелясу, крейду, сіль. Меляса підвищує смакові якості суміші, а також відіграє роль зв'язувальної речовини при гранулюванні. Позитивні результати отримані при використанні кормосумішей у процесі відгодівлі жуйних тварин . Стрижні використовували в кількості 4..6 кг, замінюючи ними повністю грубі або концентровані корми в перший період відгодівлі. При відгодівлі тварин на гніті або барди в раціони, крім зазначеної суміші, рекомендується вводити здрібнену солому бобових культур у кількості 2...4 кг. Середньодобові прирости ваги на такому раціоні становлять 867 г при витраті на 1 кг приросту ваги 8,54 корм. ед. Рецепти кормових сумішей з використанням кукурудзяних сумішей наведені в табл. 1.6. Такі кормові суміші можна готувати в гранульованому або розсипному виді й застосовувати в якості суміші у раціонах із соковитими й іншими кормами де міститься за кількістю 0,4 к. о. і 25...30 г перетравлюваного протеїну.

Таблиця 1.6

Зміст кормових сумішей для великої рогатої худоби, % [ 20 ]

Компоненти, %	Р е ц е п т			
	1	2	3	4
солома	42	-	-	-
Стрижні подрібнені	40	80	80	88,5
Висівки, зерновівідходи	5	8,5	13,5	-
шрот	5	5	5	-
меляса	5	5	-	9
сечовина	1,5	-	-	1,5
крейда	1	1	1	1
сіль	0,5	0,5	0,5	0,5

Рекомендують для відгодівлі великої рогатої худоби у віці 1 2...1 5 місяців наступні пропорції суміші (табл. 1.7) з використанням стрижнів кукурудзяних качанів. Недолік протеїну в раціонах при силосному й жомовому відгодівлях можна заповнити згодовуванням карбаміду. При відгодівлі бичків також використовують повноцінні кормосуміші, до складу яких входять стрижні кукурудзи в кількості 1..2 % від загальної маси сумішей [ 116] . При відгодівлі великої рогатої худоби й овець, іноді застосовують кукурудзяні висівки , одержувані при розмелі продовольчої кукурудзи, до складу яких входить частково й борошно з розмелених стрижнів [89] . Крім безпосереднього використання у кормах, стрижні качанів кукурудзи застосовують також для одержання кормових дріжджів, вихід яких становить приблизно 150 кг на 1 т сировини [2 0].

Таблиця 1.7



Пропорції кормових сумішей для великої рогатої худоби, кг[27]

компонент	вміст компонентів, %		
	силосний	жомовий	бардяний
стрижні качанів	4	5	6
силос кукурудзяний	18	6	-
жом буряковий	-	35	-
барда	-	-	50
буряк цукровий	5	-	5
концентрати	1,5	1,0	1,0
сіль поварена	0,08...0,10	0,1	0,1
трикальцій фосфат	0,06...0,08	0,08...0,10	-
крейда	-	-	0,08
патока кормова	-	1,0	-

Аналіз даних виконаних досліджень дозволив встановити, що здрібнені стрижні кукурудзяних качанів широко використовуються при виробництві кормів як для сумішей різного складу рослини кукурудзи (зерном, стеблами, листами), так і в якості окремого компонента в складі повнораціонних кормосумішей для відгодівлі, в основному, ВРХ, а також свиней і овець. Доцільність їх застосування обумовлена тим, що при існуючому дефіциті кормів використання стрижнів кукурудзяних качанів дозволяє додатково одержати 350...380 корм. од. з

1 га посіву кукурудзи, що помітно збільшує резерв грубих кормів у кормовому балансі країни [27]. Поряд із цим, основною умовою ефективного використання стрижнів при годівлі тварин є їхнє якісне подрібнення. Слід зазначити, що відносно розмірів часток подрібнених стрижнів кукурудзи не зложилася остаточний висновок, обґрунтований дослідженнями й

практикою, що підтверджується даними по гранулометричному складу здрібненої зерно-стрижневою й стрижневий сумішей, наведеними різними авторами. Це пов'язано з необхідністю при здрібнюванні задовольнити цілий ряд найчастіше суперечливих вимог:

- з метою зниження питомої витрати, енергії й питомих капіталовкладень ступінь здрібнювання качанів повинна бути мінімальною;
- для оптимізації умов збереження продукту у вологому виді (зміцненість, молочнокисле бродіння) вигідним є здрібнювання до середніх розмірів часток;
- у випадку готування рідких кормів щоб уникнути швидкого розподілу фракцій (осадження й спливання) після змішування потребує тонкого здрібнювання як зерна, так і качанів;
- ступінь здрібнювання повинна вибиратися з урахуванням здатності до засвоєння кормів тієї або іншої породи й виду тваринних різних вікових груп.

Базуючись на наявних у цей час даних, необхідна ступінь здрібнювання стрижнів з метою відгодівлі тварин може бути рекомендована в межах 1...5 мм із змісом фракції часток розміром до 4 мм не менш 70 % і з необхідним дотриманням умови раціональної витрати енергії на процес подрібнювання.

### **Розділ 3. Обґрунтування принципів процесу подрібнювання**

#### **3.1 Загальна характеристика устаткування для здрібнювання стрижнів, зерно-стрижневої суміші й качанів кукурудзи**

Технологічна операція здрібнювання є найбільш енергоємною в робочих процесах готування кормів у вигляді сінажу, силосу, трав'яного борошна й різання, комбікормів і повнораціонних кормових сумішей. У результаті здрібнювання сировини здобувають сипкість, завдяки чому поліпшуються операції навантаження, транспортування, дозування, зневоднювання, пресування, забезпечуються умови для ефективного відбування процесів консервування. Поряд із цим, при підготовці кормів до згодовування їх необхідно подрібнювати до певного гранулометричного розміру, залежно від вимог найбільш повного засвоєння даного корму окремими видами тваринних різних вікових груп. Обраний спосіб здрібнювання, що залежить від фізико-механічних властивостей корму і його призначення, обумовлює конструкцію подрібнюючого апарата, його параметри, режим роботи для забезпечення мінімальної питомої енергоємності процесу. Тому свідомості даної роботи спрямовані на вивчення закономірностей процесу здрібнювання стрижнів кукурудзи, з аналізом конструкцій машин вітчизняного й закордонного виробництва, застосовуваних у цей час для обробки сировини. У результаті проведеного аналізу встановлено, що всі існуючі конструкції машин для здрібнювання стрижнів, зерно-стрижневої суміші й качанів кукурудзи, незалежно від принципу дії, можна умовно розділити на дві групи: перша служить для грубого подрібнювання, друга - для тонкого здрібнювання продукту в борошно або крупку. Слід зазначити, що в існуючих дослідженнях практично відсутні дані по конструкціях машин, призначених безпосередньо для здрібнювання стрижнів (обмолочених качанів) кукурудзи й ефективності їх дії по таких основних показниках, як питома витрата енергії й гранулометричний склад здрібненого продукту. Не приводяться також дані з фізико-механічних властивостях стрижнів, зокрема, по міцнісним при різних видах деформацій, на базі яких повинен здійснюватися вибір принципу дії устаткування й розробка конструкції подрібнюючого робочого органа. Є лише рекомендації з використання для грубого подрібнювання стрижнів кукурудзи, що серійно

випускаються промисловістю машин: жмихоломачів, що вимагають певної реконструкції [ 8 ], валкових дробарок та деяких інших.

При цьому процес подрібнення стрижнів супроводжується значними енерговитратами, а ступінь обробки матеріалу незначна. Так, наприклад, застосування двовалкової дробарки, з продуктивністю у межах 2 т/г, дозволяє одержати розміри подріблених стрижнів до 40 мм, а питома витрата енергії на процес досягає 5 кВт·год/т при питомій металоемності конструкції 505 кВт·год/т. Наведені дані свідчать про нераціональність використання для подрібнення стрижнів кукурудзи наявного встаткування, але разом з тим, враховуючи значну їхню довжину, слід визнати доцільність технологічної операції попереднього обробітку стрижнів перед їх наступним здрібнюванням при незначних сумарних витратах енергії, тому що це дозволяє збільшити продуктивність машини, що реалізує другу стадію процесу, і поліпшити умови здрібнювання стрижнів до крупки необхідного гранулометричного складу. Враховуючи наведені дані, та аналізу складу технологічних ліній, принципу дії й конструкції машин, застосовуваних для здрібнювання качанів кукурудзи й зерно-стрижневої суміші, які широко використовуються в кормовиробництві встановлено, що найпоширенішими машинами, що реалізують дану технологічну операцію, є різні по конструкціях молоткові дробарки, що ставляться до машин ударної дії, у яких здрібнювання матеріалу здійснюється за рахунок вільного або стиснутого удару й стирання. Основними робочими органами молоткових дробарок, що здійснюють процес руйнування матеріалу, є ротор із шарнірно підвішеними молотками різної конфігурації й решета з декою.

### **3.2. Огляд машин для обробки сировини**

Подрібнювачі типу ИРТ-165, основне призначення яких здрібнювання грубих кормів у тюках і рулонах, являє собою пересувну машину, робочим органом якої є ротор із шарнірно підвішеними молотками, змонтований на колісному шасі. Для завантаження машина обладнана обертальним бункером, а здрібнена маса усувається конвеєрами - горизонтальним і

похилим. Подрібнювач випускають у модифікаціях з приводом у дію машини безпосередньо від валів отримання потужності тракторів типу Т або К від електродвигуна.

Подрібнюючий ротор складається з вала, квадратних пластин, розпірних кілець, шкворнів і молотків. Шкворні встановлюються у отворах пластин, а молотки - на шворні між пластинами в шаховому порядку. Уздовж ротора, закритого знизу решетом, розташовані притискна пластина й гребінка, що служить противорежешим елементом у вигляді зубів. Для додаткового регулювання завантаження ротора в конструкцію подрібнювача введений механізм регулювання положення гребінки й вісікача, з'єднаних між собою кинематично за допомогою тяг таким чином, що при підйомі гребінки відсікач опускається. Деякі подрібнювачі типу ИРТ відрізняється від базової машини ИРТ-165 тим, що замість обертового бункера використовують, бункер трапецеїдальної форми, комплектують змінними.гратами з отворами діаметром 10, 12, 16 і 20 мм і встановлюють 72 молотка. Ступінь здрібнювання регулюється установкою відповідного решета. Для забезпечення якісного здрібнювання качанів кукурудзи необхідно перевірити й, при необхідності, відрегулювати зазор між решетом і молотками в межах 0...2 мм шляхом установки між решетом, й направляючими прокладками, які після регулювання зазору приварюють до решета.

Дробарка ДМ-8 складається з рами, зварених верхнього й нижнього корпусів, з'єднаних болтами, ротора з набором молотків розміром 203x43x6,5 мм і рамки з решетом або декою. При роботі з решетом обидві бічні кришки корпусу закриті, а при роботі з декою замість однієї із кришок ставлять дефлектор або дефлектор-трубу із циклоном.



Рис. 3.1 Загальний вигляд дробарки ДМ-8

Аналіз технічних характеристик та досвід експлуатації дробарок ДМ-8 показав, що як правило вони використовуються за трьома варіантами комплектації. Перший - з решетом діаметром отворів 12 або 16 мм для здрібнювання зерна або очищених від обгорток качанів вологістю до 45 % ( для свиней). Другий - без решета із глухою декою, до внутрішньої поверхні якої приварені бичі або рифли, для здрібнювання качанів кукурудзи з обгортками вологістю до 45 % ( для великої рогатої худоби). Третій - комбінований варіант, при установці решета, з діаметром отворів 18 або 20 мм або колосникової деки, складеної з поздовжніх пластин товщиною 4 мм, висотою 40 мм, довжиною 660 мм із регульованою відстанню (12,5 і 5,0 мм), для здрібнювання неочищених качанів і одержання зерно-стрижневої суміші для свиней і великої рогатої худоби.

Подрібнювачі типу ИРМ містять у собі раму, подрібнюючий пристрій, верхню камеру, завантажувальний бункер, дефлектори, стійки із приводом заслінок і механізм привода.

Пристрій подрібнювача складається з корпусу, молоткового барабана й змінного решета. Молотки на осях барабана розташовані із кроком 76 мм і на кожній наступній осі змінені відносно, предьщущей на 38 мм. Дека складається зі звареного корпусу, протиріжучих ножів, осей, важелів

протирижучих ножів. Зварений корпус виконаний із правої, і лівої частини, плити, планки, опори ножів, лівого й правого бичів у зборі. У частинах, є шість рядів отворів для проходу осей, на які одягаються ножі, з'єднані кулачковими виступами. Ножі мають циліндричні хвостовики, які входять в опори й виконують роль підшипників ковзання. Опори фіксують ножі від осевого переміщення. На кінці осей одягнені важелі, за допомогою яких кожний ряд противорежущих ножів фіксується в робочем.положенні за допомогою запобіжних зрізних штифтів. Привод подрібнювача здійснюється від електродригателя або від трактора. У процесі роботи качани, очищені від обгорток, або зерно кукурудзи підвищеної вологості подаються в завантажувальний бункер, звідки крізь два вікна, розміри яких регулюються за допомогою заслонок, попадають у камеру здрібнювання. Качани захоплюються молотками барабана, розрізаються суперечними ножами деки, перетираються про її рифлені планки й здрібнений продукт виводиться з робочої камери. Ступінь здрібнювання можна регулювати шляхом вводу в роботу від одного до шести рядів протирижучих ножів деки або зміною частоти обертання вала барабана. Крім розглянутих конструкцій молоткових дробарок, що входять до складу технологічних ліній, для здрібнювання качанів кукурудзи застосовують також дробарки типу ДКМ, оснащеною двома живильниками для зерна й грубих кормів і автоматичним регулятором завантаження, конструкції машин в яких матеріал подрібнюється молотками й бичами, а також машин з двоступінчастим подрібненням з пристроєм у вигляді переднього й заднього молоткового барабанів, під кожним з яких установлена дека із протирижучими елементами, і ряд інших дробарок сучасних виробників. Із закордонних конструкцій молоткових дробарок, використовуваних для здрібнювання качанів кукурудзи, заслуговують на увагу, дробарки фірми "Skold" (Данія) DM, що приводиться від трактора з потужністю двигателя 74...118 кВт, обладнаних решетами з діаметром отворів 6...22 мм продуктивність, що й має, 20 т/г при масі конструкції 870 кг. Відмінною рисою дробарних машин в иготовлених в

Німеччині є виконання однієї з торцевих стенок у вигляді решета, через яке здійснюється отсос здрібненого до потрібного ступеня продукту.

Розглядаючи принципову можливість застосування для подрібнення стрижнів кукурудзи молоткових дробарок, необхідно враховувати наступне. Стрижні, отримані в результаті обмолоту качанів, мають вологість 16...18 %, через добу вона падає до 10...12 % , а при зберіганні може досягати й менших значень залежно від відносної вологості повітря й строків зберігання. Крім цього, внаслідок зміни структури стрижнів при видаленні із гнізд зерен у процесі обмолоту качанів, специфічних гігроскопічних властивостей і будови, їх міцність значно зростає й змінюються фрикційні властивості, у порівнянні з необмолоченими качанами підвищеної вологості, при збереженні пружно-пластичних характеристик, що показали випереджувальні дослідження й аналіз наявних даних. Враховуючи вищесказане, виходячи із принципу дії молоткових дробарок, що реалізують процес здрібнювання за рахунок ударних навантажень при інтенсивнім протиранні продукту через решета, їх застосування для тонкого здрібнювання стрижнів кукурудзи є недоцільним по наступних причинах:

- при здрібнюванні стрижнів, що володіють підвищеною міцністю й зміненими фрикційними властивостями;
- збільшується витрата енергії на процес і зношування робочих органів молотків і решіт;
- утворене при руйнуванні стрижнів незначної вологості великої кількості дрібних часток, здатних створювати з повітрям суміші пожежнонебезпечні концентрації;
- висуває підвищені вимоги до аспірації машини і її герметичності;
- відсутність механізму оперативного регулювання ступеня здрібнювання продукту

розглянутих конструкцій молоткових дробарок при здрібнюванні качанів кукурудзи вологістю 30...45 % (табл. 1.8) свідчить про їх значної енергоємності Нуд і металоємності Муд.



При порівнянні очікуваних питомих енерговитрат на подрібнення стрижнів е аналізованому обладнанні з Нуд на здрібнювання качанів слід враховувати, що крім меншої вологості й більшої міцності, стрижні характеризуються також меншою насипною щільністю, у зв'язку із чим значення Нуд для качанів при порівняльному аналізі слід ухвалювати значно вище, чим зазначені в таблиці 1.8. Крім цього, більша продуктивність молоткових дробарок при високому ступені здрібнювання продукту досягається за рахунок значної частоти обертання молоткового ротора, що становить 3000 хв<sup>-1</sup> у машин ДМ-8 і ДКМ-5,0, що створює додаткові незручності при їхньому обслуговуванні й експлуатації, тому що потрібно ретельне статичне й динамічне балансування роторів.

Таблиця 1.8

Порівняльна технічна характеристика молоткових дробарок на здрібнюванні качанів кукурудзи підвищеної вологості.

Показники	Одиниці виміру	ИРТ 165	ДМ-8	ИРМ-50	ИРМ-15	ДКМ-5	ДИС-1М
продуктивність	т/г	20	8	15	123	82	12
Вологість качанів	%	43 , 2	43 , 5	46 , 2	30 , 2	33 , 9	45 , 8
Частота обертання ротора	хв <sup>-1</sup>	2000	2950	1610	-	3000	2260
Встановлена потужність	кВт	110	30	90	55	30	22
Питомі витрати нергії	кВт·год/т	5 , 5	2 , 7	6 , 0	4 , 5	3 , 7	1 , 8
Маса подрібнювачів	т	5 , 1	0,385	2 , 57	2 , 2	1 , 03	0 , 8

Питома металоємність	кг·год/т	255	89	171	179	125	67
Розподіл подрібнених часток по фракціям,мм	%						
До 2		42 , 7	39 , 3	35 , 6	48 , 0	41 , 5	7 , 6
2...3		21 , 9	18 , 3	14 , 3	19 , 2	19 , 8	3 , 6
3...4		10 , 4	19 , 0	10 , 6	15 , 8	16 , 6	4 , 7
Більш 4		15 , 0	21 , 9	39 , 5	17 , 0	22 , 10	87 , 1
Модуль помелу,мм		2 , 3	2 , 5	3 , 2	2 , 35	2 , 76	6 , 95

Таким чином, зазначені конструктивні й технологічні недоліки розглянутих молоткових дробарок, використовуваних для здрібнювання качанів кукурудзи підвищеної вологості, свідчать про недоцільність їх застосування при здрібнюванні стрижнів. Крім молоткових дробарок, для здрібнювання качанів і вологого зерна кукурудзи використовують також інші конструкції стаціонарних машин, в яких продукт руйнується за рахунок ударного різання (ИСК-3А "Волгарь-5А") або зламу, розриву й перетирання ( ИГК-ЗОБ).

Подрібнювач-змішувач ИСК-3А складається із прийомного бункера, циліндричної робочої камери, ротора з ножами, вивантажувальної камери шести противорезов і дек, механізму привода й вивантажувального конвейера. Машина комплектується шістьма пакетами ножів, і протирезів, у нижній частині ротора розташовано пристрій для вивантаження подрібнюваного продукту. В подрібнювальній камері по периметру є вікна к протиріжучими подпруженими ніжами. Привод ротора здійснюється від електродвигуна через клинопасову передачу. У режимі здрібнювання на роторі встановлюють чотири скорочених ножа в першому ряді, два або чотири ножі в другому ряді й два або чотири зубчасті ножі в третьому й четвертому,

рядях, а камеру здрібнювання комплектують шістьма пакетами протирезів. При продуктивності машини 20 т/г і вологості качанів 45,5 % питома витрата енергії становила 2,1 кВт·год, а питома металоємність конструкції  $M_{уд} = 125$  кг·г/т. Однак, ступінь подрібнення була низькою, тому, що частки розміром більш 4 мм досягала 79,1 %. Особливістю машини "Волгарь-5А" є наявність двох вузлів, що подрібнюють сировину, за допомогою ріжучого барабана із шістьма спіральними ножами, подрібнюється продукт до часток розміром 20...80 мм, і механізму вторинного здрібнювання, що включає комплект, що подає шнек, і, рухливих та нерухливих дволезвийних ножів, що руйнують продукт до розмірів 2...10 мм. Витрата енергії становить 5 кВт·год/т при питомій металоємності конструкції 47 кг·г/т. Подрібнювач грубих кормів ИГК-ЗОБ складається з живильника, для здрібнювання зі штифтовим дисковим подріонюючим механізмом, електропривода й поворотного дефлектора. У комплект подрібнювача входить 25 лопаток, які встановлюють при здрібнюванні вологого продукту й знімають при обробці сухого. Подріонюючий апарат являє собою обертовий, жорстко закріплений на валу диск, на яким по концентричних окружностях у три ряди розташовуються 105 сталевих загострених штифтів. Продукт подрібнюється, проходячи між нерухливими й рухливими штифтами дробильної камери, за рахунок зламу, розриву й перетирання. Основним недоліком розглянутих конструкцій машин виявляється низький ступінь здрібнювання, хоча за окремими показниками вони й перевершують молоткові дробарки. Враховуючи, що ефективність і енергоємність процесу подрібнення залежить, в основному, від конструкції робочих органів обладнання, предстарляє.інтерес конструкція машини Mex Spezial фірми "Pottintger" (Австрія) для збирання й переробки качанів кукурудзи. Зерно-стрижньова суміш гвинтовим конвеєром подається в подріонюючий апарат, який являє собою нерухливе решето діаметром 1050 мм із рухливими робочими органами, укріпленими на восьми променях ротора, на кожному з яких паралельно утворюючої решета зовні кріпляться шкребки з гострою крайкою, а із внутрішнього боку чотири

притискувальні пластини й чотири ножі. У сукупності утворено вісім вильчатих пар, що переміщуються відносно решета зі швидкістю 60 м/с. Внутрішні протискають і перетирають зерно й шматки стрижнів, а зовнішні зрізують виштовхують з отворів масу. Для регулювання ступеня здрібнювання передбачено змінні решета з отворами діаметром 12, 16 і 20 мм. За даними випробувань, при вологості качанів 30...47 % досягався досить високий ступінь подрібнення продукту, характеризуемая змістом у суміші часток до 2 мм - 36...48 %, до 4 мм - 77...82 %, однак питомі енерговитрати досягали 10 квт·г/т. Таким чином, виконаний аналіз конструкцій машин для подрібнення качанів і зерно-стрижневої суміші показав, що для стрижнів кукурудзи, що мають незначну вологість, їх використання недоцільно через очікувану високу енергоємність і недостатньої ефективності процесу при значній металлоємності конструкцій, а також відсутності механізму оперативного регулювання ступеню здрібнювання продукту. У зв'язку із цим необхідним є розробка конструкції подрібнювача для стрижнів кукурудзи, що забезпечує менши витрати енергії й необхідний ступінь здрібнювання, що може бути досягнуто при виборі принципу дії машини й її робочих органів, що базується на даних фізико-механічних властивостей стрижнів, їх структури й гранулометричного складу.

### **3.3 Обґрунтування раціонального процесу й принципу дії машини для тонкого здрібнювання стрижнів**

Виконаний аналіз технологічних приймань і конструкцій машин для здрібнювання качанів і стрижнів кукурудзи дозволив встановити, що для здрібнювання стрижнів раціональним є розробка двоступінчастого процесу, що включає грубе дріблення в зубчастих дробарках й наступне тонке подрібнення стрижнів до крупки з розміром часток 1...5 мм. При цьому необхідною умовою ефективної реалізації процесу, поряд з досягненням необхідного гранулометричного складу подрібненої суміші, є його незначна енергоємність. Попереднє подрібнення стрижнів, здійснюване за рахунок

розламування з боку двоступінчастих зубчастих дисків, повинне підвищити ефективність наступного здрібнювання продукту за рахунок збільшення продуктивності машини, що реалізує другий етап процесу, поліпшення умов захоплення часток живильним пристроєм і зниження питомої витрати енергії. Слід зазначити, що при існуючій технології здрібнювання зерно-стрижневої суміші з кукурудзи також використовується попереднє дріблення стрижнів у кормозбиральних машинах до часток розміром 3...4 см. Вибір конструкції робочих органів ломача повинен бути з урахуванням лінійних розмірів стрижнів, їх конфігурації й міцності при різних видах деформацій, що дозволить при обґрунтованих кінематичних і технологічних параметрах машини подрібнювати продукт із мінімальними енерговитратами. Необхідність такого вибору обумовлена тим, що існуючі конструкції машин для грубого дріблення є універсальними, тому що призначені для здрібнювання різних крупних і волокнистих матеріалів, що мають неоднакову структуру, геометричні розміри й міцнісні властивості, у зв'язку із чим показники технологічної ефективності таких машин змінюються в широких межах і не є оптимальними для окремих подрібнювальних продуктів. Для тонкого здрібнювання дріблених стрижнів (другий етап процесу) доцільним є використання конструкції машини, у якій здрібнювання продукту здійснюється за рахунок неоднократного різання його з боку робочих органів при одночасному розтяганні й вигині в процесі транспортування в робочій зоні. Такий вибір принципу дії подрібнювача обумовлений характерними рисами стрижнів які мають значну міцність й володіють досить високою пружністю. Такому впливу матеріал зазнає в машинах, робочі органи яких являють собою конусні зубчасті диски. При цьому найважливішою умовою ефективного подрібнення конкретного продукту є обґрунтовано обрані геометричні параметри ріжучих елементів, їх розташування й конфігурація. У зв'язку із цим, при обраному принципі дії машини для тонкого здрібнювання стрижнів, необхідним є проведення теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на

обґрунтування й вибір геометричних параметрів робочих органів подрібнювача. Слід враховувати, що раціональність пропонованого дво-східчастого процесу здрібнювання стрижнів кукурудзи повинна бути підтверджена експериментальними даними по сумарним енерговитратам і гранулометричному складу здрібненої суміші.

## Розділ 4. Обґрунтування параметрів дискового подрібнювача

### 4.1. Функціональна й параметрична схеми процесу здрібнювання

Функціональна й параметрична схеми двоступінчастого процесу здрібнювання стрижнів кукурудзи в дисковій машині, складені відповідно до рекомендацій щодо технічної експлуатації подрібнювача та яку наведено на рис. 2.1. Попереднє дріблення стрижнів кукурудзи здійснюється при русі продукту в робочому зазорі  $\delta$ , утвореному двома зубчастими двоступінчастими дисками із внутрішнім і зовнішнім діаметрами відповідно  $D_v$   $D_n$  і шириною  $B$ . Диски мають  $Z$  зубів висотою  $h$  і шириною  $b$ , розташованих з радіальним і окружним кроком відповідно  $t_r$  і  $t_\psi$ .

Зміна траєкторій, швидкостей, модулів рушійних сил і сил опору, що розвиваються в робочій зоні при вертикальній гравітаційній переміщенні стрижнів, що й забезпечують різну інтенсивність і тривалість їх обробки, досягається зміною кутових швидкостей обертання  $\omega_m$  і  $\omega_b$ , повільно і швидкообертальних дисків, а також величини подачі  $Q'$  продукту на вході, що визначає коефіцієнт заповнення робочої зони. Крім впливу перерахованих керуючих параметрів, ефективність дроблення стрижнів значною мірою залежить від побуджуючих факторів, що включають лінійні розміри вихідних стрижнів - діаметр  $D$  і довжину  $L$ , їх вологість  $W$ , сортові особливості кукурудзи  $C$ , а також відносну вологість повітря  $\phi$  і його температуру  $t^\circ C$ . У якості керованих вихідних параметрів були прийняті довжина  $l_k$  і діаметр  $d_k$  дроблених стрижнів, коефіцієнти подрібнення  $K'_d$  і  $K''_d$ , обумовлені відношенням основних лінійних розмірів і поверхонь вихідних і дроблених часток, а також питома витрата енергії  $N'_{уд}$ , обумовлений відношенням корисної потужності  $N_{др}$  на дроблення до продуктивності  $Q$  машини. Параметрами спостереження були обрані насипна щільність вихідних  $\rho_n^{ис}$ , дріблених  $\rho_n^{\Delta c}$  стрижнів і коефіцієнти щільності їх укладки  $K_{ис}$ , та  $K_{дс}$ . При реалізації другого етапу процесу - здрібнювання стрижнів до крупки в дисковій машині - керуючими параметрами були:

діаметри рухливого  $D_n, d_n$  і нерухливого  $D_n, d_n$  дисків; число зубів на них  $Z_n$   $Z_n$ ; крок радіального  $t_r$  і окружного  $t_\phi$ , розташування зубців; кут нахилу  $\alpha$  рифлей відносно утворюючої конуса; кути вістря рифли  $\eta$ , і зрізу  $\eta_c$ ; величини вхідного  $\delta_{вх}$  і вихідного.  $\delta_{в}$  зазорів; кути  $\phi_n, \phi_n$ , характеризуючі конусність дисків і кутова швидкість обертання  $\omega$  рухомого диска. Побуджючими параметрами, що обурюють, були вибрані  $\phi, C, W, t^0C$  а також вихідні фактори першого етапу. Аналогічними були й спостерігаємі параметри для дріблених  $\rho_n^{\Delta c}, K_{дс}$  здрібнених стрижнів (крупки)  $\rho_n^k, K_k$ . Ефективність другого етапу оцінювали показниками середнього діаметра часток  $d_{ч}$ , коефіцієнтами здрібнювання  $K'_n$  і  $K''_n$  і питомої витрати енергії  $N''_{уд}$ , а загальну ефективність процесу узагальненими коефіцієнтами здрібнювання  $K'$  і  $K''$  і сумарною питомою витратою енергії  $\sum N_{уд}$ . Велике число вхідних і побуджюючих параметрів і складний характер впливу більшості з них на вихідні фактори створюють утруднення для комплексного опису досліджуваного процесу.



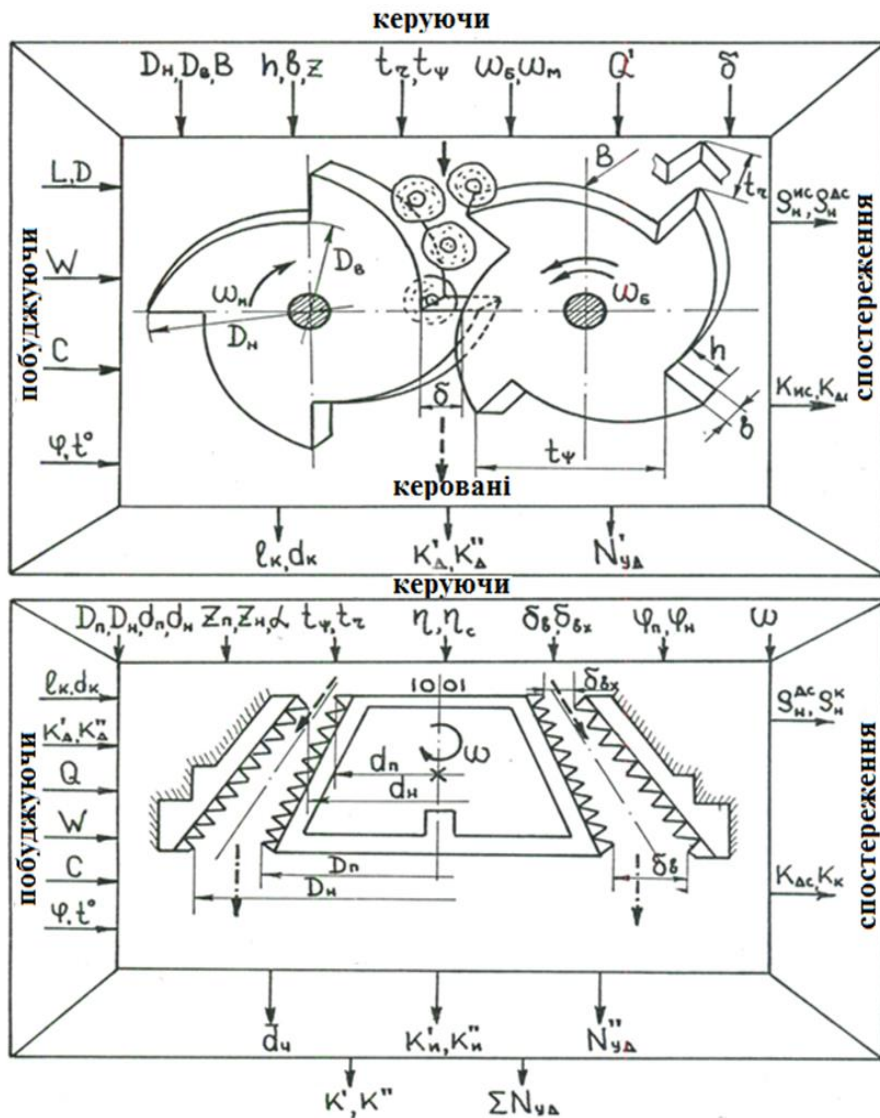


Рис. 2.1 Функціональна й параметрична схеми здрібнювання

У зв'язку із цим виникає необхідність емпіричного визначення основних показників для оптимізації його по параметрах гранулометричного складу здрібненої суміші й питомої витрати енергії.

#### 4.2. Вибір геометричних параметрів робочих органів визначення продуктивності й потужності дискового подрібнювача

При обґрунтуванні принципу дії й умов роботи дискового подрібнювача необхідно враховувати взаємний вплив багатьох конструктивних, кінематичних і навантажувальних параметрів з урахуванням фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. У якості технічного

розв'язку, що задовольняє вимогам одержання здрібнених часток стрижнів кукурудзи з розмірами 1...5 мм, що визначається умовами раціональної годівлі тварин, робочими органами подрібнювача було обрано два усічено-ноконічних диска з рифленою поверхнею. Рифли отримані токарною нарізкою кільцевих східчастих канавок на кожному з дисків і фрезеруванням канавок на їхніх поверхнях під кутом  $\alpha$  до утворюючої конусів. З розгляду розрахунково-графічної схеми (рис. 4.2 а) випливає, що робоча зона дискового подрібнювача характеризується  $\delta_{вх}$  вхідним і вихідним  $\delta_{в}$  зазорами у вигляді круглих кілець, співвідношення яких визначається конусністю рухливого й нерухомого дисків, що залежить від кутів  $\varphi_n, \varphi_n$ . Геометрична характеристика ріжучого елемента (рис. 4.2б) визначається двограним кутом перетину рифли площиною, ортогональної лінії нарізки рифлей на поверхні конуса. Кут вістря рифли прийнятий рівним  $\eta$ , кут зрізу -  $\eta_c$ , тоді кут спинки буде  $\pi/2 - \eta_c$ , при площі зуба у верхній частині  $\delta^2_3$ .

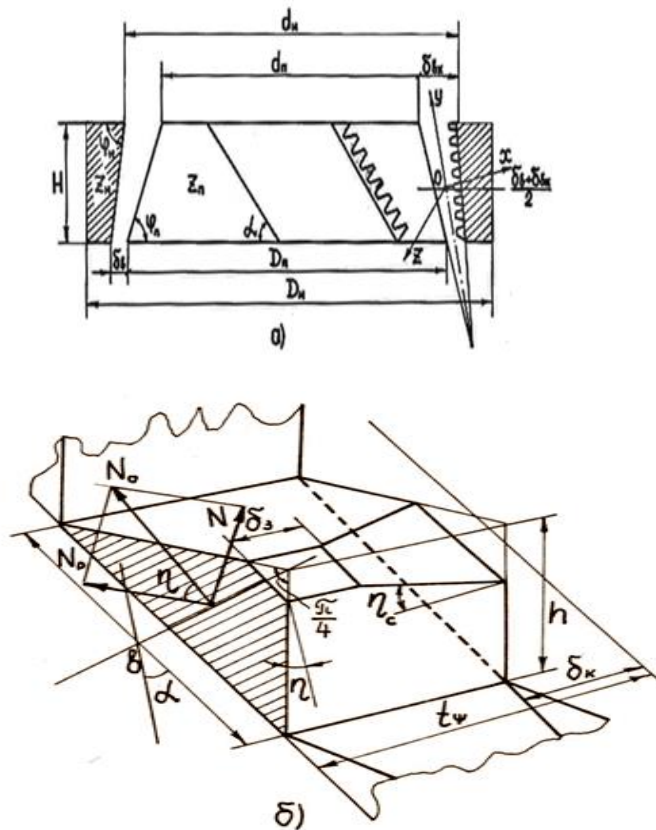


Рис.4.2. Геометричні параметри робочих органів дискового подрібнювача: а)- конусних дисків; б) рифлей.

При кругових кількостях зубців рухомого та нерухомого дисків  $Z_{н\psi}$ ,  $Z_{н\psi}$  центральні кути кругового кроку для них були постійними й становили відповідно  $2\pi/Z_{н\psi}$  і  $2\pi/Z_{н\psi}$ . Тому, що  $Z_{н\psi}$ ,  $Z_{н\psi}$  прийняті постійними, геометричні розміри ріжучих елементів змінювалися при переході від вхідного до вихідного зазору. Положення робочих елементів дискового подрібнювача відповідало схемі "вістря протия вістря", при якій робоча зона машини, внаслідок похилого розташування нарізних канавок під кутом  $\alpha$ , до утворюючої конуса, являла собою "ножиці", які забезпечують здрібнювання продукту із використанням деформації зрізу. При вибраній конструкції й геометрії робочих органів дискового подрібнювача прийняте допущення, що зріз часток матеріалу при протистоянні-двох зубів відбувається з кожної сторони на величину не більш висоти зуба. У процесі зрізу на ділянці ріжучої крайки зуба виникають найбільші дотичні напруження, які далі за її межами зменшуються до нуля разом з нормальними. При теоретичному обґрунтуванні процесу здрібнювання дріблених стрижнів кукурудзи в робочій зоні дискового подрібнювача розглянуто випадкове укладання часток нерегулярної форми в середньому перетині площиною  $XOY$ , ортогональної осі обертання рухливого диска (рис. 4.3). Сукупність положень усіх початкових крапок-поверхонь контакту з зубчастими елементами можна розглядати як випадкове поле двох координат  $X$  і  $Z$  на горизонтальній площині. Окремий випадок такої ділянки може бути поле ізотропної властивості, характеризує ідеальним укладанням кулястих часток

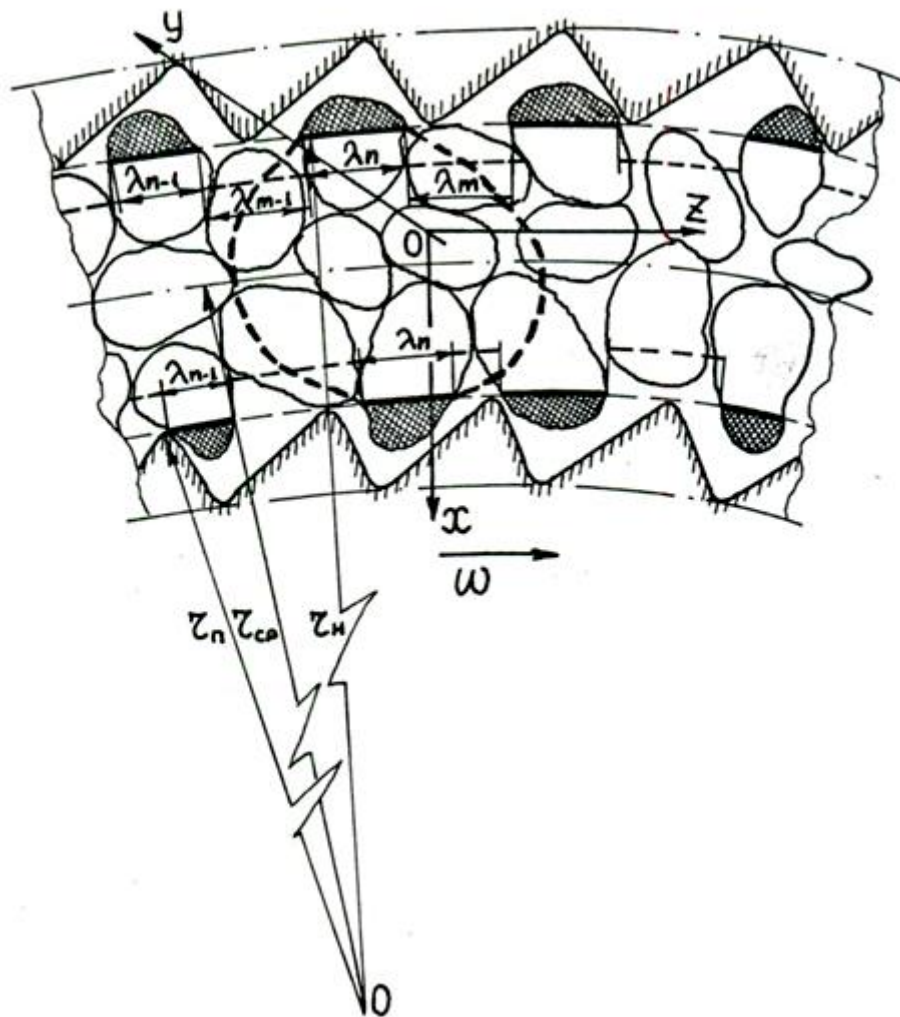


Рис. 4.3. Принципова схема обробки часток стрижнів дисками.

що в межах першого наближення відповідає реальним умовам обробки матеріалу в робочій зоні машини. Експериментальне профілографування частинок на вигнутій поверхні з тонколистового органічного скла з радіусом кривізни диска за середнім перетину  $r_{cp}=0,5(r_n + r_n)$  показало статистичну однорідність розподілу точок контакту незалежно від напрямку осей координат. Як впливає з рис. 4.3. елементарні дуги  $\lambda_n, \lambda_m$  характеризують ділянки, що підлягають зрізу і пори. Допускаючи, що зріз відбувається одночасно з обертовими і нерухомими зубчастими дисками, і відповідає середньої лінії междискових зазору з радіусом  $r_{cp}$ , правомірним стає проведення розрахунків зрізаних ділянок з урахуванням сумарної величини одночасно зрізаних ділянок з лінійним розміром  $2L_{n_{cp}} = 2\pi \sum_0^{2\pi} \lambda_{n_{cp}}$

При товщині робочого диска  $H$  величина активної лінії обробки буде

$$l_c = H / \cos(\beta + \alpha/2).$$

В аналітичному вигляді характеристики випадкових велічин, за якими можна оцінити геометрію зрізаного рельєфу, можна визначити по їх середній кількості. З урахуванням зроблених припущень, при середній кількості зрізаних ділянок рухомим і нерухомим дисками в інтервалі подвоєною дуги, що дорівнює  $2L_{CP} = 2(L_{ncp} + L_{mcp})$  отримаємо сумарну окружну величину одночасно зрізаних ділянок:

$$2L_{CP} = 2\pi r_{cp} = 2\pi(\sum_0^{2\pi} \lambda_{ncp} + \sum_0^{2\pi} \lambda_{mcp}) \quad (4.1)$$

Окружне число рухомого  $Z_{n\psi}$  і нерухомого  $Z_{m\psi}$  дисків при окружному їх кроці відповідно  $t_{n\psi}$ ,  $t_{m\psi}$  для одного концентричного ряду визначається виразами:

$$Z_{n\psi} = \frac{2\pi r_{n\psi}}{t_{n\psi}}; Z_{m\psi} = \frac{2\pi r_{m\psi}}{t_{m\psi}} \quad (4.2)$$

При однаковій кількості зубів на утворюють конічних., Поверхнях дисків  $1n$  і  $1m$  н общее їх кількість на рухомому і нерухомому дисках буде:

$$Z_{n\psi} = \frac{2\pi r_{n\psi}}{t_{n\psi}} i_{n\psi}; Z_{m\psi} = \frac{2\pi r_{m\psi}}{t_{m\psi}} i_{m\psi} \quad (4.3)$$

Тоді загальна кількість  $M_i$  зустрічних перетинів зубья за один оборот валу подрібнювача, при прийнятому  $i = i_{n\psi} = i_{m\psi}$ , складе:

$$M_i = Z_{n\psi} Z_{m\psi} = 4\pi^2 r_{n\psi} r_{m\psi} \frac{i^2}{t_{n\psi} t_{m\psi}} \quad (4.4)$$

а при швидкості  $n$  об/хв рухомого диска число циклів  $M$  зустрічей зубів один з одним визначиться виразом:

$$M = 4\pi^2 n r_{n\psi} r_{m\psi} \frac{i^2}{t_{n\psi} t_{m\psi}} \quad (4.5)$$

Аналіз виразу (2.5) показує, що для збільшення продуктивності машини і підвищення ступеня подрібнення продукту величина  $M$  повинна бути максимальною, що може бути досягнуто збільшенням радіусів рухомого і нерухомого дисків, кількості зубів і на утворюючих їх конічних

поверхностей, числа обертів рухомого диска, а також зменшенням окружного кроку зубів на дисках. На підставі попередніх експериментальних досліджень геометричних параметрів зубчастих дисків встановлено, що продуктивність подрібнювача значною мірою залежить також від розмірів рифлів. Визначено, що для досягнення розмірів частинок в межах 1...5 мм слід забезпечити такі геометричні розміри рифлів обертального диска (див.рис. 4.2 б) висота і ширина яких 5 і 7 мм, площа рифлі у верхній частині = 4 мм<sup>2</sup>, відповідно кут вістря рифлі і кут зрізу 45 ° і 20 ° відповідно. Одним з визначальних параметрів, що роблять істотний вплив на ефективність процесу подрібнення, є кут нахилу нарізки рифлів щодо утворює конічної поверхні рухомого диска, який, поряд з ефективністю, надає також вплив на умови транспортування продукту в робочому зазорі дискового подрібнювача. Захват шматків подрібнених стрижнів в подрібнювачах з конічними дисками визначається величиною приймального зазору  $\delta_{вх}$  і величиною кута захоплення  $\theta$ , від співвідношення яких, в свою чергу, залежить величина випускного зазору  $\delta_{в}$ . У зв'язку з цим розглянуто схему навантаження частки в клиновидном робочому зазорі (рис. 4.4) і визначили проекції діючих сил на вісь Y, який являє собою бісектрису кута захвату:

$$\begin{aligned} \sum y = G \cos\left(\beta + \frac{\theta}{2}\right) + P_U \sin\left(\beta + \frac{\theta}{2}\right) - F_1 \cos\alpha \cos\frac{\theta}{2} - F_2 \cos\alpha \cos\frac{\theta}{2} - \\ N_1 \sin\frac{\theta}{2} - N_2 \sin\frac{\theta}{2} + N_{P1} \sin\alpha \cos\frac{\theta}{2} + N_{P2} \sin\alpha \cos\frac{\theta}{2} = 0 \end{aligned} \quad (4.6)$$

де G - сила тяжіння;

$P_u$  - відцентрова сила;

$F_1$  і  $F_2$  - сили тертя частинок об диски;

$N_1, N_2, N_{p1}$  і  $N_{p2}$  – складові сили тиску рифлів рухомого диска і реакції рифлів нерухомого диска.

У зв'язку з малими значеннями складовою G,  $P_u$  ними можна знехтувати.

Тоді при  $N_1=N_2=N$  і  $N_{p1}=N_{p2}=N_D$

Отримаємо

$$-N_p \mu \cos\alpha \cos\frac{\theta}{2} - N_p \mu \cos\alpha \cos\frac{\theta}{2} - N \sin\alpha \sin\frac{\theta}{2} - N \sin\alpha \sin\frac{\theta}{2} + N_p \sin\alpha \cos\frac{\theta}{2} +$$

$$+N_p \sin \alpha \cos \frac{\theta}{2} > 0 \quad (4.7)$$

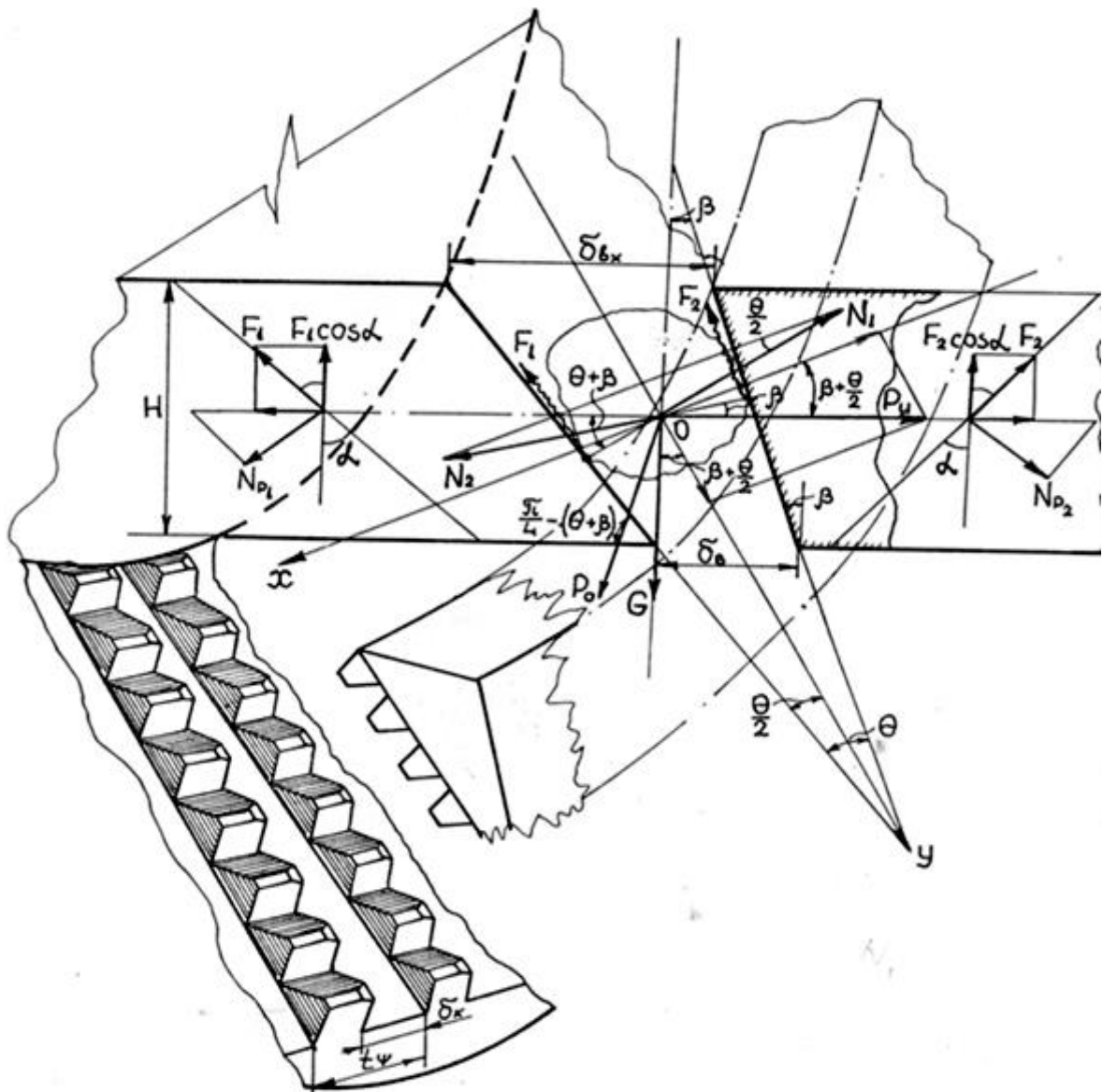


Рисунок 4.4 Розрахункова схема до вибору геометричних параметрів дискового подрібнювача де  $\mu$  - коефіцієнт зовнішнього тертя продукту по сталі.

При виконанні умови (4.7) частки продукту захоплюються рифлями й рухатися вниз, а не виштовхуватися через вхідний зазор.

Виходячи з даних геометрії рифлі ( рис. 4.2б) подрібнювача, передній кут вістря якої визначений  $\eta$ , запишемо:

$$N_p = N_o \cos \eta; \quad N = N_o \sin \eta \quad (4.8)$$

Підставивши вираження (2.8) і (2.7), одержимо:

$$\begin{aligned}
& -\mu N_0 \cos \eta \cos \alpha \cos \frac{\theta}{2} - N_0 \mu \cos \eta \cos \alpha \cos \frac{\theta}{2} - N_0 \sin \eta \sin \alpha \sin \frac{\theta}{2} - \\
& -N_0 \sin \eta \sin \alpha \sin \frac{\theta}{2} + N_0 \cos \eta \sin \alpha \cos \frac{\theta}{2} + N_0 \cos \eta \sin \alpha \cos \frac{\theta}{2} > 0
\end{aligned}
\tag{4.9}$$

Після преобразований перепишемо (4.9) у вигляді:

$$2N_0(-\mu \cos \eta \cos \alpha \cos \frac{\theta}{2} - \sin \eta \sin \alpha \sin \frac{\theta}{2} + \cos \eta \sin \alpha \cos \frac{\theta}{2}) > 0 \tag{4.10}$$

або

$$-\mu - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \eta \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + \operatorname{tg} \alpha > 0 \tag{4.11}$$

Виразивши з (4.11) кут  $\alpha$ , запишемо остаточно:

$$\alpha > \operatorname{arctg} \left( \frac{\mu}{1 - \operatorname{tg} \eta \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} \right) \tag{4.12}$$

Виразення (4.12) встановлює зв'язок між геометричними параметрами дисків, з кутом нахилу  $\alpha$  рифлей щодо утворюючої конуса рухомого диска, кутом заострення рифлей  $\eta$ , кутом захвата  $\theta$ , що є функцією вхідного  $\delta_{\text{вх}}$  і випускного  $\delta_{\text{в}}$  зазорів машини й фрикційними властивостями оброблюваного матеріалу, що характеризуються коефіцієнтом зовнішнього тертя  $\mu$  і дозволяє обґрунтовано вибрати їх раціональну комбінацію.

При прийнятих конструктивних розмірах конусних дисків (рис. 4.2а): діаметрах  $d_n = 156$  мм,  $d_H = 8$  мм,  $D_n = 222$  мм,  $D_H = 242$  мм, висоті  $H = 40$  мм, числі зуб'єв рухомого  $Z_n$  і нерухомого  $Z_H$  44 і 54, кути конусності дискор становлять  $\varphi_H = 65^\circ$ ,  $\varphi_n = 45^\circ$ , а величини вхідного  $\delta_{\text{вх}}$  і вихідного  $\delta_{\text{в}}$  зазорів 21 мм і 10 мм. Тоді кут захвату часток буде  $\theta = 20^\circ$ , при яким умова приймання в робочу зону дріблених стрижнів з розмірами  $r$  межах 20...25 мм.

Визначивши результаті попередніх пошуків коефіцієнт зовнішнього тертя дріблених стрижнів  $\mu_{\Delta} = 0,35$ , а також, враховуючи, що кут  $\eta$  прийнятий раціональним  $45^\circ$ , по (4.12) розраховане, що  $\alpha > 23^\circ$ . Таким чином, встановлена мінімальна величина кута нахилу  $\alpha$ , рифлей  $r$  межах  $20^\circ$ , але остаточно його раціональне значення може бути визначене тільки після дослідження впливу  $\alpha$  на ефективність процесу, характеризуємого ступенем подрібнення й питомою



витратою енергії.

Складний процес одночасного транспортування й подрібнення стрижнів кукурудзи в робочій зоні машини характеризується пропускною здатністю шнекового живильного пристрою й дисків забезпечуючих одержання суміші продуктів необхідного гранулометричного складу. Продуктивність живильного шнека й дискового подрібнювача залежить від кінематичних і геометричних параметрів, а також фізико-механічних властивостей матеріалу. Для шнекового живильного пристрою продуктивність  $Q_{ш}$ , до кг/г розраховується по вираженню:

$$Q_{ш} = 60\varphi \frac{\pi(D_{ш}^2 - d_{ш}^2)}{4} t_{ш} n \rho_{н}^{дс} K = 47\varphi (D_{ш}^2 - d_{ш}^2) t_{ш} n \rho_{н}^{дс} K, \quad (2.13)$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт заповнення шнека;

$D_{ш}$  - діаметр витка шнека, м;

$d_{ш}$  - діаметр вала шнека, м;

$t_{ш}$  - крок шнека, м;

$n$  - число обертів, об/хв;

$\rho_{н}^{дс}$  - насипна щільність дроблених стрижнів, кг/м<sup>3</sup> ;

$K$  - коефіцієнт подачі.

Розрахункова продуктивність  $Q$ , кг/год дисків визначена наступним вираженням:

$$Q_{д} = 3600\pi (D'_{в} \delta_{в} V_{з} K_1 + \frac{D'_{к}}{t_{к}} S_{к} V_{к} K_2) \rho_{н}^{дс} K_3 \quad (2.14)$$

де  $D'_{в}$  - середній діаметр випускної щілини, м;

$\delta_{в}$  - величина вихідного зазору подрібнювача, м;

$V_{з}$  - осьова швидкість матеріалу в вихідному зазорі, м/с;

$D'_{к}$  - середній діаметр по перетину випускної канавки, м;

$t_{к}$  - крок канавок по окружності диска, м;

$S_{к} = 0,5 h_{к} l_{к}$  - площа трикутного перетину канавки, м<sup>2</sup>;

$V_{к}$  - швидкість матеріалу в канавці нерухливого диска, м/с;

$K_3$  - коефіцієнт розпушення матеріалу на виході;

$K_1$  і  $K_2$  - коефіцієнти заповнення вихідного зазору й канавки.

Величини  $v_z$  й  $v_k$  розраховували по вираженню:

$$V_k = \frac{\pi D'_{pz} n}{60} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \sin\alpha; V_z = V_k \cos\beta \quad (4.15)$$

де  $D'_{pz}$  - середній діаметр робочої зони, м;

$\beta$  - кут між бісектрисою кута захвата й нормаллю до основи дисків.

Підставивши (4.15) в (4.14), запишемо остаточно:

$$Q_d = 592 \bar{D}_{pz} n \rho_H^{dc} \left( \bar{D}_v \delta_v \cos\beta K_1 + \frac{\bar{D}_k}{t_k} S_k K_2 \right) K_3 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \sin\alpha \quad (4.16)$$

Отримані вираження (4.13, 4.16) дозволяють при прийнятих геометричних і кінематичних параметрах розрахувати продуктивність шнекового живильного пристрою й подрібнювальних дисків, або вибрати значення (деяких з них) для досягнення заданої продуктивності.

Для парно працюючих дисків з однаковим і протилежно спрямованим ухилом рифлей, з кутом  $\alpha$ , створюється їхнє перетинання під кутом  $2\alpha$ . Внаслідок похилу рифлей вони отримують значні розпірні й дотичні зусилля при здрібнюванні матеріалу у робочій зоні машини. Стрижні, що подрібнюються, руйнуються в результаті комплексної деформації стиску, зрізу й частково розтягання й вигину. В основному, здрібнювання відбувається шляхом зрізу частиць ріжучими елементами зубів, розташованих на поверхнях обох дисків.

Потрібна потужність  $N$  для привода машини визначається сумою двох основних складових  $N_{ш}$  - для шнекового живильника і дискового измельчителя  $N_d$ . Витрата енергії для привода живильного пристрою шнекового типу визначали по формулі:

$$N_{ш} = (Q_d L_{ш} K_c + M \omega^3 R_{ш}^2 \mu_d) 10^{-3} \quad (4.17)$$

де  $L_{ш}$  - довжина шнека, м;

$K_c$  - коефіцієнт опору руху матеріалу в робочій зоні;

$M$  - маса продукту, що перебуває в клиноподібному кільцевому зазорі робочої зони, кг;

$\omega$  - кутова швидкість обертання шнека,  $s^{-1}$ ,

$R'_{ш}$  - середній радіус обертання шнека, м;

$\mu_d$  - коефіцієнт зовнішнього тертя дріблених стрижнів про сталеву стінку  
циліндра;

Q - продуктивність живильника, кг/с .

## Розділ 5 Основи методологічного аналізу процесу подрібнення

### 5.1. Параметри досліджень

У якості об'єкта дослідження обрані стрижні кукурудзяних качанів вихідною вологістю  $W = 80,5 \%$ , підданих обмолоту в комбайні. Відповідно до поставленої задачі пошукові параметричні показники показані в таблиці 5.1. Необхідність розробки конструкції установки для попереднього дріблення стрижнів визначена завданням одержати лінійні розміри дріблених стрижнів, що дозволяють забезпечити завантаження шнековим живильним пристроєм робочої зони дискової здрибнювальної машини, що забезпечує заключну стадію процесу.

Таблиця 5.1

Параметричні показники дослідження

Спрямованість досліджень	П а р а м е т р и		
	пошукові	постійні	змінні
Хімічний склад, харчова вартість	-	Вологість $8 \pm 0,5\%$	-
Гранулометричний склад	Довжина, діаметр, щільність	-	-
Міцнісні властивості	Межа міцності на зріз, стискування	Розмір зразків	Вологість 8...20%, крок варіювання 2%
Визначення раціональних значень параметрів дискового подрібнювача	Середня довжина подрібнених стрижнів та витрати енергії	Вологість $14 \pm 0,5\%$	Зазор між дисками 5...25 мм, кутова швидкість 10...50 $c^{-1}$

Визначення гранулометричного складу подрібнених стрижнів	Довжина, діаметр, щільність	Вологість $8 \pm 0,5\%$	-
Встановлення раціональних значень параметрів процесу дріблення стрижнів в машині	Середньозважений розмір часток, витрати енергії, пропускна здатність машини	-	Вологість 8...20%, випускний зазор 0,2...8,0 мм, похил ріфлей 20...70°, число обертів 500...1000 об/хв
Визначення гранулометричного складу подрібнених стрижнів	Діаметр крупки, насипна щільність	-	-
Фрікційні властивості подрібнених стрижнів і крупки	Кути натурального укусу та зовнішнього тертя	-	Вологість $8 \pm 0,5\%$
	Коефіцієнти зовнішнього та внутрішнього тертя	-	Тиск на шар продукту 0,5...6,0 кПа
Деформативні властивості крупки	Модуль пружності та бічного тиску	Тривалість 5 хв.	Вологість $8 \pm 0,5\%$ , гідростатичний тиск $H = 2600 \dots 2900$ мм рт. ст.

Аеромеханічні властивості крупки	Швидкість вітання	-	Вологість 8...20%,
	Коефіцієнт относу фракцій	Вологість $8 \pm 0,5\%$	Швидкість повітря 0,5...6,5 м/с

При вирішенні завдання передбачається досягнення ступеня лінійного здрібнювання в межах 3...5, виходячи з максимальної довжини використовуваних стрижнів 150...180 мм. У результаті дріблення вихідної сировини осередненні лінійні розміри часток повинні характеризуватися величиною в межах 45 - 15 мм.

## 5.2 Конструктивні особливості дискового обладнання

На рисунку 5.1 наведена конструктивно-кінематична схема ломача. Конструкція включала наступні складальні одиниці: станину, подрібнюючий пристрій, механізм регулювання робочого зазору й приводно-передатний пристрій. Дробарний пристрій складається із двох обертаючих назустріч один одному зубчасто-дискових роторів, кожний з яких був складений з набору, що чергуються більшого 1 і меншого 2 по діаметру дисків, закріплених на паралельно розташованих валах 3. Шахове розташування дисків двох роторів забезпечує створення зони захвата східчастої форми, яка дозволяла при горизонтальній орієнтації стрижнів кукурудзи здійснювати їх одночасне здрібнювання на частини. Привод у зустрічне обертання роторів був виконаний від індивідуального електродвигуна 4 через клинопасову й прямозубу передачу 5 з передатним відношенням  $u = 2$ . Швидкообертальний ротор встановлено у рухливих корпусах підшипників 6, а повільно-обертальний у нерухливих 7. Для регулювання величини міждискового зазору опорні стійки 8 при повороті їх щодо нерухливих осей одночасно перемішалися через пальці 9 двома повідковими тягами 10, з'єднаними з поперечною планкою II загальним механізмом керування.

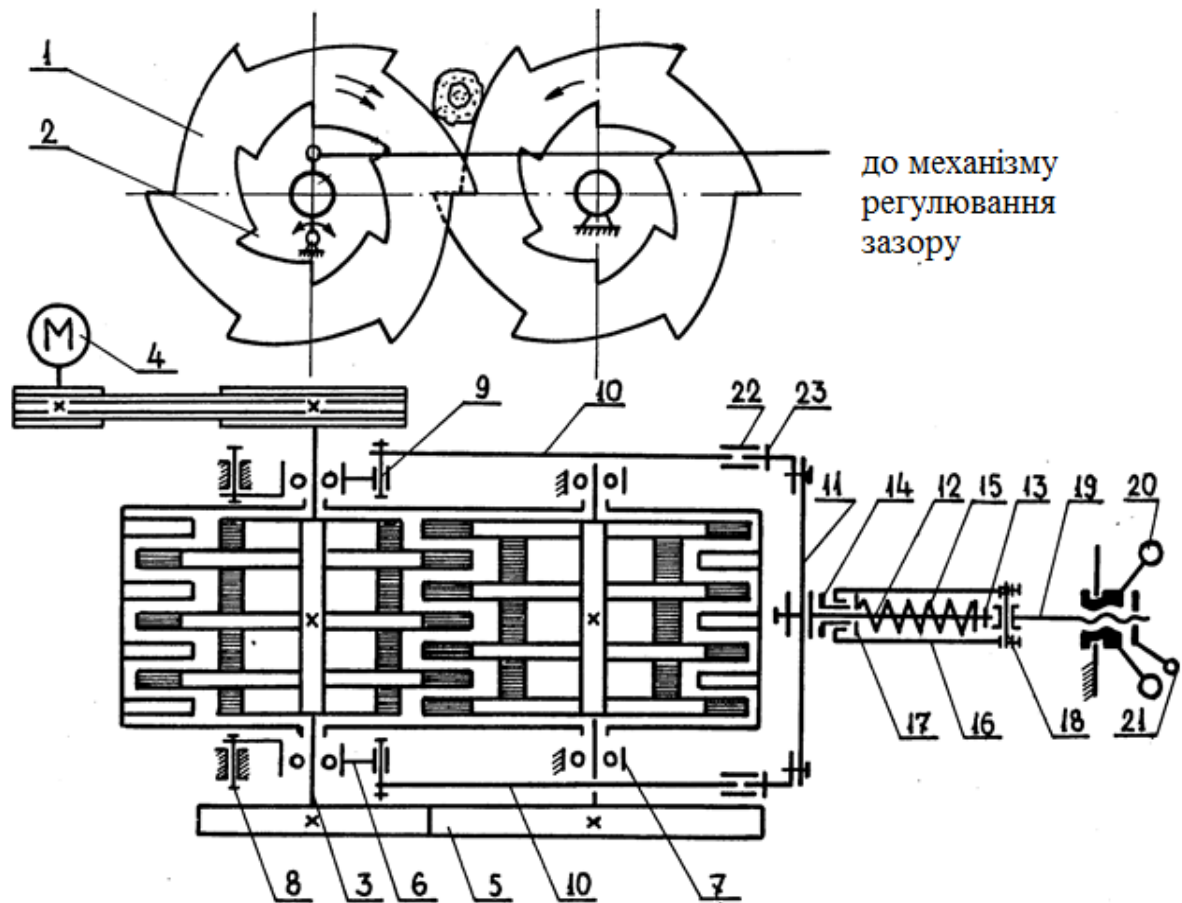


Рис.5.1 Конструктивно-кінематична схема ломача стрижнів

Механізм регулювання зазору включав тяговий різьбовий повідець 12, жорстко закріплений на поперечній планці I, регулювальною гайкою 13 і фасонної втулки 14 була установлена пружина 15, осьовий стиск якої забезпечує перебільшення междискового зусилля в процесі роботи машини під постійним навантаженням. Фасонна втулка 14 входила різьбовим з'єднанням в склянку 16 і має перемішати шайбу 17 в осьовому напрямку для регулювання зусилля затягування пружини 15 відносно гайки 13. До кінцевої частині циліндричного, стакана 1 жорстко закріплювався палець 18 з поводковим різьбовим винтом 19, з'єднаним з штурвалом 20. Регулювання режиму дріблення стрижнів досягалося в широких межах, междискового зазору при обертанні штурвала 20 і переміщення рухомого ротора. Для усунення самообертання штурвала 20 в процесі дріблення стрижнів при вібрації верстата застосовувався контрогаечний штурвал 21.

У випадку влучення в робочу зону машини міцного інеродного тіла було передбачено збільшення міждискового зазору, яке здійснювалося за рахунок додаткового стиску пружини 15 вільного переміщення рецьбового поводка 12 у втулке 14. При цьому поперечна планка II через тяги 10 забезпечує поворот обох, корпусів рухливих підшипників, що приводило до рівномірного збільшення міждискового зазору. Після пропуску стороннього предмета пружина 15 забезпечувала вазрат системи в робоче положення.

Для грубого регулювання величини міждискового зазору й паралельності установки їх осей повідкові тяги 10 були виконані розрізними й мали праве й ліве різьблення. Обертанням втулки 22 представлялося можливим забезпечувати достатню точність установки необхідного вихідного міждискового зазору. Усунення самовідгвинчування втулки 22 досягалося контрогайкою 23. Дисковий подрібнювач безперервної дії, конструктивно-кінематична схема якого приредена на мал. 5.2, призначений для одержання здріблених стрижнів крупки заданого гранулометричного складу й складається із прийомного патрубкa I із шарнірною заслінкою 2 для регулювання подачі продукту й корпуса 3, ввнутри якого в підшипникових вузлах 4 і 5 встановлен обертовий-порожній вал 6. На валу закріплений шнек, що подає, 7 і обертовий конічний зубчастий диск 8, що має можливість переміщення, поладаючи опір компенсаційної пружини 9 при влученні в робочу зону машини інерідного-твердого тіла. Для запобігання переміщення шнека й диска нагору передбачена фіксація гайкою 10. Робоча зона, утворена внутрішнім рухливим диском 8 і зовнішнім конічним зубчастим нерухливим диском II, за рахунок особистої їх конусності мала більший вхідний кільцевий зазор, чому вихідний. Величини зазорів змінювалися шляхом переміщення нерухливого диска по висоті корпусу гвинтовими механізмами 12. Регулювання зусилля стиску пружини 9 здійснювався штоком 13, що має на верхньому кінці різьблення, а на нижньому - палець 14, жорстко пов'язаний з тарілкою 15, на яку опирається пружина. При обертанні гайки 16 здійснюється стиск пружини й тим самим



збільшення зусилля, яке повинен подолати диск при переміщенні. Здрібнений продукт усувається з машини крізь патрубок 17 за допомогою крильчатки 18, жорстко закріпленої на валу 16.

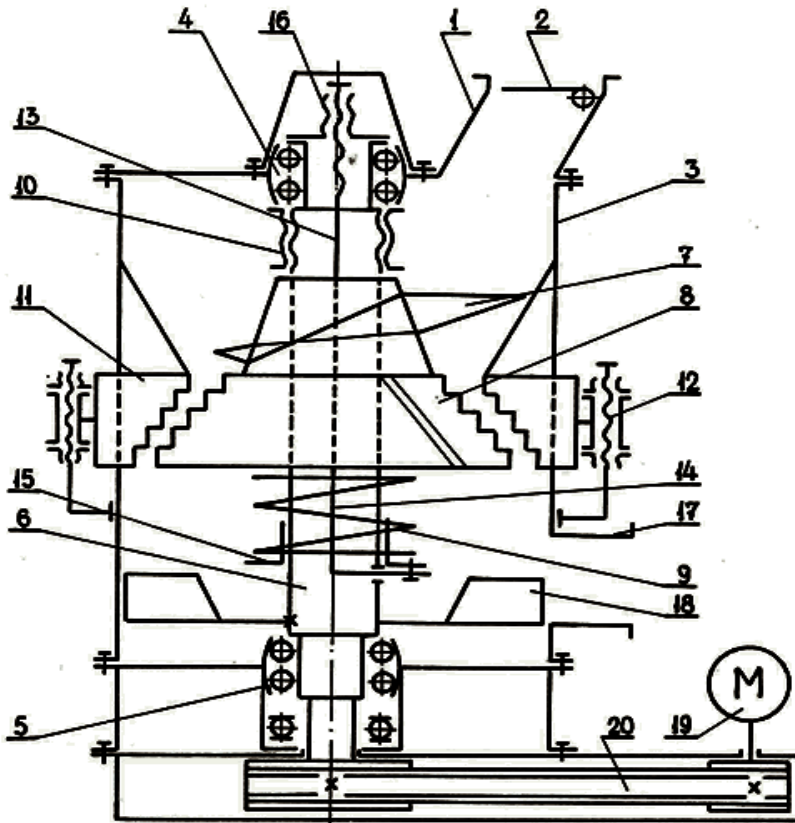


Рис 5.2 Конструктивно кінематична схема дискового подрібнювача

I - приймальний патрубок; 2 - заслінка; 3 - корпус; 4, 5 - підшипникові вузли; 6 - порожнистий вал; 7 - шнек; 8 - рухомий зубчастий диск; 9 - пружина-; 10, -16 - гайки; II - нерухомий зубчастий диск; 12 - гвинтовий механізм; 13 - шток; 14 - палець; 15 - тарілка; 17 - випускний патрубок; 18 - крильчатка; 19 - електродвигун; 20 - клінопасова передача.

Привод машини здійснювався від електродвигуна потужністю 4,5 кВт із числом обертів 1000 об/хв через клінопасову передачу 20. У конструкції подрібнювача застосовані робочі органи зі складною профільною геометрією їх поверхні, що здійснюють подрібнення продукту за рахунок сил стиску, розтягання й зрізу, що забезпечувало одержання крупки правильної форми й заданого гранулометричного складу. Поверхні дисків мають похилі

канавки трикутної форми шириною 10...14 мм і глибиною 4...6 мм, при цьому канавки ротора й статора перетинаються під певним кутом. На відміну від існуючих конструкцій, ширина, і глибина канавок обрана відповідно 12 мм і 5 мм на підставі результатів пошукових досвідів. Враховуючи, що одним з визначальних, геометричних параметрів дисків, що суттєво впливають на умови руху продукту в робочій зоні подрібнювача й ефективність процесу, є кут нахилу ріфлей на дисках, для експериментального встановлення раціонального значення виготовлено три типорозміри дисків з значенням  $\alpha$  відповідно 20, 45° і 70°. При цьому канавки виконані таким чином, що ріжучі крайки ріфлей на роторі й статорі спрямовані назустріч один одному. У розробленому подрібнювачі по концентричних окружностях дисків виконані проточні канавки однакової ширини, а висота їх обрана в співвідношенні 1:2 для того, щоб виступи на, рухливому диску заходили у западини, утворені проточками нерухливого диска, у результаті, чого при зміні робочого зазору по висоті дисків зменшується, величина прохідного перетину канавок.

Принцип дії машини полягає в розламуванні шматків продукту в робочій зоні, утвореної, поверхнями рухливого й нерухливого дисків. При цьому інтенсивність здрібнювання збільшується в міру просування матеріалу зверху вниз у зменшуваному робочому зазорі. При проведенні експериментальних досліджень зразок стрижнів масою 5 кг доводили до необхідної вологості. Із цією метою стрижні поміщували в герметично закриту ємність змішувача з подачею води через порожній вал і вбудований розпилювач.

Розрахунки необхідного зволоження кількості води произродили за формулою:

$$m_B = \alpha_{\text{п}} m_c \frac{W_K - W_H}{100 - W_K}, \quad (5.1)$$

де  $m_c$  - маса стрижнів;

$W_H$  і  $W_K$  - початкова й кінцева вологість;

$\alpha_n$  - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив відносної вологості повітря й втрати вологи при перемішуванні.

Додавання до стрижнів заздалегідь розрахованої кількості води під час працюючого змішувача забезпечує її рівномірне розподілення.

Підготовлені стрижні піддавали здрібнюванню в дисковому подрібнювачі із встановленими геометричними й кінематичними параметрами. Відбір проб для проведення вимірів і ситового аналізу здійснювали при виході машин на встановлений режим. Для оцінки ефективності процесу здрібнювання, за рекомендаціями робіт, використовували показники:

$$K' = \frac{a'_H}{a'_K}; K'' = \frac{S_K}{S_H}$$

де  $a'_H$  і  $a'_K$  - середні визначальні розміри часток до й послуг здрібнювання;  $S_H$  і  $S_K$  - сумарна поверхня часток продукту до й послуг здрібнювання.

Стосовно до стрижнів кукурудзи циліндричної форми при здрібнюванні їх у ломаче показник  $K'$  запишеться у вигляді:

$$K'_D = \frac{L_{CB}}{l_{KCB}},$$

де  $L_{CB}$  - середньозважена довжина вихідних стрижнів кукурудзи;

$l_{KCB}$  - середньозважена довжина дріблених стрижнів.

Для визначення  $K''$  уведемо показник, що характеризує кількість знову утворених часток у результаті здрібнювання

$$n = \frac{V'_H}{V'_K} = \frac{D_{CB}^2 L_{CB}}{d_{KCB}^2 l_{KCB}} \quad (5.3)$$

где  $V'_H$  і  $V'_K$  - середній обсяг вихідних і дріблених стрижнів із середовищ-незваженими діаметрами  $D_{CB}$  і  $d_{KCB}$ , тоді показник  $K''$  при дрібленні стрижнів запишеться у вигляді:

$$K''_D = \frac{nS'_{K1}}{\bar{S}_H} = \frac{D_{CB} L_{CB} (l_{KCB} + 0.5d_{KCB})}{d_{KCB} l_{KCB} (L_{CB} + 0.5D_{CB})} \quad (5.4)$$

де  $S'_{K1}$  середня площа поверхні дрібленого стрижня.

При здрібнюванні дроблених стрижнів у дисковому подрібнювачі до крупок заданого гранулометричного складу для оцінки ефективності процесу

використовували показники, отримані аналогічно  $K_d$  і  $K'_i$ , які мали вигляд:

$$K'_{H} = \frac{l_{KCB}}{d_{чCB}}; \quad K''_{H} = \frac{1.5d_{KCB}l_{KCB}}{d_{чCB}(l_{KCB} + 0.5d_{KCB})} \quad (5.5)$$

де  $d_{чCB}$  – середній діаметр крупки

### 5.3. Методика для оцінки фізико-механічних властивостей стрижнів і крупки.

При визначенні гранулометричних характеристик вихідних і дріблених у лабораторному ломаче стрижнів кукурудзи, виконували вимір їх довжин  $L$  до і діаметрів  $D$ ,  $d_k$ . У зв'язку з тим, що стрижень має форму усіченого конуса, його діаметр визначали як середньоарифметичне значення

$$d = 0.5(d_{max} + d_{min}),$$

де  $d_{max}$  і  $d_{min}$  - діаметри стрижня на його кінцях.

Випадкові величини розмів  $X_i$  ранжировали в класи. Щоб у варіаційному ряду не зникли особливості явлення, величину класу встановлювали, використовуючи :

$$C = \frac{X_{max} - X_{min}}{1 + 3.2 \lg N} \quad (5.6)$$

Дані вимірів відносили в ряд розподілу по класах крупности. Розміри часток, входячих у клас, ухвалювали рівними його позначенню, а саме їх середнім значенням  $X_i$ . Частоти класів, зразків позначимо  $n_i$ , а частковість класу  $P_i$  визначали по:

$$P_i = \frac{n_i}{N}; \quad \sum_{i=1}^n P_i = 1$$

Кількість класів розрахуємо:

$$K = \frac{X_{max} - X_{min}}{C} + 1. \quad (5.7)$$

Для оцінки гранулометричного складу здрібненого продукта зі стрижнів застосовували ситову класифікацію. Сита підбирали так, щоб їх модуль, обумовлений відношенням розміру  $a_1$  до сторони квадратного отвору попереднього сита до розміру  $a_{i+1}$  сторони наступного, був рівний  $\sqrt{2}$ . При

цьому використовували сита наступних номерів: 70, 50, 41, 25, 16, 10, 063, 04, 0315, 020,016, 01. Після просівання (залишки на ситах) зважували на лабораторних вагах.

Середній розмір часток продукту кожного класу крупності приймали рівним:

$$d'_{\text{чi}} = 0,5(a_i + a_{i+1}), \quad (5.8)$$

Середньозважений розмір часток продукту визначемо:

$$d_{\text{чсв}} = \sum_{i=1}^n \bar{d}_{\text{чi}} P_i, \quad (5.9)$$

Де  $P_i = m_i/m$ , частковість  $i$ -того класу крупності продукту масою  $m_i$  у всім просіяному зразку масою  $m$ .

Припускаючи, що обсяг сукупності в граничному випадку безкінцевий, а величина класів необмежено убиває, ряди розмірів часток досліджуваних продуктів зображували графічно у вигляді кривих розподілу випадкової величини, являючих собою деяку модель досліджуваної генеральної сукупності, побудованої за допомогою часткової сукупності, тому що при  $N = 30 \dots 40$  на практиці вибірка [ 19 ].

Після групування генеральну дисперсію прийнято замінити по класах обчислюючи статистики розподілу, що характеризують положення кривій розподілу: середнє значення розміру часток (зразків) у ряді:

$$x'_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i n_i}{N} = \sum_{i=1}^n x_i P_i \quad (5.10)$$

Медіану з чотним числом класів  $n=2m$

$$M_e = 0.5(x_m + x_{m+1}); \quad (5.11)$$

Медіану з нечотним числом класів  $n=2m-1$

$$M_e = x_m; \quad (5.12)$$

Моду  $M_0$  рівну значенню класу з більшим варіюванням

$$R = x_{\text{max}} - x_{\text{min}} \quad (5.13)$$

Дисперсію:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 P_i}{\sum_{i=1}^n P_i - 0.01}, \quad (5.14)$$

Середньо квадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 P_i}{\sum_{i=1}^n P_i - 0.01}} \quad (5.15)$$

Коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} 100\% \quad (5.16)$$

Допускаючи, що в обраних класах, постійною є частка різних розмірів, дисперсний склад аналізованих продуктів представляли у вигляді гистограмм, полігонів, кумулятивних кривих повних залишків на ситах і кумулятивних кривих середніх арифметичних розмірів (криві Анри) побудови таких кривих є графічне підсумовування площ, відповідних до відсотків виходу часток кожного класу крупності із середньозваженим розміром  $x_{св} = \sum x_i P_i / \sum P_i$ . При цьому, чому крутіше кумулятивна крива, тим однорідніше частки суміші тим рівномірніший розподіл розмірів продукту; опуклий характер кривої характеризує перевагу дрібних часток, а погнутий - великих. Відповідно до закону більших чисел знайдене середньо арифметичне значення ухвалювали за математичне очікування, а дисперсію емпіричного варіаційного ряду – за дисперсію теоретичного закону. Закон з даними параметрами є тим законом, який виражає розподіл ознаки в генеральній сукупності. У випадку нормального розподілу, якому найбільше часто підкоряються продукти здрібнювання, рівняння кривій записується у вигляді:

$$P_i = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2S^2}} \quad (5.17)$$

Для побудови нормального розподілення теоретичні частоти :

$$f(t) = \frac{\Delta C}{S} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad (5.18)$$

де  $t$ - нормальне відхилення;

$\Delta C$  - інтервал класу.

Визначивши теоретичні частоти по вираженню (3.18), побудовано графічні залежності, які порівнювали з емпіричними розподілами. Наближену оцінку

відповідності емпіричного розподілення нормального закону проводили по ступеню укоосу:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 P_i}{S^3} \quad (5.19)$$

та ступеню крутості:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 P_i}{S^4} - 3 \quad (5.20)$$

При розрахованих значеннях  $\alpha$   $E \leq 2 \dots 3$  уважали, що з достатнім ступенем наближення даний розподіл підкоряється нормальному закону. Для визначення насипної щільності  $\rho_n$  вихідних і дріблених стрижнів кукурудзи розраховували за вираженням:

$$\rho_n = \frac{G}{V} \quad (5.21)$$

При встановленні руйнуючого зусилля стиску зразка, стиск яких забезпечувався штурвально-гвинтовим пристроєм з використанням пружин з більшою твердістю у порівнянні із пружинами в дослідженнях деформацій зрізу зразків. При відомім значенні масштабного коефіцієнта Н/мм твердості пружини, зусилля зрізу розраховували вираженням:

$$\tau_{cp} = \mu l \quad (5.22)$$

де  $l$  - величина осідання пружини після досягнення зрізу зразка

Для відомої величини площі поперечного переріза  $S = bh$  частини, що зрізується, граничну напругу зрізу  $\sigma_{зр}$ , Н/м<sup>2</sup> визначимо:

$$\sigma_{cp} = \frac{\mu l}{bh} 10^{-6} \quad (5.23)$$

Для визначення руйнуючих зусиль і напруг при деформації стиску зразки підготовляли зі стрижнів розміром довжини  $l > 3d$  для усунення впливу на результати руйнування модуля Юнга й коефіцієнта Пуассона.

Для площі поперечного переріза зразка  $S_{п} = \pi d^2 / 4$  межа міцності при стиску  $\sigma_{сж}$ , Н/м розраховували за вираженням:

$$\sigma_{сж} = 1.27 \cdot 10^{-6} \frac{\mu l}{d^2} \quad (5.24)$$

Фрикційні властивості продуктів дріблення й здрібнювання стрижней кукурудзи, характеризуемі кутами природнього укоосу, зовнішнього тертя ,

коефіцієнтами внутрішнього і зовнішнього тертя, необхідно враховувати у розрахунках кормопереробних машин при визначенні транспортуючої здатності й витрат енергії на процес, встановлення величин опорів і зусиль для переміщення й обробки продукту, вибору кутів нахилу стінок і днищ ємнісних і транспортуючих пристроїв, виборі конструкційних матеріалів.



## **Розділ 6. Устаткування для визначення фізико-механічних показників сировини.**

### **6.1. Визначення кутів похилу сировини**

Для визначення кута природнього укосу методом обвалення використовується ємність з оргскла (рис.6.1), розділений на два відсіку засувкою 2, переміщуваної у направляючих 3. Досліджуваний матеріал 4 засипається у першій відсік і потім піднімають задвижку, при цьому продукт пересипався в другий відсік і розташовувався під кутом природнього укосу  $\alpha$ , величину якого вимірюють транспортером 5, встановленим на фронтальній стінці ємності.

Кут зовнішнього тертя, який є визначальним при виборі куту нахилу самопливних труб для транспортовки продуктів, встановлюють на приладі (рис. 6.2 ), з набором скатних площин I, що опираються на палець 2, жорстко зв'язаний із черв'ячним колесом черв'ячної пари 3, приводимої в обертання рукояткою 4 і закріпленою на площині транспортером 5 з підвісом 6. Матеріал на площині розташовують під кутом  $\varphi=0$ , рівномірним тонким шаром. Обертанням рукоятки змінюють кут нахилу до початку руху продукту й по відхиленню оцінки транспортера  $90^\circ$  від вертикального підвісу визначали кут  $\varphi_1$ , який продовжують збільшувати до моменту повного сходу матеріалу із площини при куті  $\varphi_2$  . Шуканий кут визначають як середньоарифметичне значення кутів  $\varphi_2$  та  $\varphi_1$ .

Для визначення коефіцієнта зовнішнього тертя  $\mu$  та внутрішнього тертя використовують прилад , конструкційна й принципова схема якого показані на рис. 6.3.

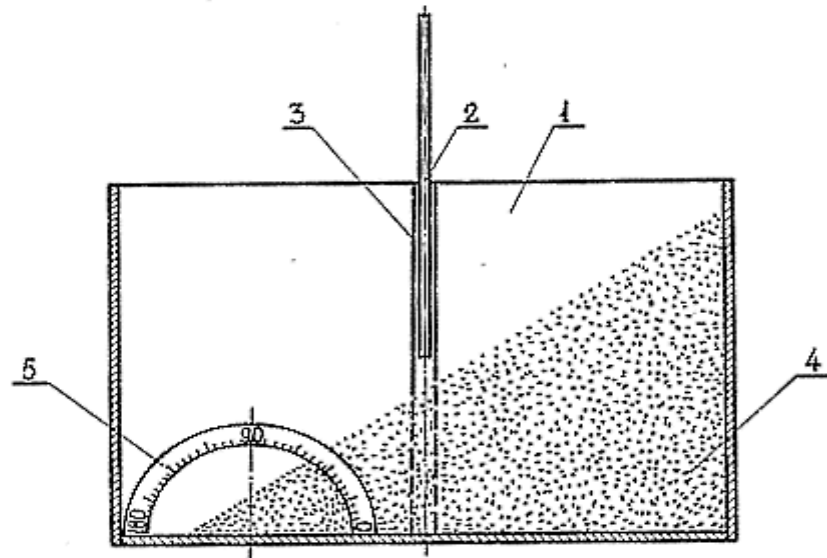


Рис.6.1 Схема установки визначення кута природнього укусу:  
1-емність; 2- засувка; 3-спрямовуюча; 4- сировина; 5- транспортер.

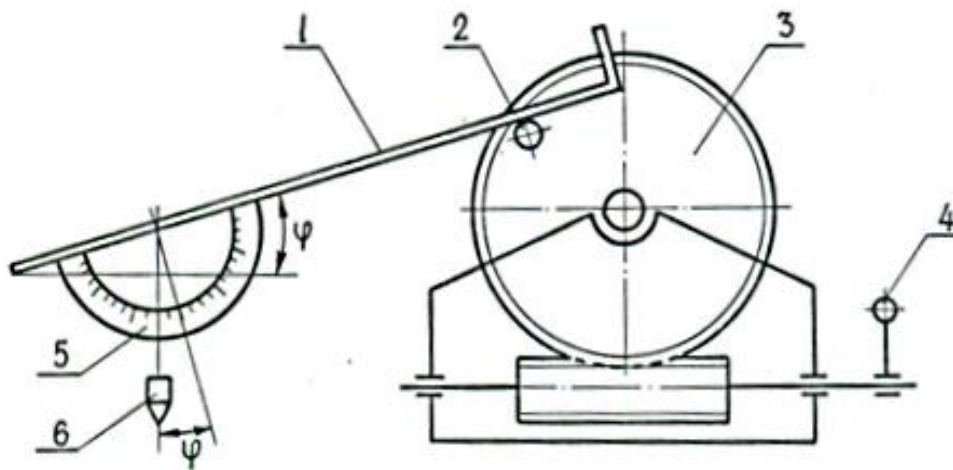


Рис. 6.2 Схема приладу для визначення кута зовнішнього тертя: 1-похила площина; 2- палець; 3- черв'ячна пара; 4- продукт; 5- транспортер.

Досліджуваний матеріал поміщають насипом у корпус I, утворюючи таким чином одну з тертьових поверхонь. Другу поверхню представляла, нижня частина пересувного візка 2, на яку кріпилася листова сталь 3 ( при визначенні  $\mu$  ) або наклеюються кілька шарів аналізованого матеріалу ( при визначенні  $f$  ). Привод візка здійснюється від електродвигуна

потужністю 60 Вт і  $n = 280$  об/хв через черв'ячний редуктор 5 і ланцюгову передачу 6. На одному валу з ведучою зірочкою розташовується барабан 7, на який намотується приводний трос 8, зв'язаний з тензобалочкой 9, закріпленої верхнім кінцем на корпусі візка. Виміру производять при постійних значеннях швидкості перемещення візка, площі тертьових порерхностей  $S_{тр} = 0,01 \text{ м}^2$  і нормальному нагруженні візка (тиск  $p_m = P_m / S_{тр}$ ) а коефіцієнти тертя визначають по загальноприйнятій залежності Кулона

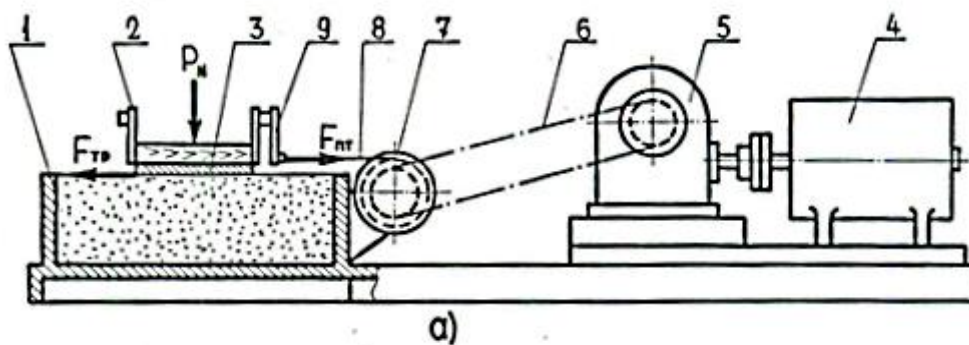
$$f, \mu = \frac{F_{тр}}{F_{пт}} \quad (6.1)$$

де  $F_{тр}$  - сила тертя, рівна зусиллю натягу приводного троса

$F_{пт}$ , вимірюваному за допомогою тензометричного перетворювача по тарованому мілівольтметру 10.

Тарировка приладу відбувається шляхом навантаження важелями (рис. 6.4).

З фізичної точки зору крупка зі стрижнів кукурудзи, як сипучий матеріал, - це дисперсна двофазна система, що складається із трердого тіла й газу, яка існує при певному співвідношенні фаз. Структурні параметри трердої фази при відносно невеликих тисках можна повністю описати трьома параметрами: щільністю  $\rho$ , модулем Юнга  $E$  и коефіцієнтом Пуассона  $\mu$ .



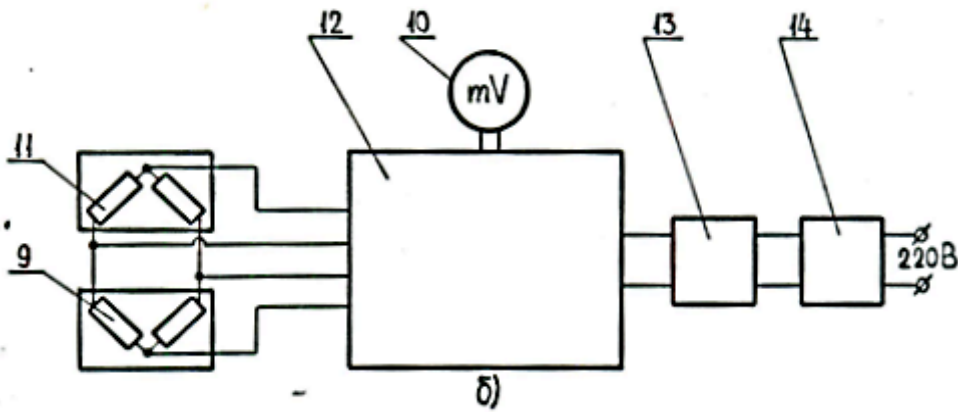


Рис. 6.3 Конструктивна (а) та принципова електрична (б) схеми приладу для визначення коефіцієнту зовнішнього та внутрішнього тертя: 1- корпус; 2- вызок; 3-пластина; 4-електородвигун; 5- редуктор; 6- передача; 7- барабан; 8- трос; 9- тензобалка; 10- мультівольтметр; 11- компенсуюча балка; 12- тензопідсилювач; 13- випрямляч; 14- стабілізатор.

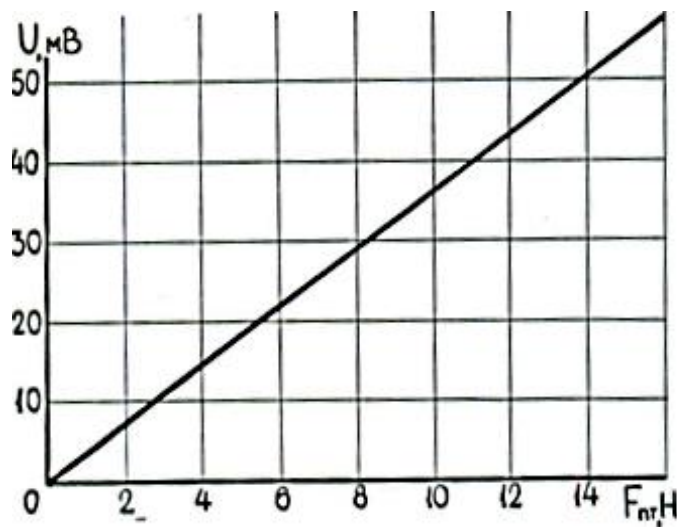


Рис. 6.4 Графік для визначення зусилля натягіння  $F_{тр}$  приводного тросу

Для дослідження механічних характеристик сипучих матеріалів рекомендуються прилади трьовісного стиску, у яких поперечна деформація зразка матеріалу циліндричної форми здійснюється під дією гідростатичного тиску, а поздовжня - під дією, що переміщаються пуансоном преса. Істотним недоліком таких приладів є те, що тертя в парі, що сполучається, навантажувального штока і втулки приводить до погрішності результатів

вимірів, яка збільшується з зменшенням тиску на досліджуваний матеріал.

У зв'язку із цим для дослідження структурно-механічних характеристик крупки зі стрижнів кукурудзи використовується прилад (рис. 6.5). Прилад (рис. 6.5) складається з корпусу I, перфорованого циліндра 3, еластичної оболонки 4,- прилягаючої до внутрішньої поверхні циліндра, сітчастої торцевої стінки 5, пружної мембрани 6, кільця 7, затиснутого між циліндром 3 і кришкою корпусу 8. Гідростатична камера 2, утворена внутрішньою поверхнею корпусу I і зовнішньою поверхнею циліндра 3, з'єднана триходовим краном 9 з напірною трубкою 10, що створює гідростатичний тиск, регіструємий U -образним манометром II, який приєднаний до вакуум-насоса. Порожнина 12 усередині кільця 7 з'єднано з вимірювальною капілярною трубкою 14. Для усунення течії в іспитову камеру приладу і її поділу з порожниною 12 по торцях циліндра 3 і кільця 7 встановлені прокладки 13.

При підготовці приладу до роботи камеру 2 заповнювали водою.

Тому що при цьому еластична оболонка трохи деформується, для додання їй циліндричної форми частково откачують рідину з камери вакуум-насосом через U -образний манометр при відкритому трьохходовому крані.

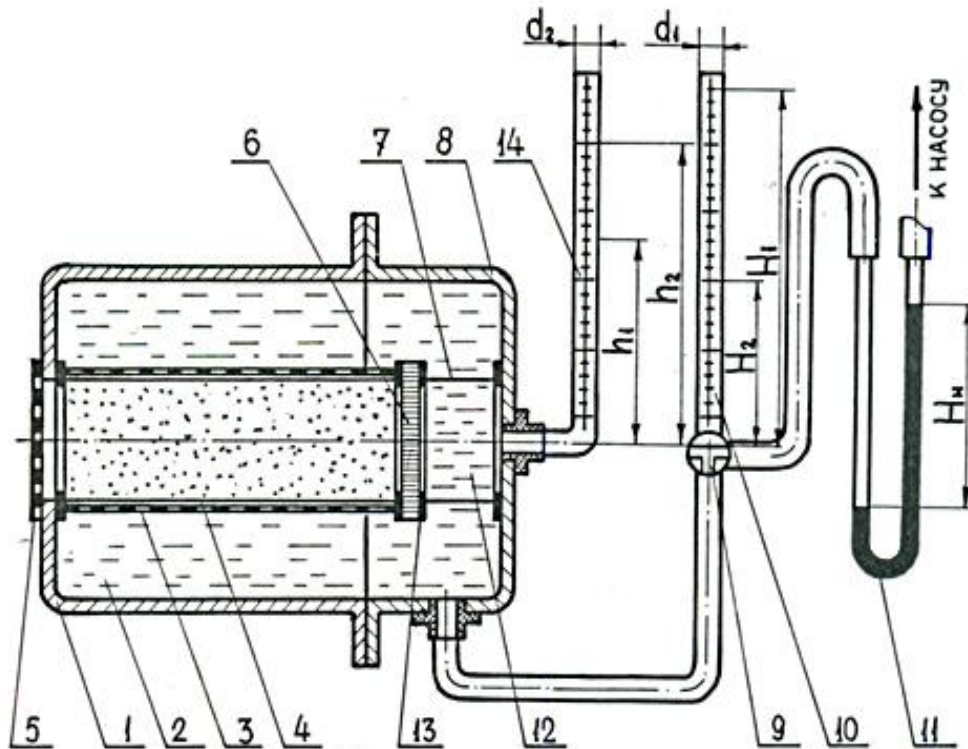


Рис. 6.5 Схема приладу для визначення деформативних характеристик сипких матеріалів.

Після придбання оболонкою циліндричної форми, коли вона облягала внутрішню поверхню перфорованого циліндра, фіксують показання  $H$  манометра, попередньо встановивши кран 9 у положення, при якому камера 2 не зв'язана із трубкою 10. Потім забирають сітчасту стінку 5, навантажують за допомогою вагів мембрану й проводять її тарировку, визначаючи положення рівня рідини в трубці 14 від тиску і її переміщення, вимірюваному індикатором годинного типу. При проведенні досліджень внутрішню порожнину перфорованого циліндра із прилягаючою оболонкою заповнюють матеріалом, встановлюють стінку 5, заливають в трубку 10 воду до досягнення рівня  $H_1$  і заміряють початковий рівень води в трубці 14. Потім краном 9 з'єднують трубку 10 з камерою 2, при цьому еластична оболонка разом з матеріалом, що перебуває в ній, деформується під дією гідростатичного тиску стовпа рідини в трубці 10. Тиск  $P$ , що діє на

досліджуваний сипучий продукт, складається з початкового тиску  $P_n$ , обмірюваного манометром, і тиску  $P_i$  стовпа рідини висотою  $H_i$ .

У результаті об'ємної деформації сипучого матеріалу виникає падіння висоти стовпа рідини в трубці 10 до рівня  $H_i$ , який фіксували через час і одночасно фіксували рівень рідини  $h_2$  у трубці 14. По зміні висот  $h_2-h_1$  і  $H_i-H_2$  роблять висновок про величину об'ємної деформації.

## 6.2. Визначення змін часток внаслідок деформацій

Зменшення обсягу зразка в процесі деформації в  $i$ -ом опиті визначали по вираженню:

$$\Delta V_{1i} = \frac{\pi d_1^2}{4} (H_{1i} - H_{2i}), \quad (6.2)$$

де  $d_1$  – внутрішній діаметр трубки 10

Додання обсягу сипкого матеріалу внаслідок бічної деформації буде:

$$\Delta V_{2i} = \frac{\pi d_2^2}{4} (h_{2i} - h_{1i}), \quad (6.3)$$

де  $d_2$  – внутрішній діаметр трубки 14.

Загальна зміна обсягу сипучого матеріалу в результаті деформації можна визначити:

$$\Delta V_i = \Delta V_{1i} - \Delta V_{2i} = \frac{\pi}{4} (d_1^2 \Delta H_i - d_2^2 \Delta h_i) \quad (6.4)$$

Внаслідок осесиметричного навантаження, деформації по осях  $X$  і  $Y$  будуть однаковими при напрямку осі  $Z$ , що збігається з віссю циліндра, тобто:

$$\varepsilon_{x_i} = \varepsilon_{y_i} = 1 - \frac{D_i}{D_0}, \quad (6.5)$$

де

$D_0$  - початковий діаметр досліджуваного зразка матеріалу;

$D_i$  - діаметр досліджуваного зразка через час  $\Delta t$ .

Величину  $D_i$  можна визначити як:

$$D_i = \sqrt{\frac{4}{\pi l_i} (V_0 - \Delta V_i)}, \quad (6.6)$$

де

$l_i$  - висота зразка матеріалу після деформації.

Деформація по осі  $Z$  становитиме:

$$\varepsilon_{zi} = 1 - \frac{l_0}{l_i} \quad (6.7)$$

де

$l_0$ - початкова висота зразка сипучого матеріалу.

За відомим значенням напруг по осях X і Y, у сипучому матеріалі від тиску  $P_{2i}$  стовпа рідини висотою  $H_{2i}$  й початкового тиску  $P_H$ , а також напруг по осі Z, знайденим по тариророчному графіку в залежності від висоти стовпа рідини у трубці 14, визначається ли коефіцієнт бічного тиску  $\xi$ .

$$\xi_i = \frac{\sigma_{zi}}{\sigma_{xi}} = \frac{\sigma_{zi}}{\sigma_{yi}}, \quad (6.8)$$

де  $\sigma_{zi}$  – нормальна напруга вздовж подовжньої осі;

$\sigma_{xi} = \sigma_{yi} = P_{2i} + P_H$  – нормальна напруга вздовж осів X иа Y

Визначивши  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \sigma_x, \sigma_y$ , можна визначити коефіцієнт Пуасона:

$$\mu_i = \frac{\varepsilon_{xi}\sigma_{zi} - \varepsilon_{zi}\sigma_{xi}}{(2\varepsilon_{xi} + \varepsilon_{yi})\sigma_{xi} - \sigma_{zi}\varepsilon_{zi}} \quad (6.9)$$

Тоді модуль пружності буде:

$$E_i = \frac{(1-2\mu_i)(\sigma_{xi} + \sigma_{yi} + \sigma_{zi})V_0}{\Delta V_i}, \quad (6.10)$$

де  $V_0$  - початковий обсяг досліджуваного сипучого матеріалу.

Виконав  $m$  порторювань дослідів, розраховують середні значення досліджуваних параметрів.

### 6.3. Характеристика аеродинамічних властивостей

Швидкість витання часток є важливою характеристикою при розрахунках пнермотранспорта, який може бути застосований у технологічному процесі виробництва кормів з використанням крупки зі стрижнів кукурудзи. Для визначення швидкості вільного або природнього витання часток крупки зі стрижнів кукурудзи наважку досліджуваного матеріалу (вільне витання) або навішення часток (стиснуте витання) розташовують на сітку зйомної склянки та засувкою регулюють швидкість повітряного потоку доти, поки частки матеріала не виявляється у взваженому стані, якому відповідає шукана швидкість  $V_s$  обумовлена статичним тиском, обмірюваному мікроманометром у колекторі. Для полідисперсного матеріалу, тобто суміші



різних за розміром часток крупки, швидкість витання визначали продувкою наважки матеріалу повітряним потоком за певний інтервал часу. Із цією метою виділену із середнього зразка наважку поміщають в склянку установки й здійснювали продувку при певних швидкостях повітря, з вимірюванням через рівні інтервали, протягом  $I$  хв, після чого залишок крупки в склянці зважували на вагах. За різницею мас продукту в збірнику й залишку в склянці розраховували відсоток віднесення крупки певних розмірів при відповідних швидкостях повітря. Подібні цикли зі збільшенням швидкості продувки повторюють до повного віднесення крупки в збірник.

Враховуючи, що пневмо розрахунки базуються на середньому визначальному розмірі часток, обчисленому за результатам аналізу гранулометричного складу суміші, визначають середньозважений розмір за вираженням:

$$d_{\text{чсв}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i d'_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{m_1 \bar{d}_1 + m_2 \bar{d}_2 + \dots + m_n \bar{d}_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} \quad (6.11)$$

де  $d'_i$  - середнє арифметичне значення розмірів прохідного й непрохідного отворів суміжних сит;

$m_i$  - маса залишку продукту на відповіднім ситі.

Для горизонтальних матеріалопроводів, швидкість витання може бути обчисленою:

$$V_S^{\Gamma} = 1.45 V_S^{\text{B}} \quad (6.12)$$

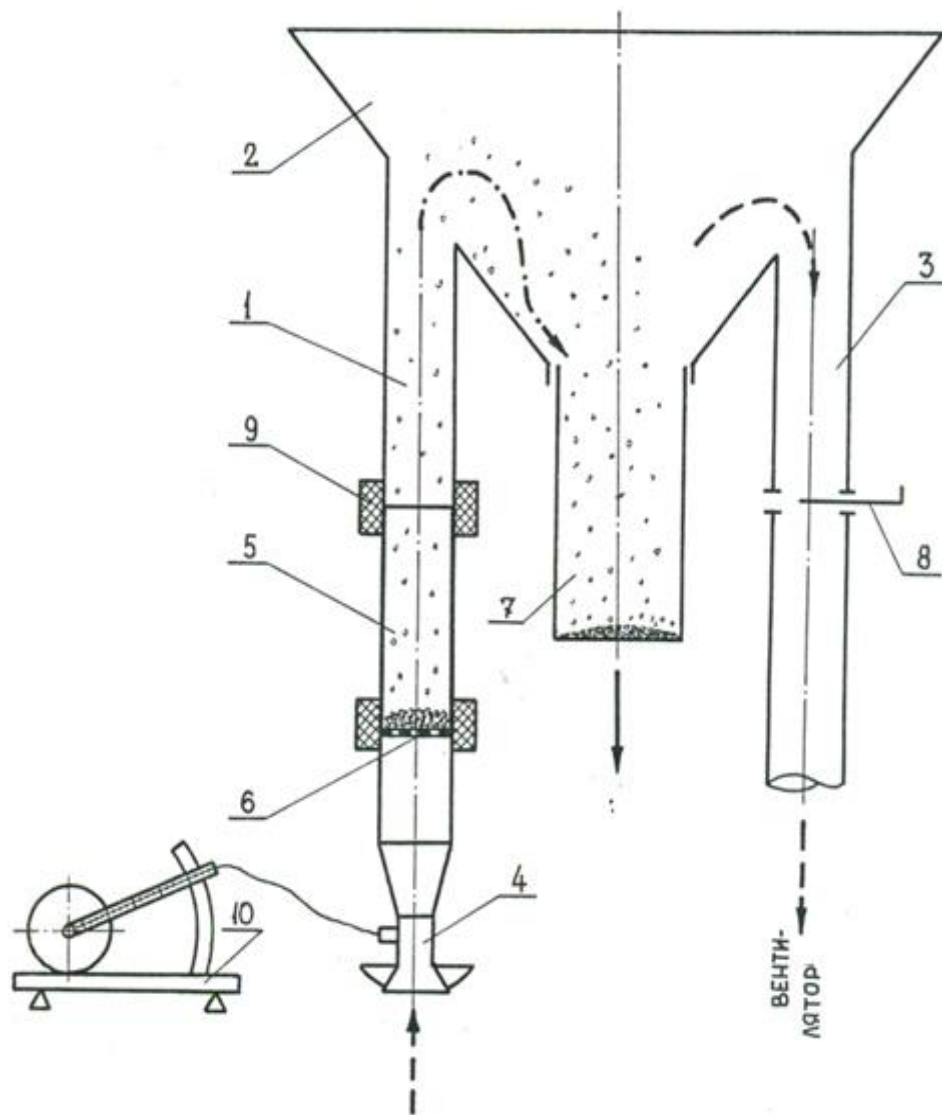


Рис. 6.6 Схема установки для визначення швидкості руху часток:

- 1- матеріалопровід; 2- осаджувальна камера; 3- повітряпровод; 4- колектор;  
 5-склянка; 6-сітка; 7- збірник; 8- засувка; 9- манжета; 10- мікроманометр.

## **Розділ 7. Визначення параметрів раціональної експлуатації подрібнювача.**

### **7.1. Основні кількісно-якісні характеристики вихідної сировини.**

Найважливішими показниками, що визначають живильну цінність усіх кормів, є їх хімічний склад, біологічна цінність і засвоюваність речовин, що втримуються в них, тобто процес перетворення кормів у продукти тваринництва. Виконаними експериментальними дослідженнями хімічного складу стрижнів кукурудзи вологістю 8-0,5 % встановлено (табл. 7.1), що по змісту білка й жиру вони наближаються до традиційних видів грубих кормів. Разом з тим, вони як і всі відходи сільськогосподарського виробництва, характеризуються високим змістом золи й клітковини.

Таблиця 7.1

Хімічний склад стрижнів кукурудзи, % на суху речовину

Показник	Зміст
Сирий протеїн	4,2
білок	3,5
жир	0,9
клітковина	35,3
Безотисті екстрактивні речовини	53,7
зола	2,4
кальцій	0,104
фосфор	0,047
кремній	0,018
залізо	0,002

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що стрижні кукурудзи містять значну кількість полісахаридів - до 69,6 %. По змісту загальних полісахаридів вони перевершують іншу рослинну сировину або рівноцінні.

Стрижні кукурудзи ставляться до пентозазмістовому типу сировини, зміст яких перевищує 34%. Моносахардний склад гідролізатів легкогідролізуємих полісахаридів представлений галактозою, глюкозою, ксилозою і арабінозою; гідролізатів важкогідролізуємих полісахаридів - глюкозою й ксилозою. Таким чином, підтверджується доцільність використання стрижнів кукурудзи, що містять значну кількість цукрів для при виготовлення кормів. Аналіз отриманих даних показує, що по основному показнику поживності корму - кормовій одиниці стрижні кукурудзи, що містять 38,4 корм.ед. на 100 кг перевершують багато видів традиційних грубих і соковитих кормів: траву бобово-разнотравно злакову у 1,6, конюшину червону у 1,9, люцерну у 1,8, солону вівсяну 1,2, пшеничну ярову 1,8; сінаж клеверний і люцерний у 1,1, силос кукурудзяний у 1,9, соняшник у 2,1, картоплю у 1,3, моркву у 2,7, а також корми тваринного походження: молоко й обрат. Разом з тим, по даному показникові стрижні кукурудзи трохи уступають сіну, трав'яному борошну й значно концентрованим кормам. Отримані дані за хімічним складом й живильної цінності досліджуваної сировини дозволяють рекомендувати використовувати стрижні кукурудзи у процесі кормовиробництва при дотриманні вимог за гранулометричним складом продуктів їх здрібнювання.

У зв'язку з тим, що метою роботи є дослідження процесу здрібнювання стрижнів кукурудзи для одержання крупки потрібного гранулометричного складу необхідним є аналіз вихідних стрижнів. Результати експериментальних досліджень гранулометричного складу стрижнів, що характеризуються довжиною  $L$  і середнім діаметром  $D$  (рис.7.1; 7.2). Встановлено, що довжина стрижнів перебувала в межах  $136,9 \pm 48$  мм при середньквдратическом відхиленні  $S_L = 20,98$  мм, а діаметр змінювався від 18,34 до 27,94 мм при  $S_D = 2,39$  мм.

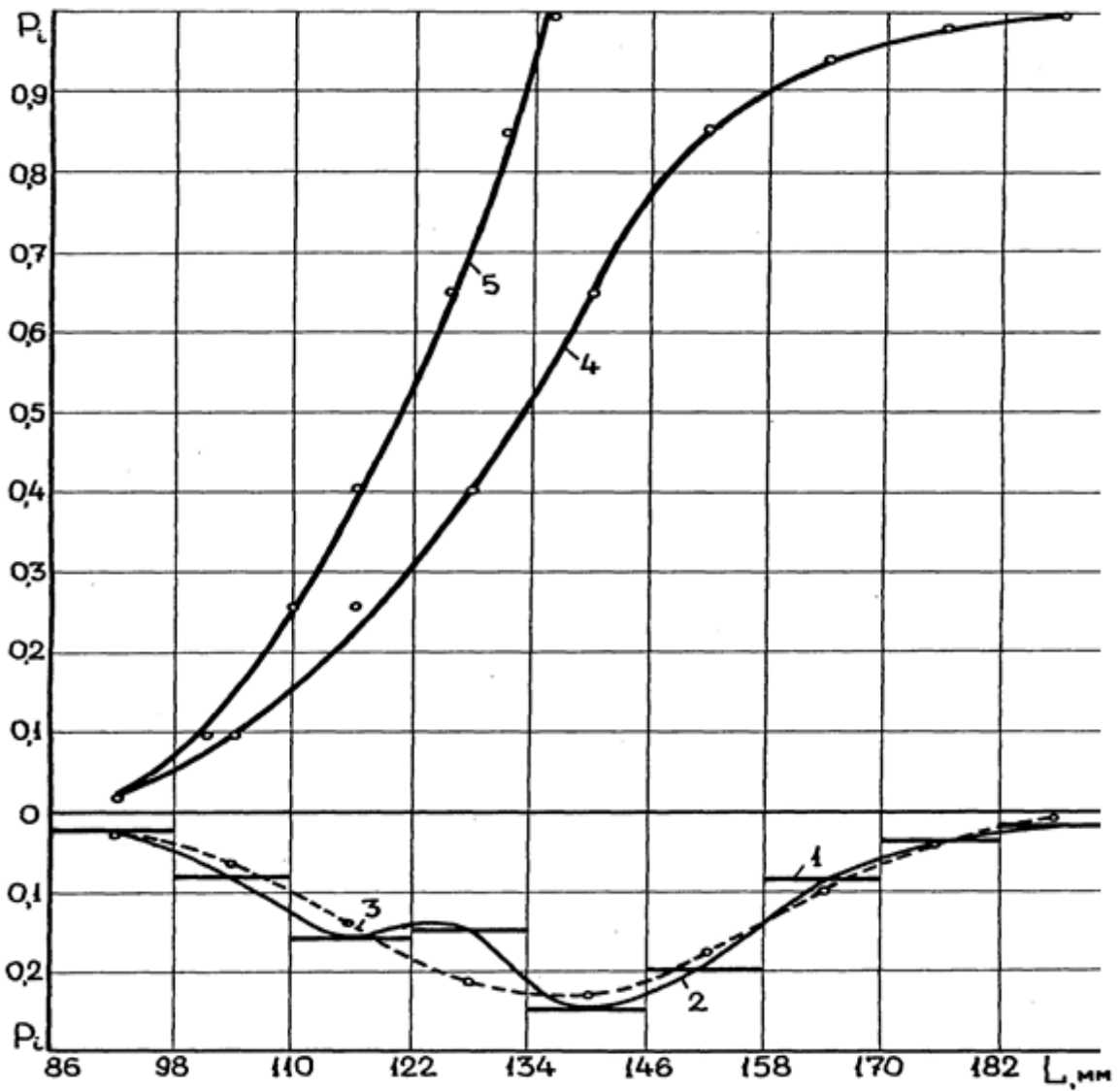


Рис. 7.1 Дисперсна характеристика довжини  $L$  вихідних стрижнів кукурудзи: 1 та 2 гістограма та полігон емпіричного розподілення; 3- нормальне розподілення; 4- та 5 – кумулятивні криві абсолютних та середньозважених довжин

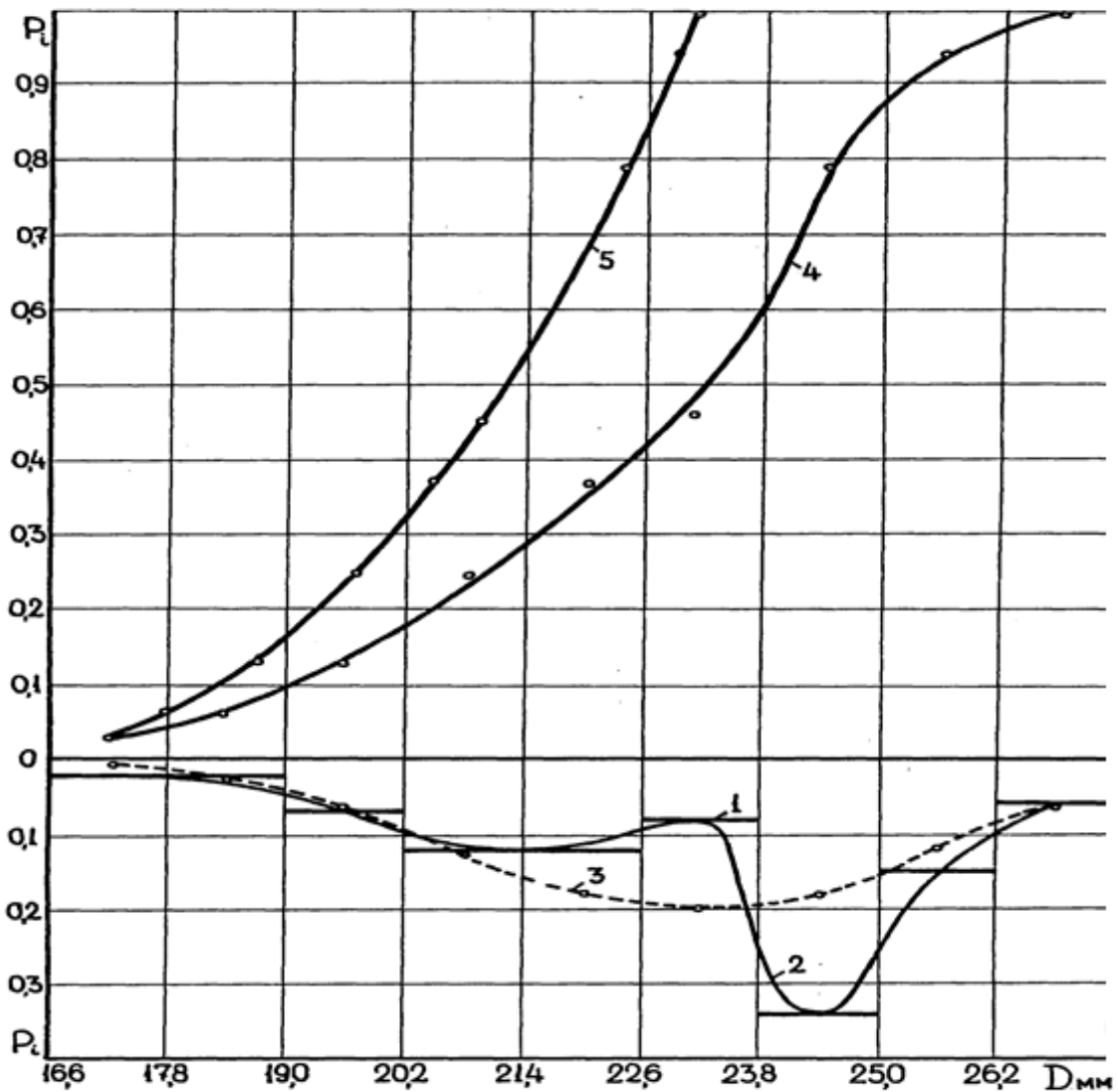


Рис. 7.2 Дисперсна характеристика діаметра  $D$  вихідних стрижнів кукурудзи: 1 та 2 гістограма та полігон емпіричного розподілення; 3- нормальне розподілення; 4- та 5 – кумулятивні криві абсолютних та середньозважених довжин

При цьому близько 50 % стрижнів було довжиною менш 128 мм і діаметром менше 23,8 мм. Аналіз гістограмм і поліномів емпіричних і розрахункових теоретичних розподілів дозволяє зробити висновок, що розподілення розмірів стрижнів  $L$  і  $D$  підкоряються нормальному закону, про що свідчать малі значення ступеня косости ( $\alpha_L = 0,15$ ;  $\alpha_d = 0,62$ ) і ступені крутості ( $E_L = 0,45$ ;  $E_D = - 0,43$ ) кривих розподілу. Разом з тим, більш рівномірний розподіл

стрижнів є по діаметру, тому що кумулятивні криві мають більшу крутість, а значення коефіцієнтів варіації складають  $V_D = 10,3 \%$  і  $V_L = 15,4 \%$ .

Насипна щільність стрижнів при їхній вологості  $W = 14 \%$  визначена в межах  $\rho_n = 190 \text{ кг/м}^3$ , а їх об'ємна щільність  $\rho = 480 \text{ кг/м}^3$ . При даному співвідношенні  $\rho$  та  $\rho_n$ , коефіцієнт щільності укладання  $K_{nc}$  стрижнів при вільнім засипанні рівний 0,4, що характеризує їх пухку укладку.

Таким чином, результати виконаного аналізу гранулометричного складу стрижнів кукурудзи свідчать про доцільність різниці пропонованої двоступінчастої схеми процесу подрібнення, при якій перший етап, спрямовано на попереднє дріблення стрижнів, забезпечить поліпшення умов захвата й транспортовки продукту при підвищенні продуктивності прийнятої конструкції дискового подрібнювача, що реалізує другий етап :

процесу. Одними з основних, фізико-механічних характеристик кормів, які повинні зазнати здрібнювання, є їх міцнісні властивості, що визначають вибір принципу дії подрібнювача подрібнюючого обладнання, конструкцію його робочих органів, потужність електродвигуна і т.д. При прийнятому конструктивному розв'язку робочих органів подрібнювача сировина, що подрібнюється підпадає в робочій зоні дії тих видів деформацій, по яких він має найменшу міцність, що забезпечить процес з мінімальними енерговитратами. Враховуючи отримані дані, з використанням наведеного раніше приладу були виконані дослідження за визначенням міцнісних показників стрижнів кукурудзи різної вологості при деформаціях зрізу й стиску. Встановлено (рис. 7.3, 7.4), що з підвищенням вологості стрижнів гранична напруга зрізу  $\sigma_{cp}$  і межа міцності при стиску  $\sigma_{сж}$  знижуються. При зростанні  $W$  від 8 до 14 %,  $\sigma_{cp}$  знижується з 248 до 232  $\text{кН/м}^2$ , а при  $W = 14 \dots 20\%$  з 232 до 177  $\text{кН/м}^2$ , що становить відповідно 22,5 і 77,5% від загальної зміни  $b_{cp}$ . Величина  $b_{cp}$  знижується з 2,94 до 2,03  $\text{МН/м}^2$  у досліджуваному діапазоні вологості і його зміна близька до лінійної залежності. Порівняльний аналіз величин  $\sigma_{cp}$  і  $\sigma_{сж}$  показує, що  $\sigma_{cp}$  значно менше  $\sigma_{сж}$  і при  $W = 14 \%$  це співвідношення складає 1:10. Емпіричні

вираження, характеризуючі надані залежності при середньоквадратичному відхиленні розрахункових і експериментальних значень відповідно 1,5 % і 0,9 %, мають вигляд:

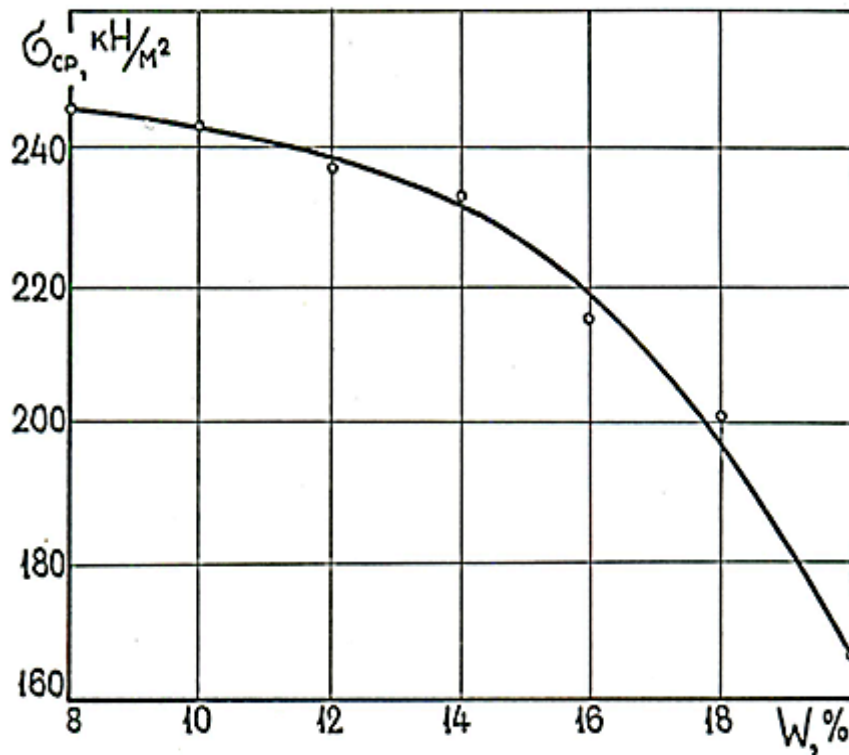


Рис 7.3 Зниження граничної напруги зрізу стрижнів кукурудзи від їх вологості



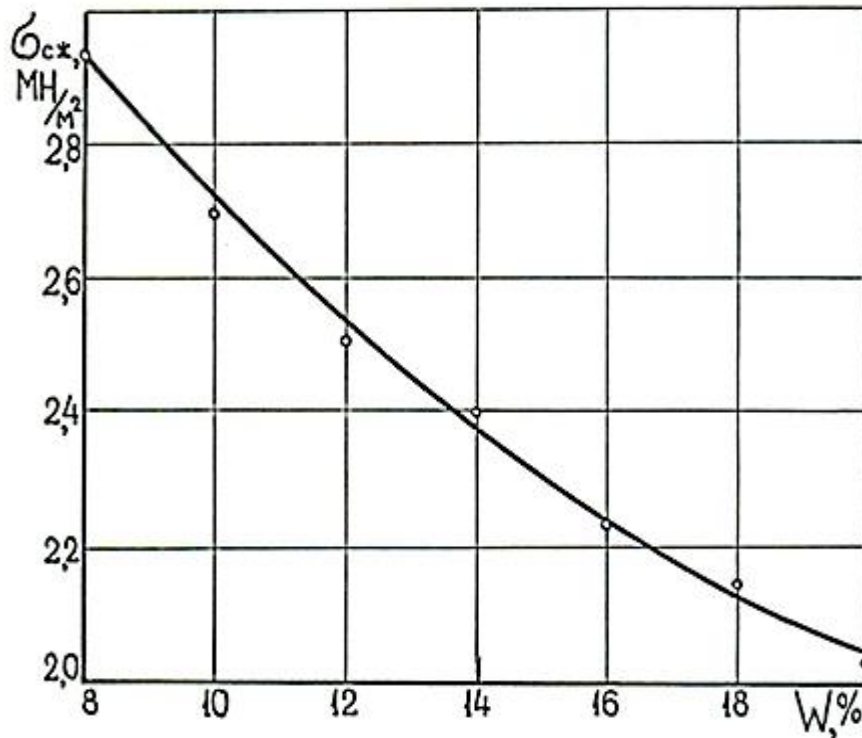


Рис 7.4 Залежність руйнівної напруги стиску стрижнів кукурудзи від їх вологості

$$\sigma_{\text{ср}} = -0,673W^2 + 12,73W + 185; \quad (7.1)$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 2,92 \cdot 10^{-3}W^2 - 0,154W + 3,96 \quad (7.2)$$

Отриманні дані свідчать, що для подрібнення стрижнів переважно необхідна деформація зрізу при його всебічному стискуванні.

## 7.2 Вибір раціональної конструкції подрібнювача

При вибраній конструкції й геометричних параметрів робочих зубчастих дисків ломача, реалізуючого першу ступень здрібнювання, у якому на основі отриманих даних по міцнісним властивостям стрижнів, обробка продукту виконується за рахунок деформацій стиску й зрізу основними параметрами, які визначають ефективність процесу здрібнювання, є величини радіального зазору  $\delta$ , мм між дисками і їх кінематичний режим. Враховуючи, що диски мають різну частоту обертання, у якості контрольного входного параметру ухвалювали кутову швидкість повільно обертаючого диска  $\omega_M^{c-1}$ .

При частоті обертання приводного двигуна машини  $n_{об} = 960$  об/хв, з передатним відношенням  $i_{об} = 4$ , передаточним відношенням зубчастої пари  $i_{зп}$

$=2$  радіусах великого (швидкого) і малого (повільного) дисків відповідно  $R_6 = 0,105$  м і  $R_M = 0,070$  м первинний кінематичний режим характеризувався наступними значеннями:  $n_{об} = 480$  про/хв,  $\omega_6 = 50$  с<sup>-1</sup>;  $n_M = 240$  об/хв,  $\omega_M = 25$  с<sup>-1</sup>. Варіювання швидкості повільного диска в межах  $10 \dots 50$  с<sup>-1</sup> із кроком  $10$  с<sup>-1</sup> шляхом заміни змінних шківів. Радіальний зазор між дисками в діапазоні  $5 \dots 25$  мм із кроком варіювання  $5$  мм.

При проведенні досліджень по визначенню раціональних значень параметрів  $\delta$  і  $\omega_M$  у якості вихідних факторів прийнято середній визначальний розмір дріблених стрижнів - їх довжина  $l_k$ , мм і витрата енергії  $N_{др}$  на процес дріблення, кВт за винятком потужності холостого ходу. Величину  $l_k$  визначали по 25 зразках, вологість стрижнів становила 14 %. Для визначення довірчих інтервалів оцінки досліджуваних параметрів при рівні значності  $q = 0,05$  була реалізована серія з 10 досвідів при  $\delta = 15$  мм і  $\omega_M = 30$  с<sup>-1</sup>. Попередня перевірка отриманих варіаційних рядів показала, що в них відсутні грубі помилки. Аналіз отриманих залежностей (рис. 7.5, 7.6) дозволив встановити, що зі збільшенням величини зазору  $\delta$  відбувається збільшення  $l_k$  і зменшення  $N_{др}$  незалежно від швидкості обертання повільного диска. При зростанні  $\delta$  від 5 до 15 мм довжина дріблених стрижнів збільшувалася незначно, а при  $\delta = 15 \dots 25$  мм спостерігалася інтенсивне зростання  $l_k$ . Для  $\omega_M = 50$  с<sup>-1</sup> при вказаних межах зміни  $\delta$  величина  $l_k$  перебувала в межах відповідно  $22 \dots 33$  мм і  $33 \dots 72$  мм, що у відсотковому вираженні становило 22 і 78 % від загальної зміни  $l_k$ . Для  $\omega_M = 30$  с<sup>-1</sup> дані величини були відповідно  $32 \dots 43$  мм,  $43 \dots 81$  мм і 22,4 %, 77,6 %.

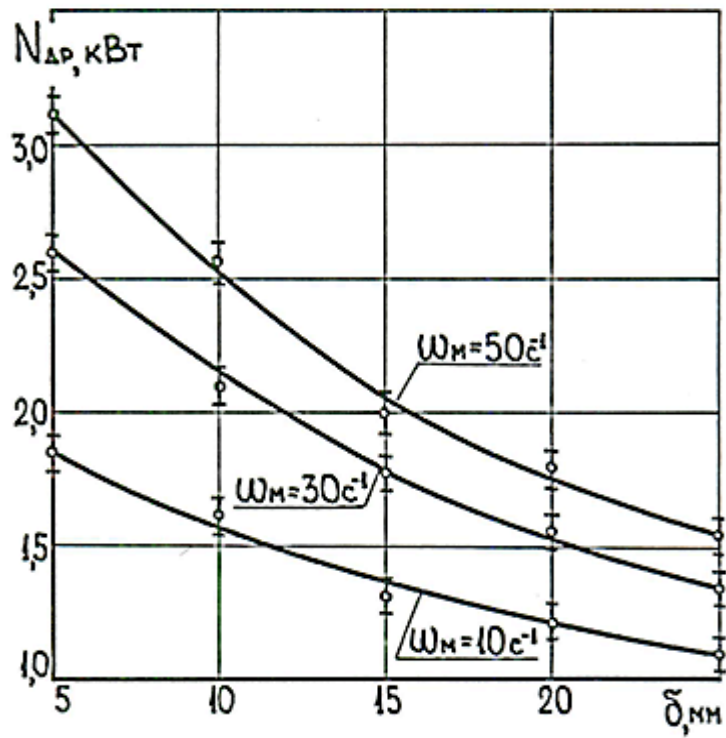


Рис.7.5 Залежність середньої довжини дріблених стрижнів від радіального зазору між дисками.

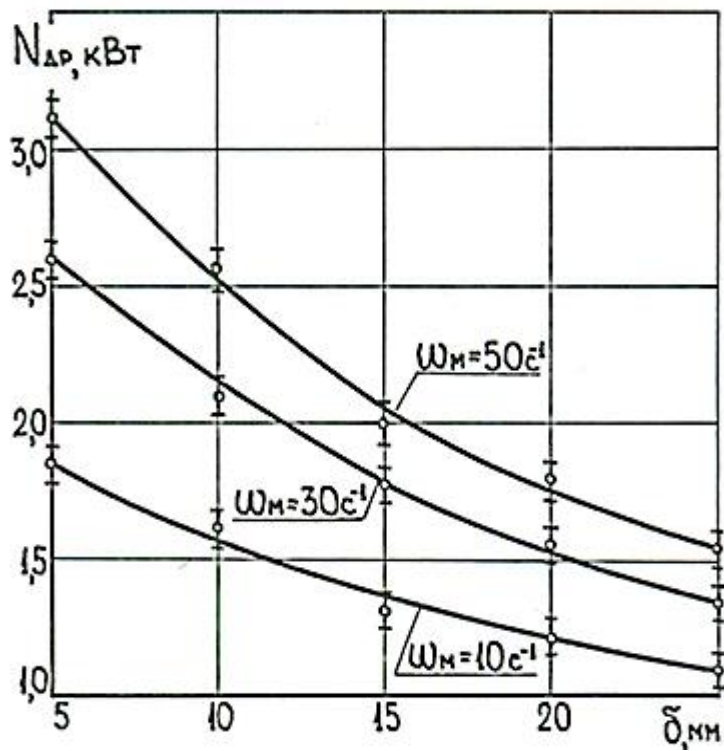


Рис.7.6 Залежність витрат енергії на подрібнення стрижнів від радіального зазору між дисками

Такий характер зміни  $l_k$  пояснюється тим, що при більших зазорах в межах 20...25 мм, порівнянних з діаметром стрижнів кукурудзи, вони практично вільно проходять між дисками, піддаючись лише незначному дрібнюванню, у зв'язку із чим їх довжина досягає 70...80 мм. Витрата енергії на процес дріблення досягає максимального значення при мінімальному зазорі й зі збільшенням  $\delta$  від 5 до 25 мм знижується з 3,2 до 1,5 кВт для  $\omega_m = 50 \text{ c}^{-1}$ , з 2,6 до 1,3 кВт для  $\omega_m = 30 \text{ c}^{-1}$  і з 1,8 до 1,1 кВт для  $\omega_m = 10 \text{ c}^{-1}$ .

Менший вплив у порівнянні з  $\delta$ , на досліджувані параметри здійснює куткова швидкість повільного диска (рис. 4.7, 4.8), при збільшенні якої спостерігалось зниження  $l_k$  й збільшення  $N_{др}$ .

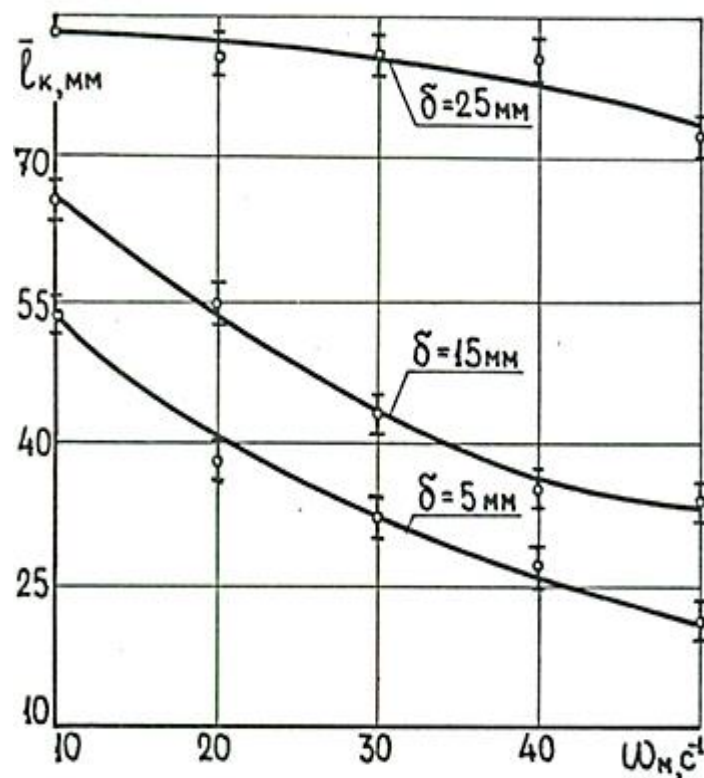


Рис 7.7 Залежність середньої довжини стрижнів від кутової швидкості повільного диску

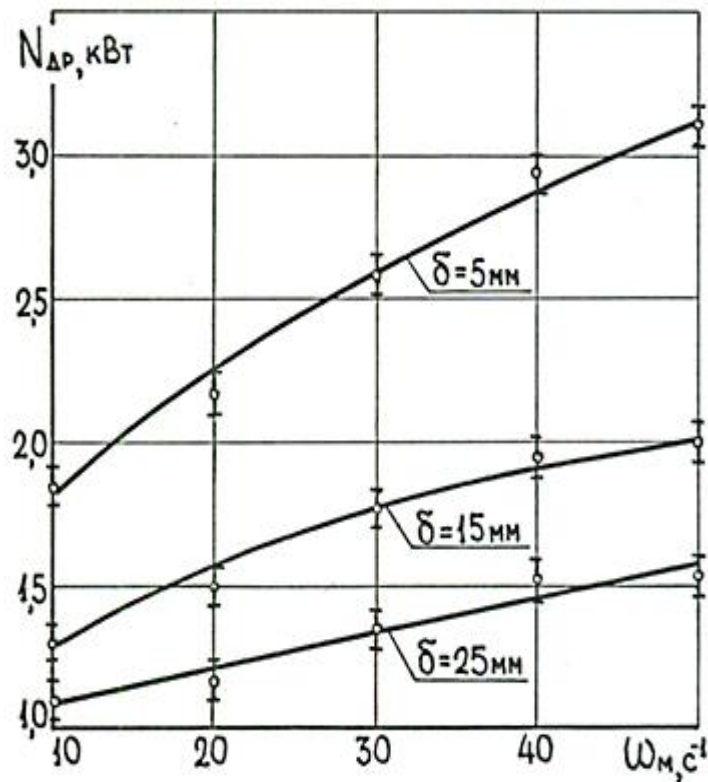


Рис.7.8 Залежність витрат енергії на дріблення стрижнів від кутової швидкості повільного диску

При  $\delta=25$  мм довжина дріблених стрижнів була максимальною й практично не залежала від  $\omega_m$ . В діапазоні зміни  $\omega_m$  від 30 до 50 с<sup>-1</sup>,  $l_k$  зменшувалася незначно з 44 до 36 мм при  $\delta =15$  мм і з 32 до 22 мм при  $\delta =5$  мм. Аналогічний характер зміни, але зі зворотною залежністю, спостерігався й для витрати енергії. Виконаний аналіз дозволив рекомендувати раціональні значення параметрів  $\delta =10...13$  мм і  $\omega_m =50$ с<sup>-1</sup>, при яких досягається необхідна довжина дріблених стрижнів  $l_k$  й незначні енерговитратні на процес в межах 2,2...2,5 кВт при продуктивності 1 т/ч. При вибраном режимі було проредено контрольне здрібнювання стрижнів кукурудзи у зубчастій дробарці. Результати досліджень гранулометричного складу дріблених стрижнів, що характеризуються довжиною  $l_k$  й середнім діаметром  $d_k$ , а також розрахункові статистичні характеристики наведені на рис.7.9,7.10.

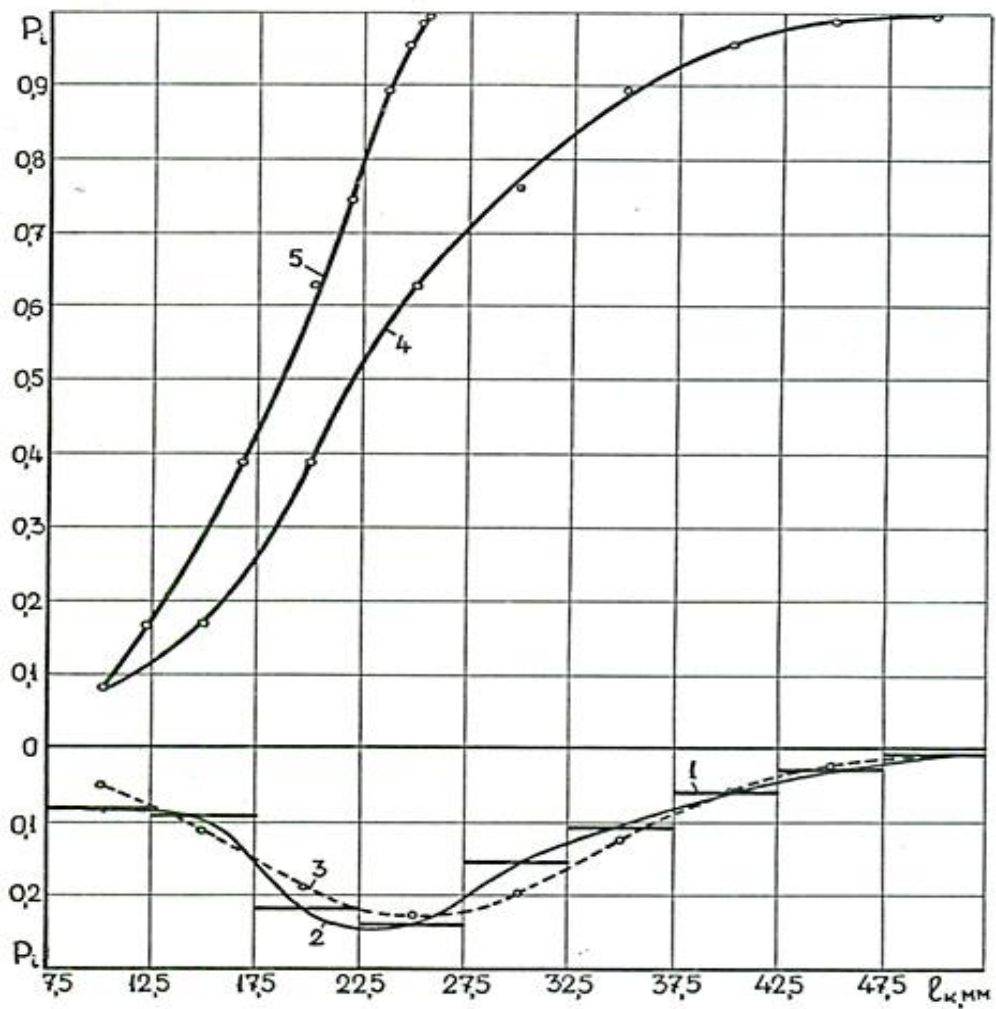


Рис. 7.9 Дисперсна характеристика діаметра  $l_{kk}$  подрібнених стрижнів:

1 та 2 –гістограма та полігон емпіричного розподілення; 3- нормальне розподілення; 4 та 5 – кумулятивні криві абсолютних та середньозважених довжин

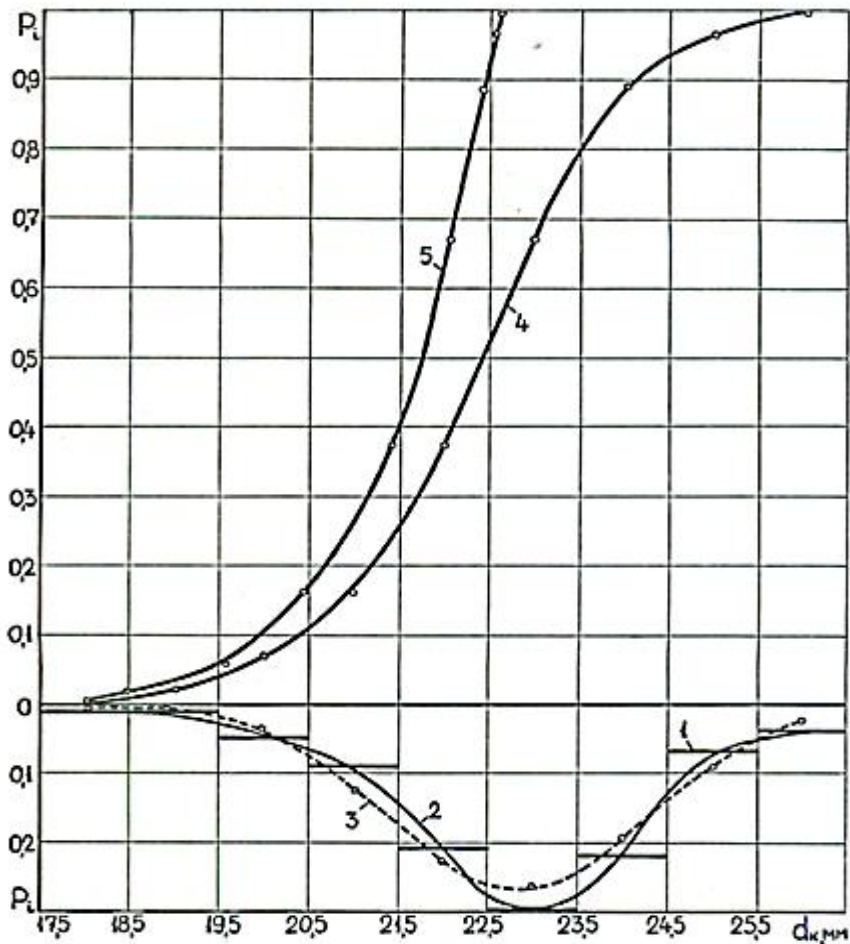


Рис. 7.10 Дісперсна характеристика діаметра  $d_k$  подрібнених стрижнів:

1 та 2 –гістограма та полігон емпіричного розподілення; 3- нормальне розподілення; 4 та 5 – кумулятивні криві абсолютних та середньозважених довжин

Встановлено, що довжина дріблених стрижнів перебувала у межі  $25,45 \pm 20$  мм при середньоквадратичному відхиленні  $S_{l_k} = 8,94$  мм, а діаметр змінювався від 18,85 до 26,85 при  $S_{d_k} = 1,51$  мм. При цьому 50 % стрижнів було довжиною менш 20 мм і діаметром менш 22,5 мм. Аналіз гістограмм і полігонів емпіричних і розрахункових теоретичних розподілів дозволив зробити висновок, що розподілення розмірів дріблених стрижнів  $l_k$  і  $d_k$  підкоряються нормальному закону, про що свідчать малі значення ступеня косости (відповідно  $\alpha_{l_k} = 0,34$ ;  $\alpha_{d_k} = - 0,37$ ) і ступені крутости (відповідно  $E_{l_k}$

= - 0,40;  $E_{dk} = 0,38$ ) кривих розподілу. Визначено, що більш рівномірний розподіл дріблених стрижнів спостерігається по діаметру, тому що кумулятивні криві в цьому випадку мають більшу крутість, а значення коефіцієнтів варіації становлять відповідно  $V_{dk} = 6,6 \%$  і  $V_{lk} = 35,1 \%$ . У порівнянні з вихідними стрижнями кукурудзи, вирівненість дріблених стрижнів по діаметру краще, тому що,  $V_{dk} > V_D$  а по довжині гірше, тому що  $V_{lk} < V_L$ . За результатами аналізу гранулометричного складу вихідних і дріблених стрижнів були розраховані по вираженнях показники ефективності процесу здрібнювання, значення яких склали  $K'_d = 5,4$  і  $K_d'' = 1,2$ . Встановлено також, що при вологості  $W = 14 \%$  дріблені стрижні мають насипну щільність  $\rho_n^{Dc} = 310 \text{ кг/м}^3$ , а коефіцієнт щільності укладання при вільній засипці становить 0,65, що у 1,63 рази більше, чим для вихідних стрижнів. Таким чином, експериментальні дослідження з визначення раціональних значень параметрів процесу дріблення стрижнів кукурудзи й наступне їх контрольне здрібнювання показали, що використання розробленої конструкції дозволяє досягти необхідного гранулометричного складу стрижнів на першому етапі здрібнювання при незначних енерговитратах, що забезпечить поліпшення умов і підвищення продуктивності дискового подрібнювача, що реалізує другий етап процесу.

Крім зазначених позитивних сторін використання попереднього предрарительного дріблення стрижнів кукурудзяних качанів для наступного їх здрібнювання до крупки заданого гранулометричного складу в дисковом подрібнювачі, доцільність даної технологічної операції обумовлена також можливістю застосування дріблених стрижнів для одержання брикетованих кормів з оптимальним значенням параметрів при виробництві брикетів на промисловому пресі є: вологість стрижнів 10...12 %, тиск пресування 80 Мпа й середній розмір дріблених стрижнів у межах 18...23 мм, який і досягається при незначних енерговитратах у запропонованій конструкції дробарки.



## Розділ 8. Обґрунтування процесу здрібнювання.

### 8.1 Оцінка ефективності подрібнення.

З метою визначення раціональних конструктивних, технологічних і кінематичних параметрів дискового подрібнювача при обробці в ньому стрижнів кукурудзи були проредені з вхуванням використання машини у складі технологічної лінії виготовлення грубих кормів, також передбачалася можливість використання дробарки даної конструкції у виробництвах для виготовлення кормів при їх невеликій потужності з досягненням необхідного гранулометрич складу стрижнів крупки й раціональних енерговитратах на процес. Аналіз параметричної-схеми (див. рис 2.1) і отримані рекомендації дозволили вибрати в якості змінюваних параметрів вологість  $W$ , % стрижнів кукурудзи із кроком варіювання  $t_m=6\%$ , величину випускного радіального зазору  $\delta_b$ , мм між зовнішньою поверхнею рухливого й внутрішньою поверхнею нерухливого дисків  $t_\delta=4$  мм, кут нахилу  $\alpha$ , гради рифлей  $t_\alpha=25^\circ$  і число обертів  $n$ , ою/хв обертового диска з  $t_n=250$  об/хв.

Ефективність процесу здрібнювання дріблених стрижнів кукурудзи оцінювали по показниках середньозваженого діаметра часток  $d_{чсв}$ , мм; витрати енергії на процес здрібнювання  $N_{из}$ , кВт і пропускної здатності  $Q$ , кг/г машини. Встановлення закону розподілу вихідних функцій здійснюємо за показником  $d_{чсв}$ . У контрольних дослідженнях при середніх значеннях вхідних параметрів здійснено здрібнювання п'яти підготовлених зразків, з яких при роботі машини в сталому режимі, відбирали через рівні проміжки часу п'ять проб продуктів здрібнювання для ситової класифікації й послідуячого аналізу. У результаті аналізу отриманих даних визначено, що зміна  $d_{чсв}$  підкоряється нормальному закону, тому що отримане, що розрахункове значення критерію згоди  $X_p^2=2,06$  менше його табличного значення  $X_T^2(0,95; 1)=3,80$  [ 25 ] .

При  $\sigma_{min}^2=0,052$  мм і  $\sigma_{max}^2=0,168$  мм, прийнятій довірчій помилці  $\epsilon(d_{чсв})=0,075 \cdot 2,59=0,19$  мм і значенні параметра  $t(0,95)=1,96$ , розраховане по вираженню (3.40) число повторних досвідів склало  $1 < m < 3$  (ухвалюємо  $m$

=3). Для математичного опису результатів експериментальних досліджень була реалізована серія досвідів із чотирма незалежними вхідними факторами, варіюємими на трьох рівнях. Матриця планування, межі зміни вхідних параметрів і результати експерименту представлено в табл.8.1.

Таблиця 8.1

Матриця планування та результати досліджень процесу подрібнення стрижнів кукурудзи у дисковому подрібнювачі

фактори		W, %	$\alpha$ , °	$\delta$ , м	n, об/ хв	Середньо Зважений діаметр				Пропускна здатність Q,кг/г				Витрати енергії, кВт			
рівні	1 0 1	20	70	82	1000	$d_{\text{чсв}}, \text{мм}$											
i	N	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y'	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y'	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y'
1	1	1	0	0	0	5,7	5,5	5,3	5,5	1080	1081	1064	1075	2,3	2,1	2,0	2,1
	2	-1	0	0	0	3,9	4,4	3,7	4,0	1042	1050	1037	1043	1,6	1,9	1,9	1,8
2	3	0	1	0	0	3,5	3,4	3,9	3,6	1059	1048	1056	1054	2,2	1,9	2,0	2,0
	4	0	-1	0	0	4,2	3,8	4,6	4,2	1004	1013	1001	1006	1,6	1,8	2,0	1,8
3	5	0	0	1	0	5,4	5,2	5,0	5,2	1286	1278	1286	1281	1,1	1,5	1,4	1,3
	6	0	0	-1	0	0,6	1,0	0,9	0,8	995	1003	996	998	2,7	2,5	2,9	2,7
4	7	0	0	0	1	2,7	2,6	2,3	2,5	1192	1180	1181	1184	2,3	2,2	2,3	2,3
	8	0	0	0	-1	4,0	3,5	3,4	3,6	1051	1040	1044	1045	1,5	1,6	1,1	1,4
	9	0	0	0	0	2,5	3,0	2,9	2,8	1110	1115	1104	1110	2,2	2,0	2,3	2,2

Обробка даних дозволила одержати наступні емпіричні вираження по кожному з аналізованих показників:

$$d_{\text{чсв}} = 5,42 \cdot 10^{-2} W^2 - 1,392W + 1,76 \cdot 10^{-3} \alpha^2 - 0,17\alpha + 1,25 \cdot 10^{-2} \delta_B^2 +$$

$$0,445\delta_B + 4 \cdot 10^{-6}n^2 - 8,2 \cdot 10^{-3}n + 17,55; \quad (8.1)$$

$$Q = -1,417W^2 + 42,333W - 0,128\alpha^2 + 12,48\alpha + 1,844\delta_B^2 + 19,888\delta_B + 7,2 \cdot 10^{-5}n^2 + 0,17n + 208,63; \quad (8.2)$$

$$N_{из} = -6,94 \cdot 10^{-3}W^2 + 0,219W - 4,8 \cdot 10^{-4}\alpha^2 + 4,72 \cdot 10^{-2}\alpha - 1,25 \cdot 10^{-2}\delta_B^2 - 7 \cdot 10^{-2}\delta_B - 5,6 \cdot 10^{-6}n^2 + 1,02 \cdot 10^{-2}n - 4,65 \quad (8.3)$$

Перевірка адекватності отриманих математичних моделей по F -критерію показала, що вони адекватно описують експериментальні дані в діапазоні зміни вхідних параметрів (табл.8.2)

Таблиця 8.2

Визначення розрахункових значень F-критерія

Характеристики	Показники		
	$d_{чсв}$	Q	$N_{из}$
Дисперсія неадекватності $\sigma_{ад}^2$	0,95	62,4	0,110
Дисперсія відтворювання $\sigma_y^2$	$7,8 \cdot 10^{-6}$	38,9	$3,8 \cdot 10^{-2}$
F-критерій	2,5	1,6	2,9

$$\sigma_{Ад}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N |\hat{y}_j - y_j|^2}{N-n-1}; \quad (8.4)$$

$$\sigma^2(\bar{y}) = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^m (y_{j,k} - \bar{y}_j)^2}{N(m-1)}; \quad (8.5)$$

$$F_p = \frac{\sigma_{\Delta D}^2}{\sigma^2(\bar{y})}; \quad (8.6)$$

Для прийнятого інтервалу варіювання нормованих змінних були складені емпіричні вираження для визначення розподілу часткового впливу-вихідних факторів на аналізовані показники, які мають вигляд:

$$d_{\text{чсв}} = 1,95W^2 + 0,75W + 1,1\alpha^2 - 0,3\alpha + 0,2\delta_b^2 + 2,2\delta_b + 0,25n^2 - 0,55n + 2,8 \quad (8.7)$$

$$Q = -51W^2 + 16W - 80\alpha^2 + 24\alpha + 29,5\delta_b^2 + 141,5\delta_b + 4,5n^2 + 69,5n + 1110; \quad (8.8)$$

$$N_{\text{из}} = -0,25W^2 + 0,15W - 0,3\alpha^2 + 0,1\alpha - 0,2\delta_b^2 - 0,7\delta_b - 0,35n^2 + 0,45n + 2,2 \quad (8.9)$$

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок, що найбільші значення на вихідні параметри виявляє величина вихідного зазору  $\delta_b$  а потім у порядку зменшення значимості: на показник  $d_{\text{чсв}}$  - вологість продукту  $W$ , кут нахилу рифлей обертального диска  $\alpha$  і число його обертів  $n$ ; на  $Q$  -  $n$ ,  $\alpha$ ,  $W$  та  $n$  на  $N_{\text{из}}$  -  $n$ ,  $W$ ,  $\alpha$ . На основі отриманих даних та проведених розрахунків побудовані графічні залежності (рис. 8.1, 8.2) зміни показників  $d_{\text{чсв}}$ ,  $Q$ ,  $N_{\text{из}}$  від вхідних факторів при їхніх фіксованих середніх значеннях, що становлять  $W = 14\%$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $\delta_b = 4,2$  мм,  $n = 750$  об/хв. Загальний аналіз залежностей показав, що при збільшенні випускного зазору  $\delta$  відбувається монотонне зростання пропускної здатності  $Q$ , збільшення розміру здрібнених часток  $d_{\text{чсв}}$  й зниження витрати енергії на процес. З ростом числа обертів рухливого диска зростало при незначительном зниженні  $d_{\text{чсв}}$ . Білбш складна залежність аналізуємих показників спостерігалася від параметрів вологості  $W$  і кута нахилу рифлей  $\alpha$  диска, раціональні значення яких перебували в інтервалі  $W = 12 \dots 16\%$ ,  $\alpha = 30 \dots 50^\circ$  для  $Q$  і  $d_{\text{чсв}}$ .

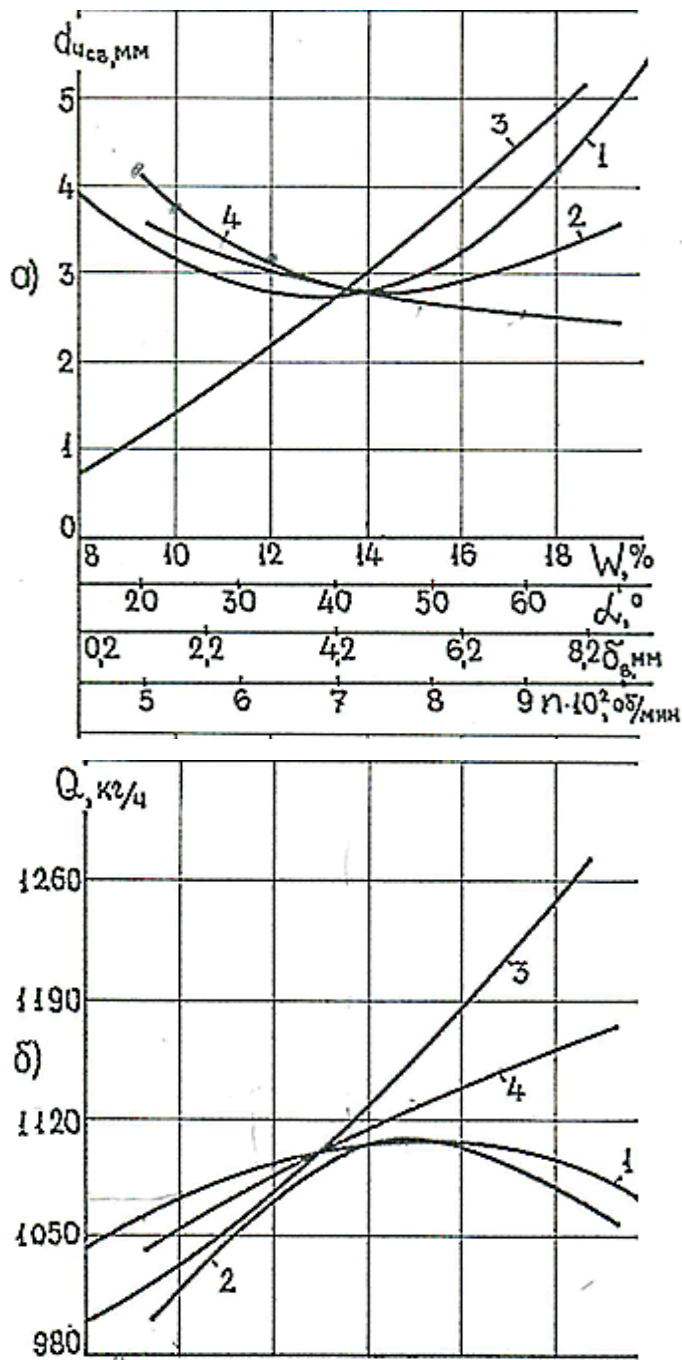


Рис. 8.1 Залежність середньозважуваного діаметру часток  $d_{св}$  та пропускної здатності  $Q$ , від параметрів  $\alpha$ ,  $W$ ,  $n$ ,  $\delta_b$ .

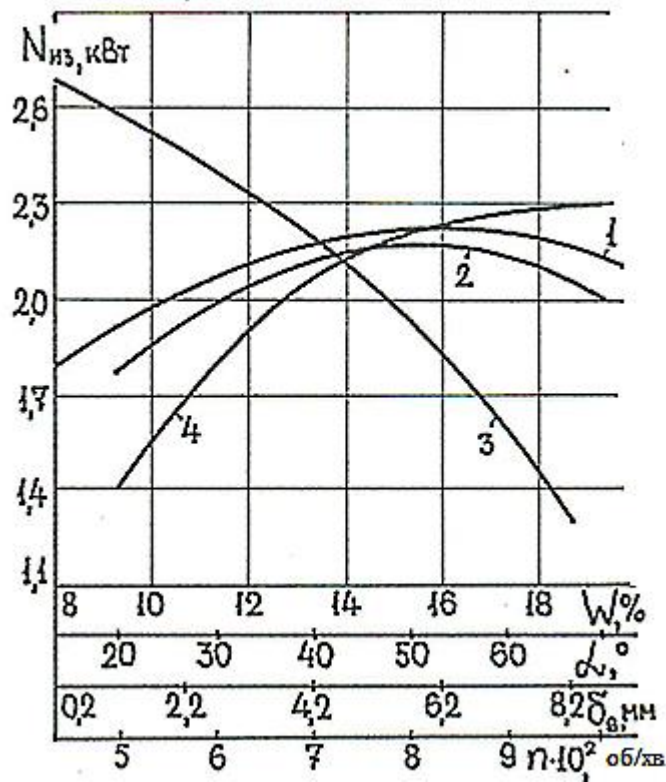


Рис. 8.2 Залежність витрат енергії на процес подрібнення стрижнів у подрібнювачі від параметрів  $\alpha$ ,  $W$ ,  $n$ ,  $\delta_b$ .

Аналіз виражень ( 8.1... 8.3) у частинних похідних дозволив встановити екстремальні значення керуючих параметрів по кожному з показників (табл. 8.3 ), що дозволило рекомендувати раціональний режим процесу здрібнювання стрижнів кукурудзи з урахуванням досягнення необхідної ефективності при економії витрати енергії при :  $W = 14 \%$ ;  $\alpha = 45^\circ$ ;  $\delta_b = 2 \text{ мм}$ ;  $n = 750 \text{ об/хв}$ . Отримане значення  $W = 14 \%$ , відповідне до рівноважної вологості стрижня кукурудзи при відносній вологості повітря  $80 \%$ , забезпечує найкращі умови здрібнювання, що пояснюється специфічними гігроскопічними властивостями стрижнів. Вибір  $\delta_b$  у межах  $2 \text{ мм}$  і  $n = 750 \text{ об/хв}$  ( $\omega = 78,5 \text{ с}^{-1}$ ) обумовлено тим, що при даних значеннях досягається достатня ступень здрібнювання стрижнів при раціональній витраті енергії. Підстановкою рекомендованих значень вхідних параметрів у вираження (8.1. . . 8.3) були отримані значення вихідних функцій, які склали  $d_{сч} = 1,7 \text{ мм}$ ,

$$Q = 1040 \text{ кг/г}, N_{\text{из}} = 2,6 \text{ кВт}$$

Таблиця 8.3

Показники	Значення параметрів			
	W, %	$\alpha, 45^\circ$	$\delta_B, \text{ мм}$	n, об/хв
$d_{\text{чсв}}$	13	48	0,2	1000
Q	15	49	8,2	1000
$N_{\text{из}}$	16	49	8,2	500

При обраному режимі було проведено контрольне здрібнювання дріблених стрижнів у дисковому подрібнювачі. Результати гранулометричного складу крупки зі стрижнів кукурудзи, що характеризуються діаметром  $d_{\text{ч}}$ , а також розрахункові статистичні характеристики наведені на рис. 8.3 і в табл. 8.4

Встановлено, що середньозважений діаметр крупок склав 2,84 мм при  $R_{\text{дч}} = 2,98$  мм і  $S_{\text{дч}} = 1,73$  мм. Отримані дані збігаються з розрахунковими, отриманими по вираженню (8.4), що підтверджує адекватність розроблених математичних моделей в реальному процесі. Визначено, що 50 % крупок мають розмір менш 2,5 мм, а 99 % менш 5 мм, що цілком задовольняє пропонованим вимогам. Аналіз гистограм і полігонів емпіричних і розрахункових теоретичних розподілів дозволив укласти, що розподіл діаметра, часток крупок підкоряється нормальному закону, про що свідчать малі значення ступеня косости  $\alpha_{\text{дч}} = 0,54$  і ступені крутості  $E_{\text{дч}} = -1,22$  кривій розподілу. Судячи із крутості кумулятивних кривих і значенню коефіцієнта варіації  $V_{\text{дч}} = 60,8$  %, розміри крупок розподілені менш рівномірно, ніж у вихідних і дроблених стрижнів. Використовуючи отримані дані, були розраховані значення показників ефективності здрібнювання дріблених стрижнів до крупок даного гранулометричного складу, які склали  $K'_{\text{и}} = 9,0$  і  $K''_{\text{и}} = 8,3$ . Стосовно розмірів вихідних стрижнів значення коефіцієнтів були  $K' = 48,2$  і  $K'' = 52,3$ . Встановлено також, що при вологості  $W = 14$  % крупка зі стрижнів має насипну щільність у межах  $380 \text{ кг/м}^3$  при коефіцієнті щільності укладання 0,8.

Таблиця 8.4

Характеристика розподілення гранулометричного складу крупки стрижнів кукурудзи

№ сита	0	0,1	016	020	0315	04
1	2	3	4	5	6	7
$d_{u_i}$	0,05	0,13	0,18	0,26	0,36	0,52
$\Delta C_i = d_{u_{i-1}} - d_{u_i}$	0,08	0,05	0,08	0,10	0,16	0,30
$P_i, \%$	1,10	0,27	0,44	1,58	1,77	4,93
$\sum_{i=1}^n P_i, \%$	1,10	1,37	1,81	3,39	5,16	10,09
$P_i d_{u_i}$	0,055	0,035	0,079	0,411	0,637	2,564
$\sum_{i=1}^n P_i d_{u_i}$	0,055	0,090	0,169	0,580	1,217	3,781
$d_{u_i} - \bar{d}_u$	-2,79	-2,71	-2,66	-2,58	-2,48	-2,32
$(d_{u_i} - \bar{d}_u)^2$	7,784	7,344	7,076	6,656	6,150	5,382
$(d_{u_i} - \bar{d}_u)^2 P_i$	8,562	5,214	3,113	10,516	10,886	26,535
$(d_{u_i} - \bar{d}_u)^3 P_i$	-23,889	-14,131	-8,281	-27,132	-26,998	-61,56
$(d_{u_i} - \bar{d}_u)^4 P_i$	66,650	38,294	22,028	70,002	66,954	142,82
$d_{u_{св}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i d_{u_i}}{\sum_{i=1}^n P_i}$	0,05	0,02	0,04	0,121	0,22	0,37
$t = (d_{u_i} - \bar{d}_u) / S_{d_u}$	-4,82	-4,68	-4,59	-4,45	-4,28	-4,0
$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$	0	0	0	0	0	0,0001
$f(t) = \frac{\Delta C}{C_i} \varphi(t)$	0	0	0	0	0	0



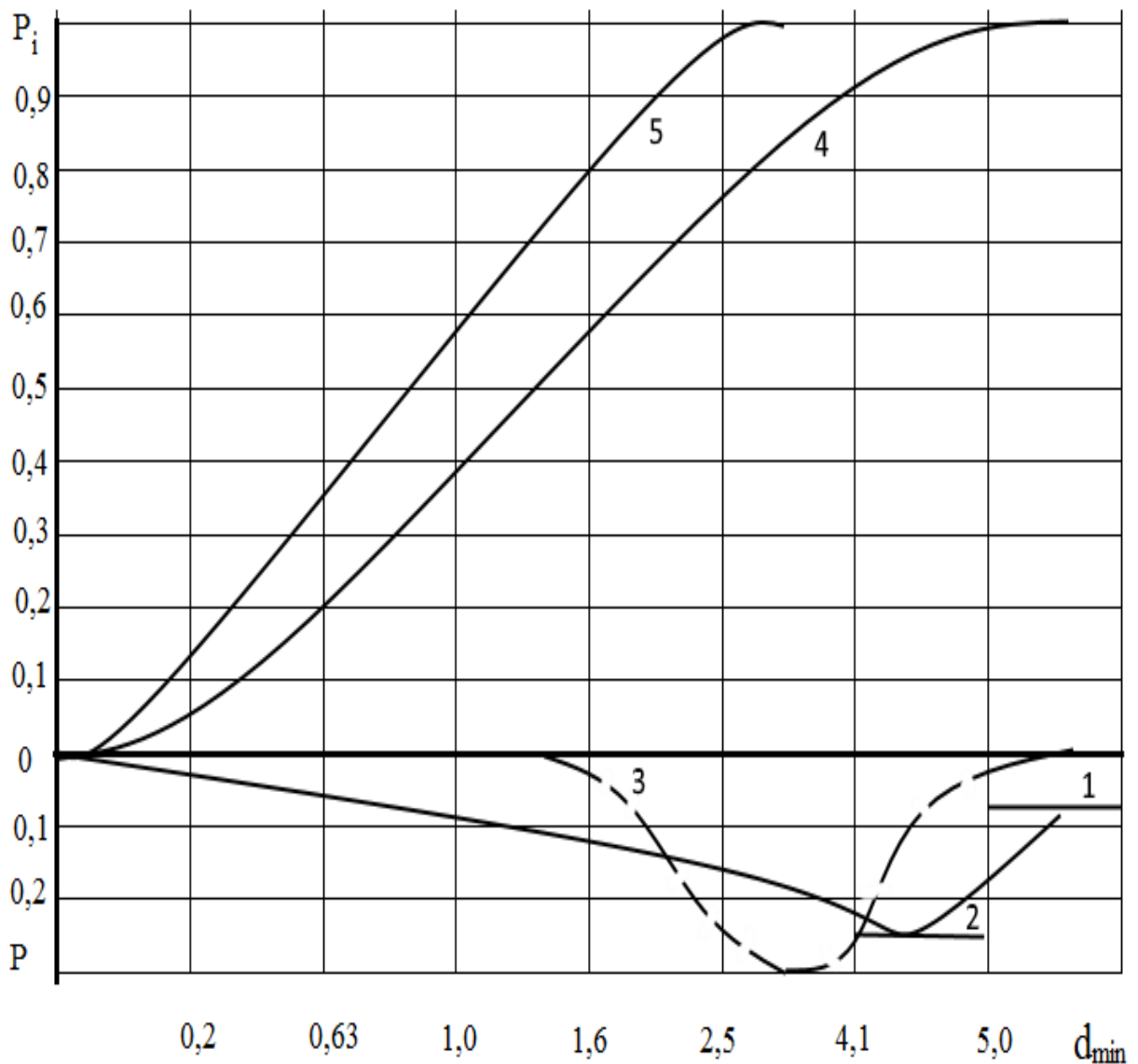


Рис. 8.3 Дісперсна характеристика крупок з стрижнів кукурудзи: 1 та 2 – гістограма та полігон емпіричного розподілення; 3- теоретичне нормальне розподілення; 4 та 5 – кумулятивні криві абсолютних та середньозважених діаметрів.

Таким чином, виконані дослідження дозволили одержати математичні моделі й визначити раціональний режим процесу здрібнювання дріблених стрижнів кукурудзи в дисковій машині, при яким досягається необхідний гранулометричний склад крупок при незначній витраті енергії. При цьому, з обліком першого етапу здрібнювання стрижнів, сумарні енерговитрати не перевищили 5,0 кВт. Для перевірки адекватності реальному процесу отриманих виражень для продуктивності й потужності дискового

подрібнювача були виконані розрахунки при наступних обраних і експериментально обґрунтованих вихідних даних:

$D_{ш}=0,4$ ;  $L_{ш}=0,135$ м;  $d_{в}=0,05$ м;  $t_{ш}=0,07$ м;  $n=750$  об/хв;  $\omega = 78,5$  с<sup>-1</sup>;  $\rho_{н дс}=310$  кг/м<sup>3</sup>;  $K=0,4$ ;  $\varphi=0,5$ ;  $D'_{рз}=0,198$ м;  $D'_{в}=0,232$ м;  $D'_{к}=0,212$ м;  $\delta_{в}=0,002$ м;  $t_{к}=0,015$ м;  $S_{к}=0,5 \cdot 0,012 \cdot 0,005=3 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>;  $\alpha=45^\circ$ ;  $\beta=35^\circ$ ;  $K_1=K_2=0,3$ ;  $K_3=0,4$ ;  $K_c=1,8$ ;  $R'_{ш}=0,05$ м;  $D'_{п}=0,189$ ;  $L_{рз}=0,048$ м;  $\mu_{\Delta}=0,35$ . Розрахунками встановлено, що  $Q_{ш}=1150$  кг/год і  $Q_{д}=1310$  кг/ч. Отже, для практичних значень можна прийняти продуктивність в межах 1150 кг/ч. При розрахунках потужності дискового подрібнювача масу продукту визначали як множення обсягу матеріалу, що перебуває у клиновідному зазорі робочої зони машини на насипну щільність дріблених стрижнів. Модуль пружності  $E$  прийнятий рарным  $1,2 \cdot 10^5$ , що відповідає середньому значенню  $E$  вздовж і поперек волокон [83], а відносну деформацію  $\varepsilon = 0,15$  визначали за результатами експериментальних пошуків деформативних властивостей здрібнених стрижнів. Підставивши вихідні дані у формулу (4.17), одержали значення потужності, витраченої на процес у дисковому подрібнювачі у межах 3,5 кВт. Таким чином, отримані результати свідчать про достатню збіжності теоретичних і пошукових даних, тому що розраховані по емпіричним рівнянням значення  $Q$  і  $N_{из}$  становлять відповідно 1040 кг/год і 2,6 кВт.

## 8.2 Фрикційні властивості стрижнів і крупки

Фрикційні властивості, які характеризуються кутами природнього укусу  $\alpha$  і зовнішнього тертя  $\varphi$ , коефіцієнтами опору внутрішнього  $f$  й зовнішньому зсуву  $\mu$ , є показниками необхідними для оцінки процесу. Оцінку проводили для дріблених стрижнів і крупки у зв'язку з істотною відмінністю їх структурних, що є необхідним для визначення достовірних значень шуканих параметрів, використовуваних при розрахунках геометрії й конструкції робочих органів дискового подрібнювача, його пропускної здатності й расходу енергії на процес здрібнювання. На першому етапі дослідження визначали залежність кутів природнього укусу  $\alpha_{\Delta}$ ,  $\alpha_{к}$  і зовнішнього тертя  $\varphi_{\Delta}$

$\varphi_k$  дріблених стрижнів і крупки від вологості  $W$  продукту, яка змінюється у межах  $(8...20)\pm 0,5$  % з постійним кроком, рівним 2 %. Визначення кута природнього укусу  $\alpha_k$  крупки здійснювали за раніше описаним методом (див. розділ 6.1) Встановлено, (рис. 8.4), що з підвищенням вологості продукту відбувається збільшення кута  $\alpha$  як для дріблених стрижнів, так і для крупки. При цьому трохи більшим значенням характеризується кут природнього укусу крупки, що пояснюється меншим її гранулометричним складом і, відповідно, більшою поверхнею контакту, а також тим, що дріблені стрижні, маючи циліндричну форму, при певній орієнтації деяких з них скачуються, захоплюючи в спільний рух інші частини продукту. При зростанні  $W$  від 8 до 20 % спостерігається збільшення  $\alpha_k$  від 41 до 49°, а  $\alpha_\Delta$ , росте в межах 28...43°, тобто розмах варіації кута  $\alpha$  становить для стрижнів і крупки відповідно 8 і 15°. Враховуючи різний характер зміни  $\alpha_\Delta$  і  $\alpha_k$  для практичних розрахунків гравітаційного транспорту досліджуваних продуктів доцільно прийняти  $\alpha_k$  у межах 45°, а  $\alpha_\Delta = 35...37^\circ$ , що близько до значення для кукурудзяної дерті [ 56]. Встановлено також аналогічний характер зміни кута зовнішнього тертя  $\varphi$ , крупки й стрижнів по сталі, значення якого

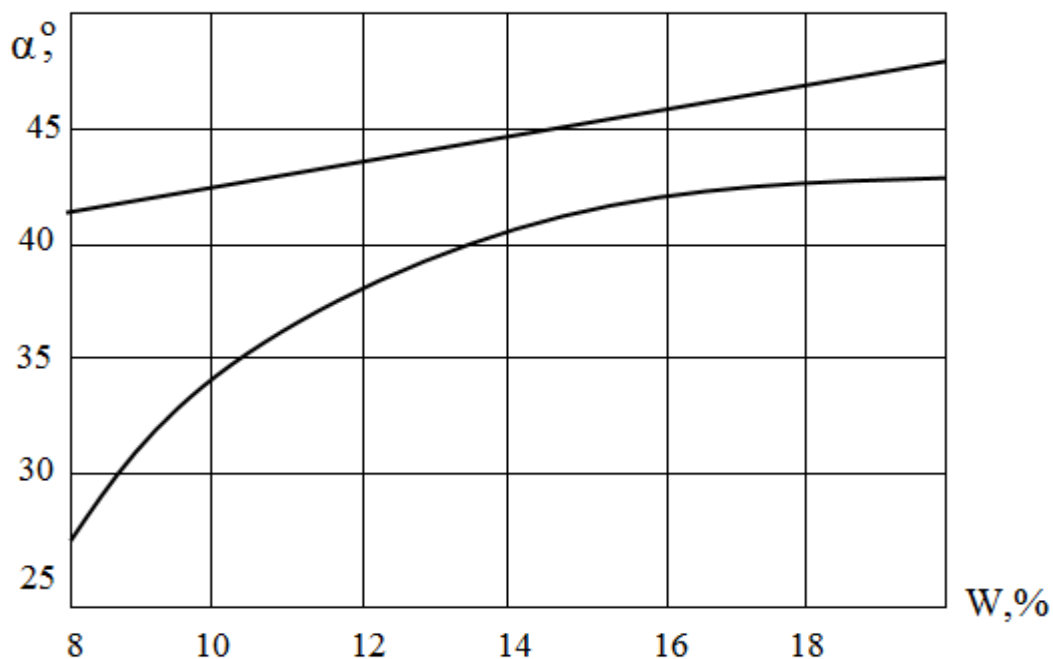


Рис 8.4 Залежність кута природнього укусу дріблених стрижнів  $\alpha_\Delta$  і крупки  $\alpha_k$  від вологості продукту.

зростають зі збільшенням  $W$  у досліджуваному діапазоні її зміни й становлять відповідно для крупки й дріблених стрижнів  $38...44^\circ$  і  $30...38^\circ$ . На другому етапі визначена залежність коефіцієнтів зовнішнього тертя по сталі,  $\mu_\Delta$ ,  $\mu_k$  і внутрішнього  $f_\Delta$ ,  $f_k$  крупки й дріблених стрижнів від вологості  $W$  і нормального навантаження  $P$  на шар продукту, змінюваної у межах  $0,5...6,0$  кПа. Для визначення довірчих інтервалів оцінки досліджуваних параметрів були реалізовані дослідження серії з 10 досвідів при  $W = 14\%$  і  $P = 3$  кПа (табл. 8.5)

Таблиця 8.5

Вихідні дані до розрахунку довірчих інтервалів

№	$\mu_k$	$\mu_k'$	$(\mu_k - \mu_k')^2 \cdot 10^{-6}$	$\mu_\Delta$	$\mu_\Delta'$	$(\mu_\Delta - \mu_\Delta')^2 \cdot 10^{-6}$	$f_k$	$f_k'$	$(f_k - f_k')^2 \cdot 10^{-6}$	$f_\Delta$	$f_\Delta'$	$(f_\Delta - f_\Delta')^2 \cdot 10^{-6}$
1	052		4	034		9	063		25	078		0
2	049		1	033		16	057		1	081		9
3	048		4	037		0	054		16	075		9
4	051		1	039		4	060		4	080		4
5	047	050	9	039	037	4	058	058	0	079	078	1
6	049		1	038		1	056		4	076		4
7	052		4	039		4	059		1	082		16
8	050		0	035		4	056		4	075		9
9	052		4	037		0	058		0	080		4
10	051		1	038		1	060		4	077		1
$\Sigma$	501		29	369		43	581		59	783		57

Попередня перевірка отриманих варіаційних рядів по показала, про відсутність грубих помилок. Загальний аналіз залежностей (рис. 8.5... 8.8) дозволяє зробити висновок, що як для дріблених стрижнів, так і для крупки значення коефіцієнта внутрішнього тертя перебільшує значення коефіцієнта зовнішнього тертя незалежно від величин вологості  $W$  і нормального

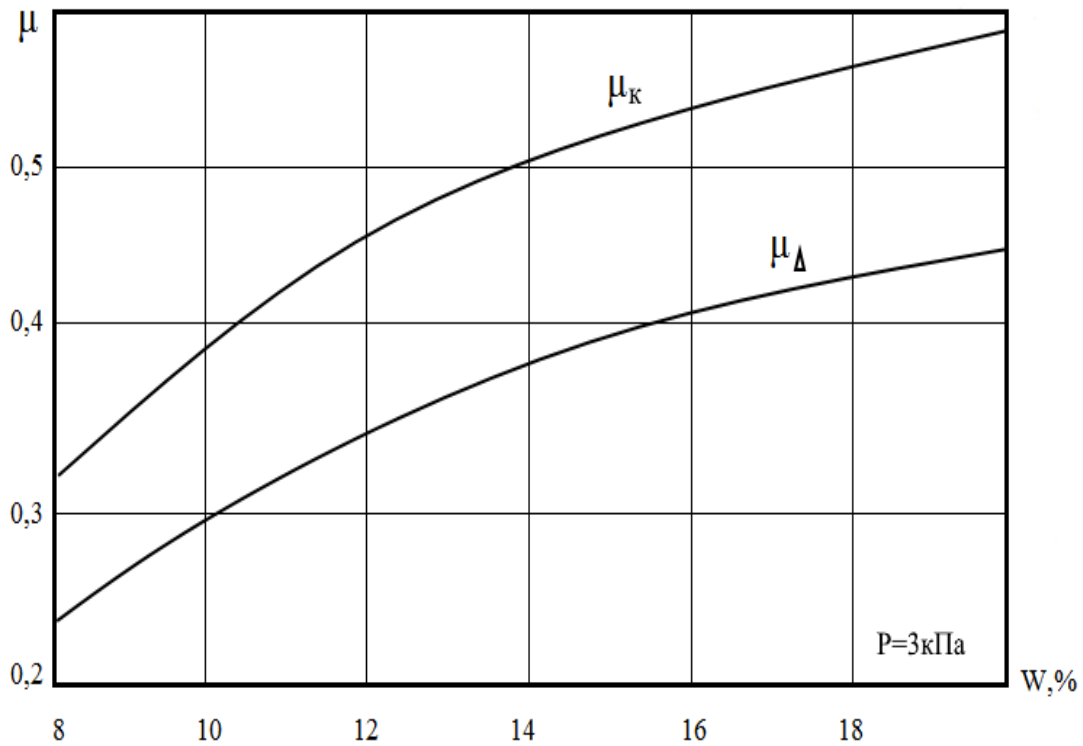


Рис.8.5 Залежність коефіцієнтів опору зовнішньому зсуву по сталі крупки  $\mu_k$  та дріблених стрижнів  $\mu_\Delta$  від вологості продукту.

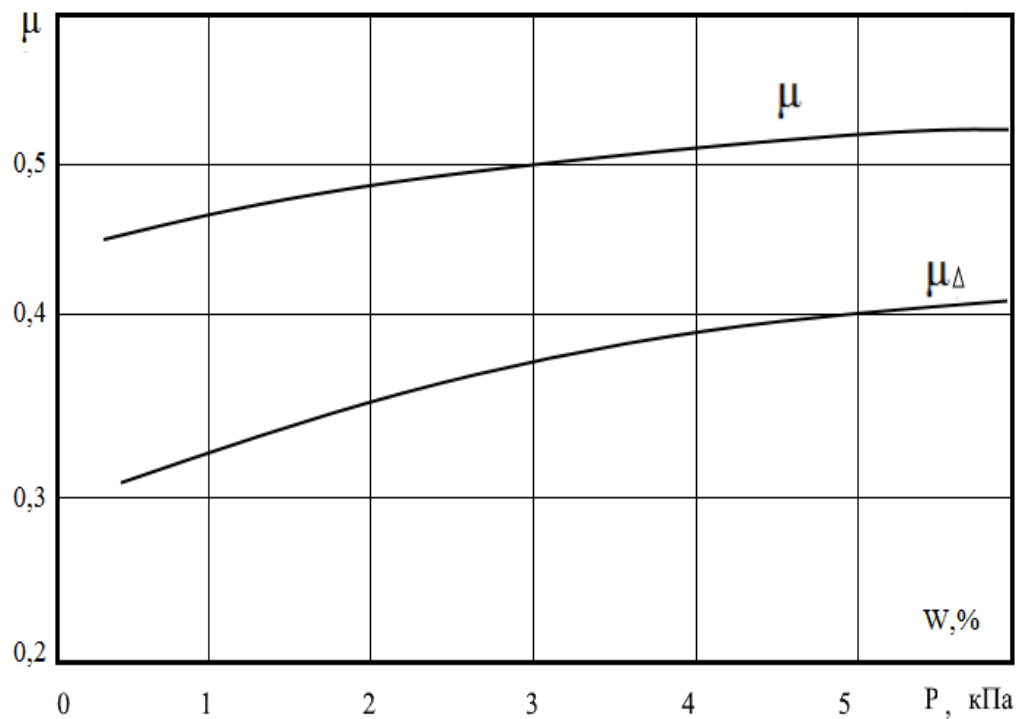


Рис. 8.6 Залежність коефіцієнтів опору зовнішньому зсуву по сталі крупки  $\mu_k$  та дріблених стрижнів  $\mu_\Delta$  від нормального навантаження

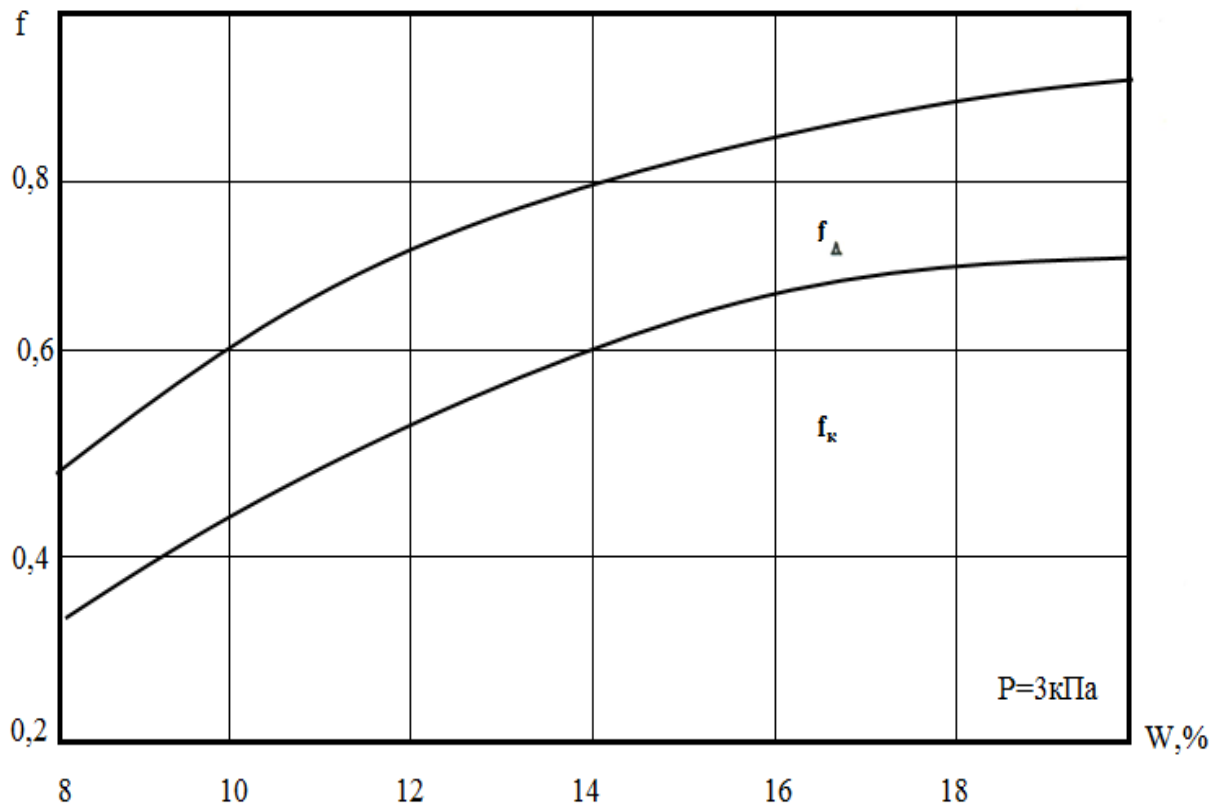


Рис. 8.7 Залежність коефіцієнтів опору внутрішньому зсуву крупки  $f_{\kappa}$  та дріблених стрижнів  $f_{\Delta}$  від вологості продукту

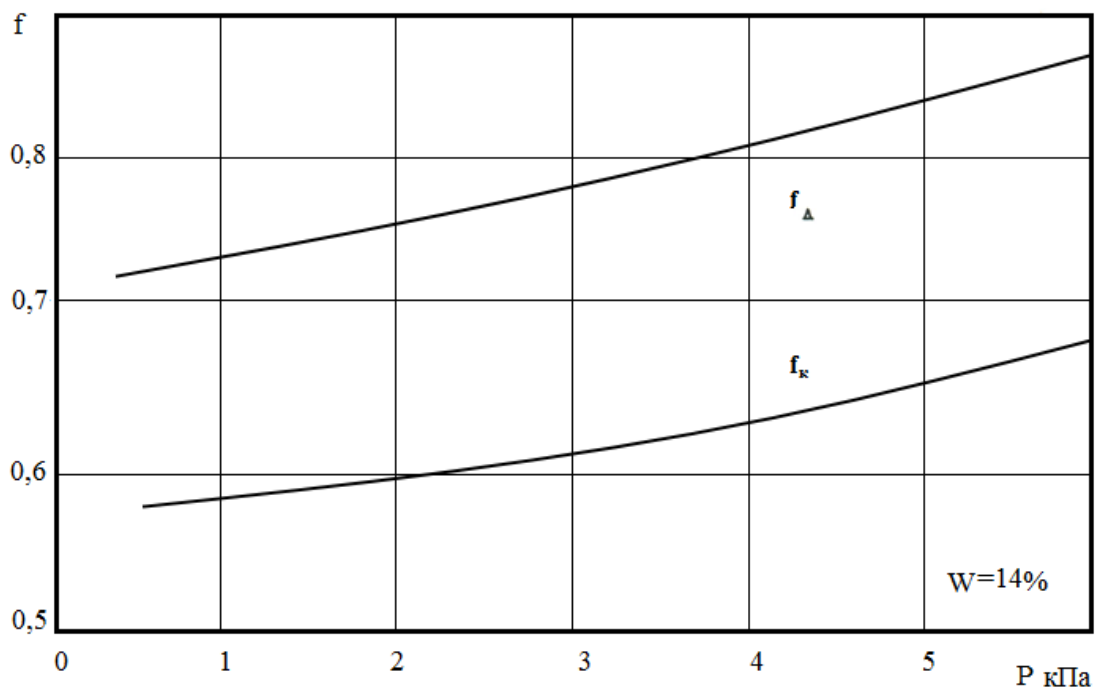


Рис 8.8 Залежність коефіцієнтів опору внутрішньому зсуву крупки  $f_{\kappa}$  та дріблених стрижнів  $f_{\Delta}$  від нормального навантаження

навантаження  $P$  на досліджуваний матеріал, що узгоджується з наявними даними для різних видів грубих кормів [ 29, 31]. Встановлено, що з зростанням величин  $W$  і  $P$  відбувається збільшення значень коефіцієнтів  $\mu_k$  і  $\mu_\Delta$  при цьому більшими значеннями характеризується коефіцієнт  $\mu_k$ . При збільшенні вологості від 8 до 20 % значення  $\mu_k$  зростало від 0,31 до 0,59, а значення  $\mu_\Delta$  від 0,24 до 0,43, тобто розмах їх варіації складав відповідно 0,28 і 0,19 при ідентичному законі зміни. З зростанням нормального тиску  $P$  в межах 0,5...6,0 кПа спостерігалася незначна зміна коефіцієнтів, яке складало  $\mu_k - 0,06$  і для  $\mu_\Delta - 0,10$ , що підтверджується дослідницькими даними і підтримується даними. Визначена аналогічна залежність від вологості й нормального навантаження та коефіцієнта внутрішнього тертя  $f$  однак при цьому більшим значенням, у порівнянні з  $f_k$ , характеризувався коефіцієнт  $f_\Delta$ . Така залежність пояснюється структурою стрижнів, що мають на своїй поверхні шар лусочків, що володіють пружними властивостями, які при переміщенні стрижнів відносно один одного входять у зачеплення, у зв'язку із чим і відбувається збільшення. При збільшенні вологості від 8 до 20 % значення  $f_\Delta$  зростає від 0,48 до 0,92 а значення  $f_k$  - від 0,33 до 0,72 тобто розмах їх зміни становив відповідно 0,44 і 0,39. З зростанням нормального тиску  $P$  у межах 0,5...6,0 кПа спостерігалася менше, у порівнянні з  $W$ , зміна досліджуваних коефіцієнтів, що становить для  $f_\Delta - 0,15$  і для  $f_k - 0,11$ . Таким чином, виконані експериментальні дослідження з визначення коефіцієнтів зовнішнього й внутрішнього тертя дріблених стрижнів і крупки, з обліком їх залежності від параметрів  $W$  і  $P$ , дозволяють рекомендувати для практичних цілей наступні значення:  $\mu_k = 0,45 \dots 0,50$ ;  $\mu_\Delta = 0,33 \dots 0,38$ ;  $f_k = 0,5 \dots 0,6$ ;  $f_\Delta = 0,7 \dots 0,8$ . Обробкою експериментальних даних отримані наступні емпіричні вирази:

$$\mu_k = -1,43 \cdot 10^{-3}W^2 + 6,32 \cdot 10^{-2}W - 9,93 \cdot 10^{-2}; \quad (8.10)$$

$$\mu_\Delta = -5,9 \cdot 10^{-4}W^2 + 3,2 \cdot 10^{-2}W + 3,5 \cdot 10^{-2}; \quad (8.11)$$

$$\mu_k = 9,04 \cdot 10^{-3}P + 0,467; \quad (8.12)$$

$$\mu_d = -3,76 \cdot 10^{-3}P^2 + 4,41 \cdot 10^{-2}P + 0,282; \quad (8.13)$$

$$f_d = -1,9 \cdot 10^{-3}W^2 + 8,83 \cdot 10^{-2}W - 9,86 \cdot 10^{-2}; \quad (8.14)$$

$$f_K = -1,13 \cdot 10^{-3}W^2 + 6,35 \cdot 10^{-2}W - 9,57 \cdot 10^{-2}; \quad (8.15)$$

$$f_K = 3,07 \cdot 10^{-2}P + 0,687; \quad (8.16)$$

$$f_K = 2,6 \cdot 10^{-3}P^2 + 0,559; \quad (8.17)$$

Відносна середньоеквадратична погрішність розбіжності розрахункових і експериментальних значень складала для -виражень (8.10... 8.11) відповідно 2,5; 2,8; 2,0; 2,5; 1,9; 2,1; 1,1 і 1,5 %.



## Розділ 9. Деформативні властивості крупки.

### 9.1 Стриктурно –механічні показники.

Експериментальні дослідження з визначення модуля пружності  $E$ , коефіцієнтів Пуассона  $\mu$  і бічного тиску  $\xi$  крупки з стрижнів кукурудзи проводили на приладі (Рис. 6.5) у відповідності з розробленою методикою.

Враховуючи істотний вплив вологості на структурно-механічні властивості продукту, шукані параметри визначали при варьйруємих її значеннях у межах (8...20)-0,5 %, а також при змінюваних величинах тисків, що діють на матеріал, розміщений у середині перфорованого циліндра з оболонкою. Із цією метою рівень води, що заливається в напірну трубку приладу, що визначає тиск (напруга) та діє на досліджуваний матеріал, збільшували східчасто з однаковим кроком, визначаючи щораз початкове й кінцеві значення рівнів  $H_i$ , і  $h_i$  у вимірювальних трубках через проміжок часу  $\Delta t = 5$  хв. При навантаженні зразка шляхом зміни гідростатичного тиску зміна рівня рідини  $\Delta H_i$  і  $\Delta h_i$  ди; в  $i$ -тому досвіді визначали з обліком їх змін у попередньому досвіді ( $I - 1$ ). Установивши експериментально значення складових  $\sigma_x$   $\sigma_y$   $\sigma_z$  розраховували результуючу величину нормальної напруги  $\sigma$  за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2} \quad (9.1)$$

Дослідження проводили при наступних початкових значеннях параметрів: діаметр, висота й обсяг випробуваного зразка матеріалу відповідно  $D_0 = 0,0453$  м,  $L = 0,0962$  м і  $V_0 = 155,05 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>; діаметри вимірювальних трубок 10 і 14мм приладу відповідно  $d_1 = 0,008$  м и  $d_2 = 0,003$  м; початкове гідростатичний тиск  $P_n = 3346$  Па ( $H_n = 341$  мм). Результати дослідження при  $m=6$  повторювань досвідів і параметрів  $E$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$  для крупки вологістю  $W = 14 \pm 0,5$  % при всебічному стисканні, а залежності  $E$  и  $\xi$  від напруги  $\sigma$  при різних значеннях  $W$  показаних на рисунках. 9.1 та 9.2. Отримані дані свідчать про те, що модуль пружності в досліджуваному інтервалі напруг зростає незалежно від вихідної вологості продукту. Так, при  $W = 14$  % зі зростанням  $\sigma$  від 34,0 кПа до 46,4 кПа модуль збільшується з 187,24 кПа до

215,32 кПа і його зміна становить близько 15 % від первинного значення.

З зростанням вологості спостерігається зниження  $E$ , для сипучих матеріалів, що мають різну структуру й властивості. Для  $\sigma = 40$ кПа

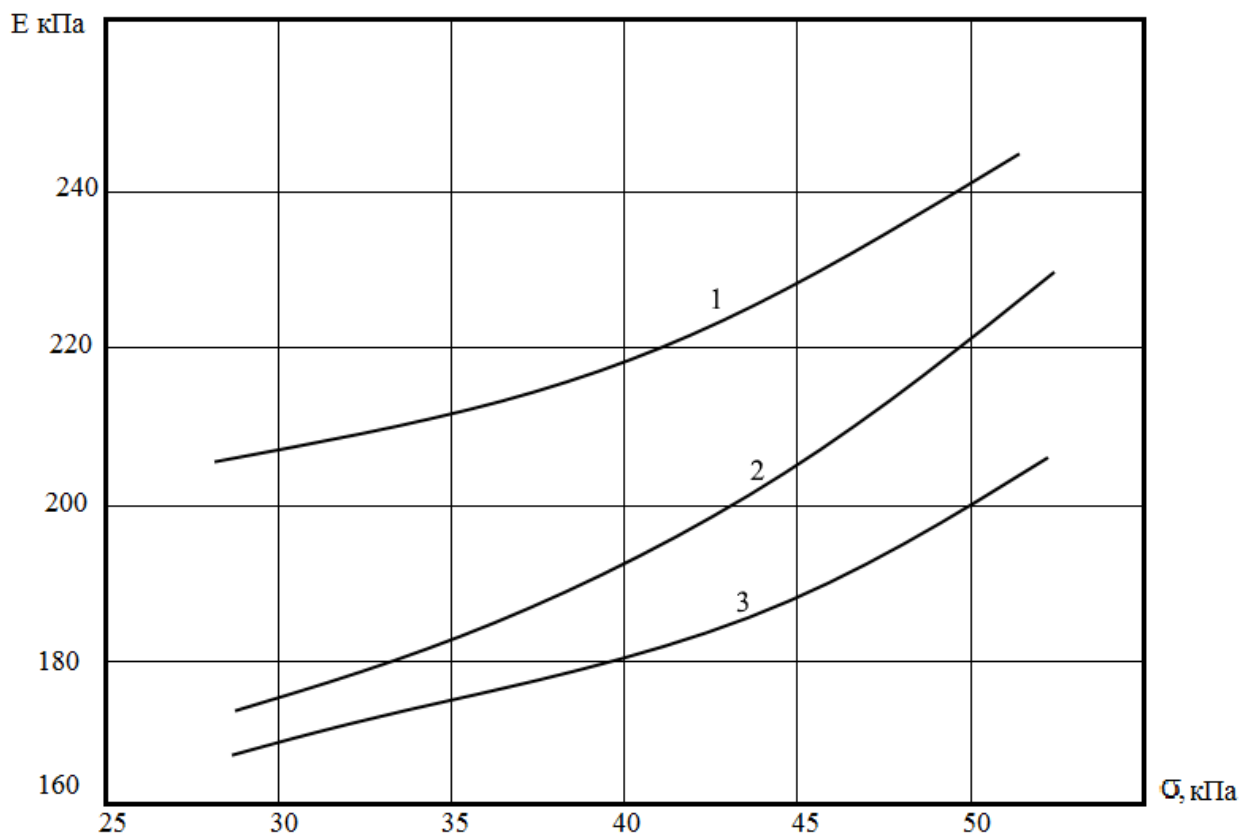


Рис. 9.1 Залежність модуля пружності крупки з стрижню кукурудзи від підсумкового навантаження: 1-  $W = 8 \pm 0,5\%$ ; 2-  $W = 14 \pm 0,5\%$ ; 3-  $W = 20\% \pm 0,5\%$

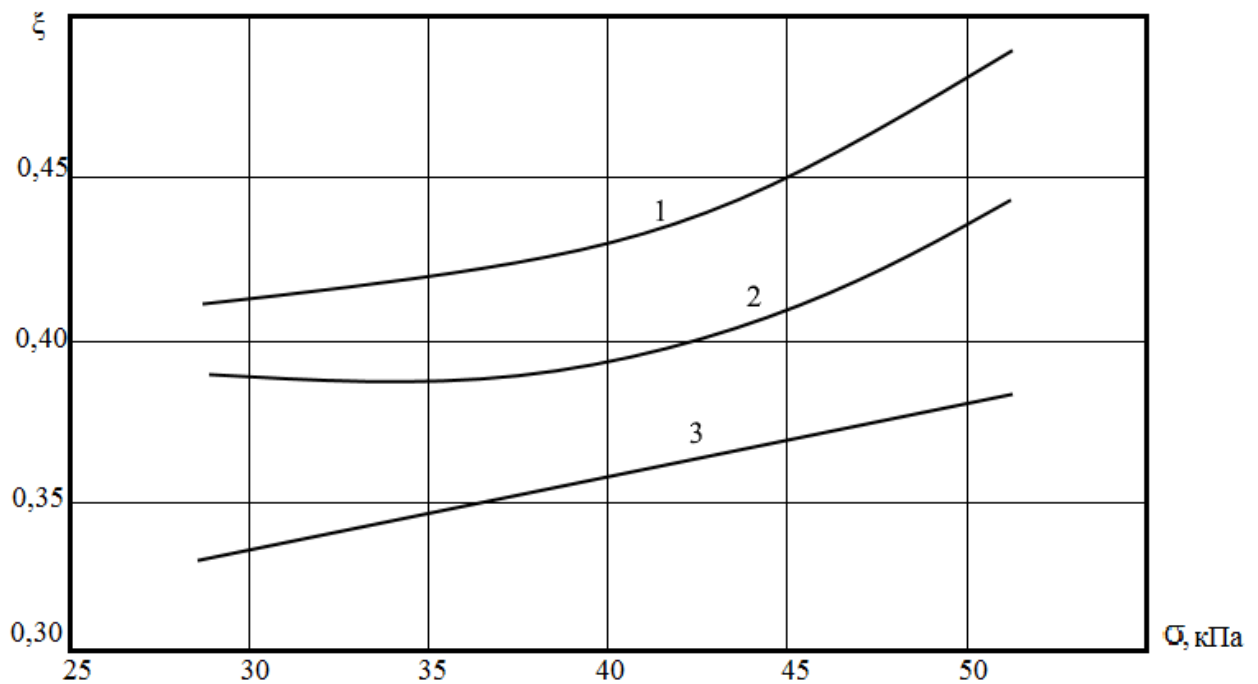


Рис. 9.2 Залежність коефіцієнту бічного тиску крупки з стрижнів кукурудзи від підсумкової напруги: 1-  $W=8 \pm 0,5\%$ ; 2-  $W=14 \pm 0,5\%$ ; 3-  $W=20\% \pm 0,5\%$

при збільшенні вологості з 8 до 20 % модуль знижується на 35 кПа, що свідчить про практично рівний частковий вплив, але в зворотній залежності, на величину  $E$  тиску й вологості у пошуковому діапазоні зміни цих параметрів. Враховуючи, що зміна коефіцієнта при напруги 34,0 і 42,7 кПа незначна й складає 0,002 визначали значимість їх розбіжності у відповідних досвідах. У результаті статистичного аналізу встановлена значимість  $\Delta\xi$ , тому що розраховане значення  $t$ -критерію, дорівнює 3,28, більше його табличного значення  $t_{\tau}$  ( $P=0,95$ ;  $f=10$ )=2,23 [106]. Як впливає графіка 9.2 коефіцієнт бокового тиску  $\xi$  незначно збільшується з зростанням  $\sigma$  і зменшенням  $W$ , при цьому характер залежностей при різних  $W$  продукта ідентичний. Трохи менша зміна  $\xi$ , у порівнянні з вологістю 8 і 20 %, має місце при  $W=14\%$  і розмах варіювання коефіцієнта  $\xi$  при зміні  $\sigma$  становить 0,022 або 5,5% від його початкового значення при  $\sigma=34$  кПа. Вплив вологості на коефіцієнт  $\xi$ , аналогічне її впливу на модуль  $E$ , свідчить про взаємодію цих показників. Встановлено, що коефіцієнт Пуассона  $\mu$  з збільшенням  $b$  трохи знижується, що не заперечує його фізичному змісту, а

загальна його зміна становить 0,026 або 14 % від значення при  $\sigma = 34$  кПа. При цьому встановлена взаємодія коефіцієнтів  $\mu$  і  $\xi$  яка визначена емпіричним вираженням:

$$\mu = 0,43 \cdot \xi \quad (9.2)$$

Отримані експериментальні дані дозволили розрахувати відносне зниження обсягу досліджуваного матеріалу при всебічному стиску, яке становить 24 % від первинного значення, що свідчить, що крупка з стрижнів кукурудзи є пружним тілом і для опису її ущільнення можна користатися нелінійною теорією пружності [8, 82].

Обробкою експериментальних даних отримані емпіричні залежності параметрів  $E$  і  $\xi$  від  $\sigma$  при вологості продукту відповідно 8; 14 і 20 %, які мають вигляд:

$$E = -1.97 \cdot 10^{-2} \sigma^2 + 4.58 \cdot 10^{-2} \sigma + 225.06; \quad (9.3)$$

$$E = 2.251 \sigma + 110.516 \quad (9.4)$$

$$E = 1.2 \cdot 10^{-2} \sigma^2 + 0.392 \sigma + 150.867; \quad (9.5)$$

$$\xi = 3.714 \cdot 10^{-5} \sigma^2 + 0.373 \quad (9.6)$$

$$\xi = 4.15 \cdot 10^{-4} \sigma^2 - 3.16 \cdot 10^{-2} \sigma + 0.992; \quad (9.7)$$

$$\xi = 2.473 \cdot 10^{-3} \sigma + 0.261. \quad (9.8)$$

Відносна середньоквадратична погрішність розбіжності розрахункових і експериментальних значень склала для виражений (9.3... 9.8) відповідно 0,2; 0,1; 0,1; 2,0; 0,4; 0,2%. Таким чином, виконані експериментальні дослідження дозволили визначити значення параметрів  $E$ , і встановити основні закономірності їх зміни, що необхідно враховувати при виборі принципу дії, робочих органів і розрахунках машин для здрибнювання стрижнів кукурудзи.

## 9.2. Аеромеханичні властивості часток крупки

Експериментальне визначення швидкості, витання  $V_s$  часток крупки різного гранулометричного складу зі стрижнів кукурудзи, провелося на

експериментальній установці (див.розділ 6 ) відповідно до наведеної методики, при варіюванні значень вологості продукту й швидкості висхідного повітряного потоку. Для встановлення закону розподілу параметра  $V_s$ , була проведена пробна серія досвідів при постійній значенні  $W = 14 \pm 0,5 \%$  і середньому розмірі часток  $d_{ч}' = 1,3$  мм фракції, отриманої в результаті ситової класифікації суміші продуктів здрібнювання стрижнів на ситах з номерами 16 і 10. Визначене, що з 50 досвідчених результатів шість є грубими помилками, які виключалися з варіаційного ряду, тобто  $N = 44$ . Розрахунками встановлено, що зміна досліджуваного параметра підкоряється нормальному закону, тому що розрахункове значення критерію згоди  $X^2_p = 4,72$  менше табличного  $X^2_p(0,95;3) = 7,80$  [ 25]. При  $\sigma^2_{\min} = 0,123$  м/с і  $\sigma^2_{\max} = 0,175$  м/с, прийнятої довірчої помилці  $\varepsilon(V_s) = 0,075 \cdot 1,8 = 0,135$  м/с і значенні параметра  $t(0,95) = 1,96$  [106] розраховане необхідне число повторювань досвідів складе  $m_{\min} = 3, m_{\max} = 6$  (ухвалюємо  $m = 6$ ). На першому етапі досліджень визначали швидкість руху часток окремих класів крупності, характерізуємих середніми розмірами  $d_{ч}' = 6; 4,6; 3,3; 2,0; 1,3; 0,8; 0,5; 0,15$ , отриманих при просіюванні здрібненого продукту на ситовому класифікаторі. На рис. 9.3 представлено залежності, побудовані у межах довірчого інтервала, аналіз яких показує, що із збільшенням середнього розміру часток крупки, незалежно від їх вологості, швидкість витання, зростає, при цьому зміна  $V_s$  наближається до лінійної залежності. При  $W = 14 \%$  швидкість зростає від 0,9 м/с для часток із середнім розміром 0,15 мм до 6,2 м/с для  $d_{ч}' = 6,0$  мм, а розмах варіювання становить 5,3 м/с.

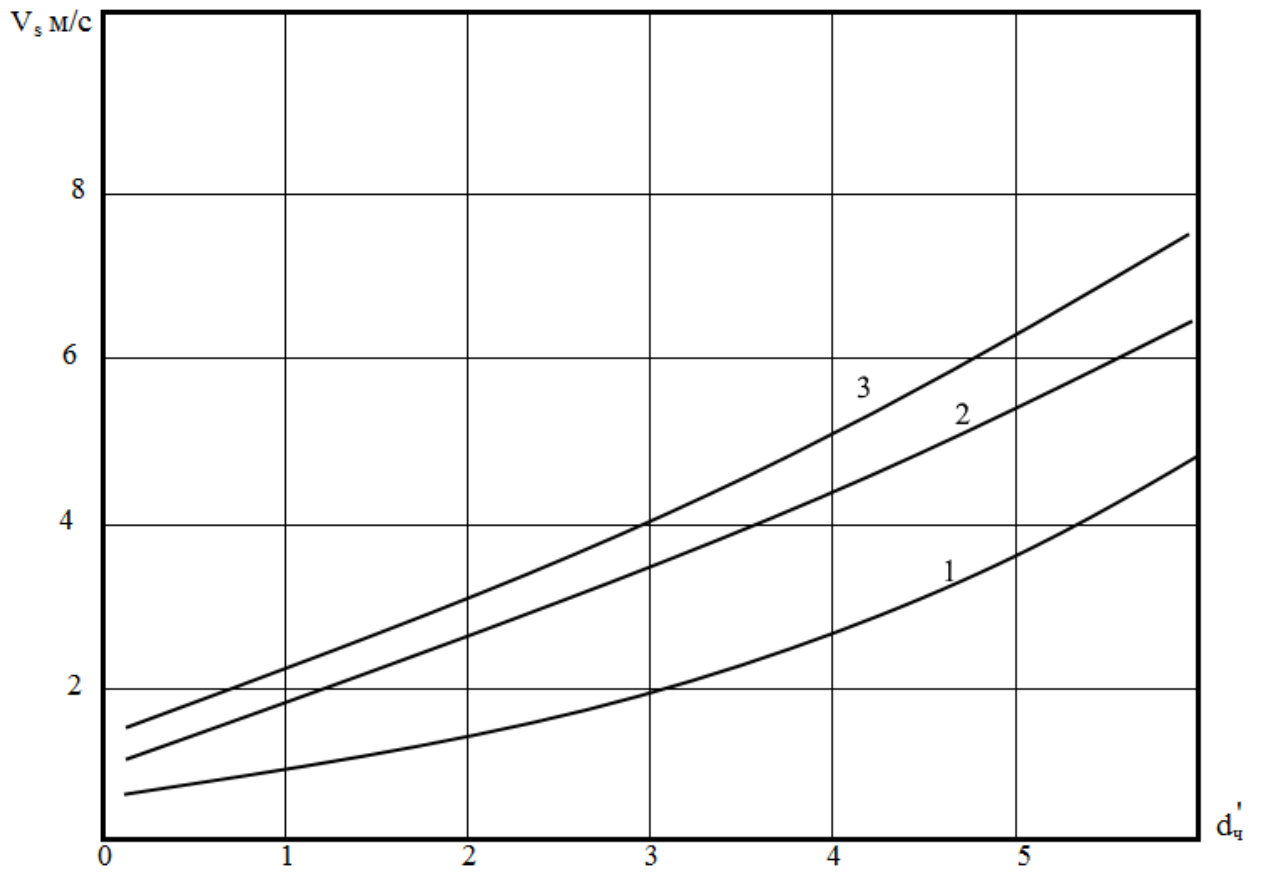


Рис.9.3 Залежність швидкості витання часток крупки від їх середнього розміру: 1-  $W= 8 \pm 0,5\%$ ; 2-  $W=14 \pm 0,5\%$ ;3-  $W=20\% \pm 0,5\%$

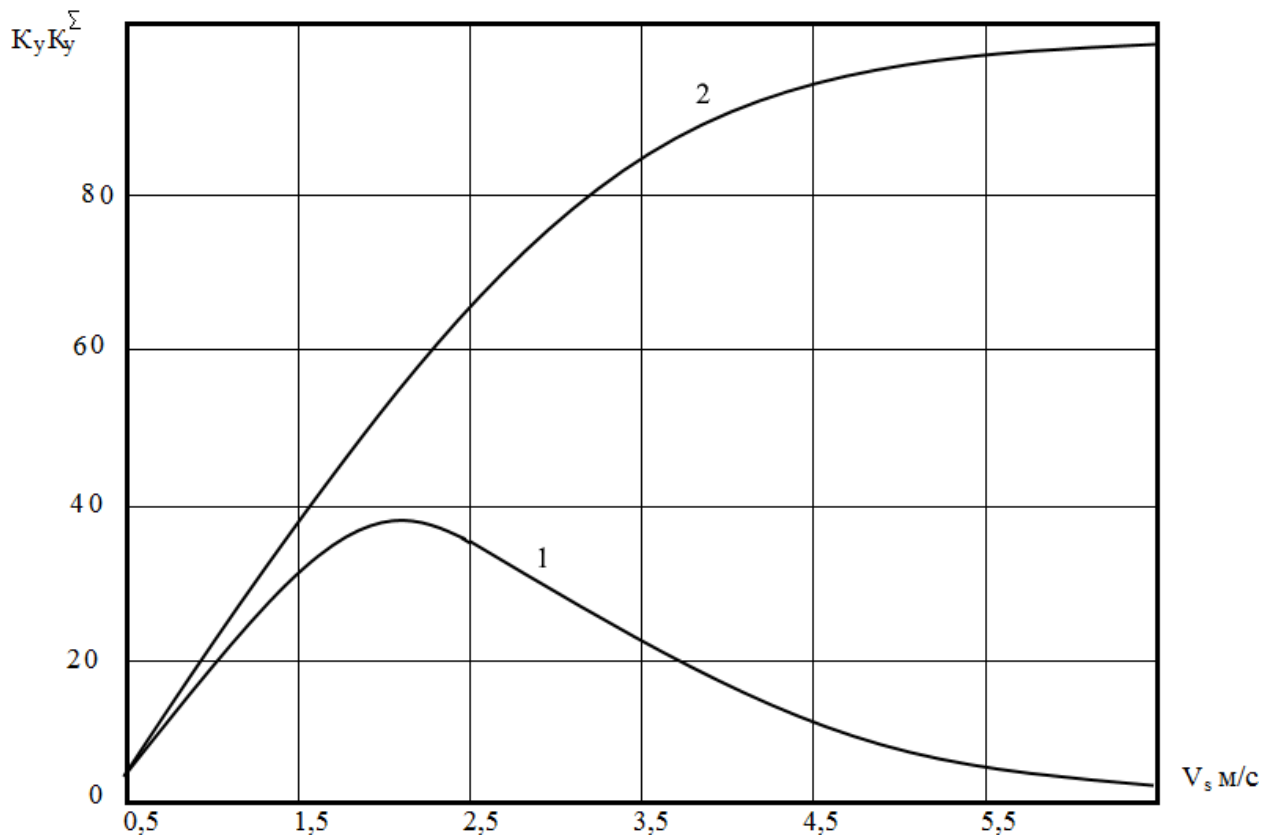


Рис.9.4 Залежність коефіцієнту відносу окремих фракцій суміші часток крупки  $K_y$  (1) та всього продукту  $K_{\Sigma y}$  (2)

Зростання вологості продукту від 8 до 20 % також приводить до збільшення швидкості витання. Для  $d'_c=2,0$  мм розмах  $Ro = 1,6$  м/с, що свідчить про менший вплив на величину  $V_s$ , у порівнянні із середнім розміром часток, в дослідженому діапазоні параметрів. На этом етапі при постійній вологості  $W = 14$  % продукту досліджували залежність коефіцієнтів віднесення окремих фракцій часток крупки  $K_y$ , % і всього продукту  $K_{\Sigma y}$ , % від швидкості повітряного потоку, варьїруємої з постійним кроком, рівним 1 м/с (рис.9.4).

Встановлено, що найбільший відсоток віднесення часток крупки, становить 30,3 % і 34,7 %, при цьому спостерігаються швидкості 1,5 м/с і 2,5 м/с, а при  $V_s$ , на рівні 4,5 м/с і 5,5 м/с,  $K_y$  не значний і перебуває в межах 7,3 % і 6,1 %. Також розподілення обумовлено гранулометричним складом суміші продуктів здрібнювання стрижнів кукурудзи, у якій переважають частки малої крупності. При швидкості повітря 3,5 м/с віднесення продукту становить

82,33% від загальної маси у зв'язку з чим подальше підвищення  $V_s$  недоцільна згідно з урахуванням середньозваженого розміру часток  $d_{\text{чсв}}=2,84$  можна рекомендувати швидкість витання в межах 3,0...3,5 м/с при вертикальному пневмотранспорті й 4,4...5,1 м/с - при горизонтальному.

Для апроксимації дослідницьких даних була виконана їх обробка на у результаті якої отримані наступні емпіричні вираження відповідно для залежностей 1, 2, 3 (рис. 9.3) і 2 (рис. 9.4)

$$V_s = 6.8 \cdot 10^{-2} \bar{d}_q^2 + 0,298 \bar{d}_q + 0.607; \quad (9.9)$$

$$V_s = 2.6 \cdot 10^{-2} \bar{d}_q^2 + 0,773 \bar{d}_q + 0.833; \quad (9.10)$$

$$V_s = 5.4 \cdot 10^{-2} \bar{d}_q^2 + 0,662 \bar{d}_q + 1.576; \quad (9.11)$$

$$K_y^\Sigma = -3,674 V_s^2 + 41.724 V_s - 17.762 \quad (9.12)$$

Відносна середньоквадратна похибка розбіжності експериментальних і розрахункових значень не перевищила 10% і складає для вираження (9.9) - 4,6 %; (9.10) - 2,0 %; (9.11) -2,5 %; (9.12) - 3,9 %.

Використовуючи наведені вираження при відомому середньому (середньозваженому) розмірі часток крупки вологістю 8...20 %, уявляється можливим визначити швидкість витання й по ній розрахувати відсоток віднесення суміші часток даного гранулометричного складу, що необхідно враховувати при проектуванні пневмотранспорту й аспірації машин для здрібнювання стрижнів кукурудзи.



## Розділ 10. Статистичний аналіз експериментальних даних.

### 10.1 Методика статистичного аналізу, планування і обробки експериментальних даних.

Статистичний аналіз експериментальних даних містить визначення розподілу грубих помилок, закон розподілу, довірчої помилки й довірчого інтервалу вимірюваної речовини, а також необхідних повторювань досвідів.

Для визначення закону розподілу досвідчених даних здійснювали попередню серію досвідів і отримані значення розташовували у упорядкований ряд  $y_{\min} \dots y_{\max}$  після чого визначали коефіцієнти:

$$\alpha_1 = \frac{y_{\min+1} - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}}; \quad \alpha_N = \frac{y_{\max} - y_{\max-1}}{y_{\max} - y_{\min}}, \quad (10.1)$$

Отримане порівнювали з табличною величиною  $\alpha_T$  для даного обсягу вибірки й прийнятого рівня значимості  $q$ . Якщо  $\alpha_{1n} \geq \alpha_T$ , то результат вимірів уважався помилковим і виключався з варіаційного ряду. Діапазон залишених значень розбивали на  $M$  інтервалів, в кожному з яких число результатів рахували для всього масиву експериментальних даних середньоквадратичне відхилення і визначали вірогідність  $\Delta P_i$  появи результату в  $i$ -тому інтервалі при нормальному законі розподілу.

$$\Delta P_i = \Phi\left(\frac{y_i - y'}{S(y_i)}\right) - \Phi\left(\frac{y_{i-1} - y'}{S(y_i)}\right) = \Phi(t_i) - \Phi(t_{i-1}), \quad (10.2)$$

$\Phi(t)$  – інтеграл функції щільності розподілення [ 106 ]

де,  $y_i, y_{i-1}$  - кінець і початок  $i$ -того інтервалу;

$y'$  - середнє для всього масива значення досліджуваного параметра;

$S(y_i)$  - середньоквадратичне відхилення  $i$ -того результату визначеного за вираженням:

$$S(y_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_j - \bar{y})^2}{N-1}} \quad (10.3)$$

Число результатів, які при нормальному законі розподілу у кожний інтервал, розраховували за вираженням:

$$m_{iT} = \Delta P_i \sum_{i=1}^M m_i \quad (10.4)$$

Тоді критерій погодження:

$$X^2 = \sum_{i=1}^M \frac{(m_i - m_{iT})^2}{m_{iT}} \quad (10.5)$$

Коли розрахункове значення  $X_p^2$  було менше критичного  $X_T^2(P; f)$ , для заданої оцінки  $P$  та числі ступенів свободи  $f = M - 3$ , то стверджуємо, що розподілення у даній сукупності не відрізняється від нормального.

Розрахунок довірчої похибки  $\varepsilon(y_i)$  та інтервал довіри для вимірюваної величини значення якої із заданою вірогідністю має бути в межах:

$$y_j - \varepsilon(y_j) < y < y_j + \varepsilon(y_j) \quad (10.6)$$

Довірчу похибку визначали:

$$\varepsilon(y_j) = \frac{t(P; f)S(y_j)}{\sqrt{N}}, \quad (10.7)$$

де  $t(P, f)$  – критерій Стюдента визначувальний від прийнятого рівня значності  $q = 1 - P$  та числа ступенів свободи  $f = N - 1$ .

Зазвичай достаньо прийняти  $\varepsilon(y') = \varepsilon(y_i) = (0,05 \dots 0,1) y'$  та  $q = 0,05$

Необхідне число повторювань досвідів визначали з нерівняння

$m_{\min} < m < m_{\max}$  а значення  $m_{\min}$  та  $m_{\max}$  розраховували за вираженнчм:

$$m_{\min(\max)} = \frac{t^2(P)\sigma^2_{\min(\max)}}{\varepsilon^2(\bar{y})} \quad (10.8)$$

де  $t(P)$ - параметр, обумовлений по таблиці [ 106]

$\sigma^2_{\min}, \sigma^2_{\max}$ —межі довірчого інтервала дійсного значення  $\sigma$  середньоквадратичного відхилення, яке йперебуває у інтервалі

$$\sigma^2_{\min} = S^2(y_j)Z_1^2 < \sigma < S^2(y_j)Z_2^2 = \sigma^2_{\max}, \quad (10.9)$$

де  $Z_1$  і  $Z_2$  - коефіцієнти з таблиці [ 25], прийняті у залежності від  $q = 0,05$  і числа ступенів свободи  $f = N - 1$ , маючих місце місце при визначенні  $S(y_i)$ .

Для виключення в ході експерименту впливу неконтрольованих факторів при реалізації багатофакторного плану порядок проведення досвідів рандомізації за допомогою таблиць випадкових чисел [77 ].

Для скорочення числа досвідів математичну модель процесу здрібнювання стрижнів кукурудзи одержували на основі реалізації усіченого

багатофакторного плану з обробкою результатів експерименту методом інтерполяції з уявленням функцій відгуку у вигляді поліномів другого ступеня за умови незалежності характеру монотонності часток похідних по змінним кожного  $n$ -го фактора. У цьому випадку інтерполяційний поліном не містить добутоків парних взаємодій і має вигляд:

$$y = \sum_{i=1}^n a_i x_i^2 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n c_i \quad (10.10)$$

Такий спосіб планування можливо застосовувати, якщо якісний аналіз вихідної функції дає підставу допустити існування не більш одного екстремума в області варіювання аргументів. Побудова математичної моделі у вигляді інтерполяційного полінома із плануванням експерименту по трьом крапкам: центру й серединам граней гіперкуба в системі координат прирєднених змінних, крім скорочення числа досвідів, має ту перевагу перед апроксимованими по методу найменших квадратів поліномами, що в вузлах інтерполяції значення функції відгуку практично співпадають із експериментальними даними, тому дисперсія розсіювання відхилень розрахункових значень від експериментальних незначна.

Для обчислення коефіцієнтів полінома знаходили залежність між центрованою величиною  $Z = Y - Y_0$  й нормированими змінними  $U_i$

$$U_i = \frac{2X_i - \max X_i - \min X_i}{\max X_i - \min X_i}, \quad (10.11)$$

де  $Y_0$  – значення функції у центрі гіперкуба ( $X_{01} X_{02} \dots X_{0i}$ );

$X_{0i} = 0,5(\max X_i - \min X_i)$ ;

$i = 1 \dots N$  – число досвідів у матриці

Уявлення  $Z$  поліномом у якому нормированні змінні мають загальний вигляд варіації  $[-1; +1]$  має вигляд:

$$Z = \sum_{i=1}^n \frac{Z_{2i-1} + Z_{2i}}{2} U_i^2 + \sum_{i=1}^n \frac{Z_{2i-1} - Z_{2i}}{2} U_i, \quad (10.12)$$

Після перетворень отримуємо вираження для визначення коефіцієнту поліному:

$$a_i = \frac{2(Z_{2i-1} + Z_{2i})}{(\max X_i - \min X_i)^2}; \quad (10.13)$$

$$b_i = \frac{1}{\max X_i - \min X_i} \left( (Z_{2i-1} - Z_{2i}) - 2(Z_{2i-1} + Z_{2i}) \frac{\max X_i + \min X_i}{\max X_i - \min X_i} \right); \quad (10.14)$$

$$C_i = 0.5 \frac{\max X_i + \min X_i}{\max X_i - \min X_i} \left( \frac{(Z_{2i-1} + Z_{2i})(\max X_i + \min X_i)}{\max X_i - \min X_i} - (Z_{2i-1} - Z_{2i}) \right), \quad (10.15)$$

Задаючись припустимою погрішністю  $\xi$ , з полінома виключали члени, змінні яких відповідали коефіцієнтам рівняння (10.12), меншим по абсолютній величині прийнятої погрішності. Внесок кожного фактора оцінювали також по вираженню (10.12). Перевірку відповідності математичних моделей досліджених даних проводили по F-критерію [68]. Для того, щоб прийняти гіпотезу про адекватність, обчислене значення критерію повинне бути менше табличного  $F_{\tau}(q, f_1, f_2)$  при рівні значимості  $q$ , і числі ступенів свободи  $f_1, f_2$ . Оптимальне значення функції відгуку визначали крапкою, координати якої ухвалюють екстремальне значення у відповідності зі знаками часток похідних:

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} = 2a_i x_i + b_i; \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x_i^2} = -2a_i \quad (10.16)$$

При необхідності збільшення вихідного параметра максимальні значення надавали координатам, по яких частки похідні позитивні й мінімальне значення координатам, по яких вони негативні, для зменшення вихідного параметра, навпаки.

Екстремальні крапки визначали з умови рівності нулю часток похідних

$$x_i = -\frac{b_i}{2a_i} \quad (10.17)$$

$$S'(y_j) = \sqrt{\frac{(N-1)S_1^2(y_j) + S_2^2(y_j)}{(N_1-1) + (N_2-1)}} \quad (10.18)$$

При прийнятій довірчій імовірності  $P$  і числі ступенів свободи  $f = N_1 + N_2 - 2$  визначали табличне значення й порівнювали з розрахунковим  $t_p$ . Якщо  $t_p \geq t_{\tau}$  то розбіжність середніх значень  $y'_1, y'_2$  уважалася значимим, у противному стані - випадковим (незначущим).

Для визначення відповідності дослідницьких і розрахункових значень функцій при їхній апроксимації обчислювали відносну середньоквадратичну

погрішність

$$\Delta = \frac{S(\Delta y)}{y'} \quad (10.19)$$

де  $S(\Delta y)$  - середньоквадратичне відхилення дослідницьких і розрахункових значень;

$y'$  - середнє значення досліджуваного параметра.

Апроксимацію вважали достовірною, якщо яєличина  $\Delta$  не перебільшувала 10 %. Дослідження виконані в роботі дозволили зазначити, що стрижні кукурудзи містять значну, кількість цукрів і встановлена висока перетворюваність речовин, що входять у їх склад. Складова для клітковини 60 %, безазотистих екстрактивних речовин - 54 %, жиру - 34%, що підтверджує доцільність їх використання при виробництві кормів. Отримані дані по гранулометричному складу вихідних стрижнів, характеризуємых довжиною , діаметром,) насипною щільністю, що дозволило вибрати геометричні параметри робочої зони й органів зубчастої дробарки для попереднього подрібнення стрижнів.

Визначені чисельні значення меж міцності на зріз стрижнів кукурудзи різної вологості, піддавшихся зберіганню й встановлене, що при  $W = 14$  % їх значення перевищують відповідні величини для качанів кукурудзи вологістю 35...45 %. Визначені раціональні значення параметрів ломача кукурудзи, характеризуємі радіальним зазором між дисками і швидкістю повільно обертаючого диска, при яких досягається необхідна довжина дріблених стрижнів при незначних енерговитратах на процес. Отримано математичні моделі, встановлюючи залежність показників ефективності процесу здрібнювання дріблених стрижнів у дисковій машині від вхідних факторів і встановлено раціональний режим здрібнювання. Встановлено, що при вибраних режимах дискової машини гранулометричний склад здрібнених стрижнів відповідає зоотехнічним вимогам до кормів, тому що 50 % часток мають розмір менш 2,5 мм і 99 % - менш 5,0 мм. Доведена раціональність використання двоступінчастого процесу здрібнювання стрижнів кукурудзи

із застосуванням розробленої конструкції подрібнювача, при яким досягається потрібний рівень розміру часток, а підсумкові енерговитрати не перевищували 5 кВт.ч. Встановлена адекватність реальному процесу отриманих аналітичних рівнянь для розрахунків продуктивності й потужності дискового подрібнювача. Для дріблених стрижнів і крупки встановлені закономірності зміни кутів природнього укусу і зовнішнього тертя від вологості, коефіцієнтів опору внутрішньому й зовнішньому зрушенню від вологості й навантаження, дані рекомендації з вибору їх значень для практичних розрахунків і отримані відповідні емпіричні вираження. Визначені закономірності змін модуля пружності, коефіцієнтів Пуассона, і напруги при вар'юємих значеннях. Визначені швидкість витання і коефіцієнти віднесення часток крупки різного гранулометричного складу зі стрижнів кукурудзи при вар'юємої вологості й дані рекомендації з вибору при розрахунках пневмотранспорту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зубець М.В., Тивончук С.О. Розвиток інноваційних процесів в агропромисловому виробництві. К.: Аграрна наука, 2004. 189 с.
2. Богданов Г.А. Кормление сельскохозяйственных животных. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1990. 624 с.
3. Алешина Е. Кормовая индустрия. Комбикормовая промышленность. No 1.1991. С. 38 –40.
4. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль, 2001. 975 с.
5. Мороз Н.М., Липатников В.Ф. Экономическая эффективность различных типов кормления свиней. Зоотехния. No 4. 1997. С. 21–24.
6. Гилл К. Структура промышленного производства кормов в мире. Комбикорма. No 8. 2004. С. 23–25.
7. Получение кормов на основе биоконверсии отходов комбикорма. No 8. 2004. 40 с.
8. Борщевский П., Князев С. Особенности развития кормопроизводства на Украине. Комбикорма. No 4. 2001. С. 8–9.
9. Афанасьев В.А., Ульченко Р.А. Особенности развития комбикормовой промышленности США. Обзор. инф. М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, 1990. 36 с.
10. Коробко В.Н. Тенденция производства комбикормов за рубежом. Хранение и переработка зерна. No 11. 2002. С. 45–46.
11. Методические рекомендации по реконструкции и техническому переоснащению животноводческих ферм. М.: ФГНУ "Росинформ-агротехник", 2000. 223 с.
12. Столяров Г. Сбалансированные комбикорма - залог высокопродуктивного животноводства. Комбикорма. No 8. 2004. С. 41–42.
13. Дмитроченко А.П., Пшеничный П.Д. Кормление сельскохозяйственных животных. Ленинград: Колос, 1975. 480 с.

14. Боярский Л.Г. Производство и использование кормов. 200М.: Россельхозиздат, 1988. 222 с.
15. Лазаревич А.П., Лазаревич А.А. Эффективная система кормления животных с элементами технологического обеспечения в экстремальных условиях производства. К.: Аграрная наука, 2004. 192 с.
16. Державна служба статистики України. Тваринництво України. Стат. зб.К., 2017. 258 с.
17. Королев М.И. Механизация приготовления комбикормов в колхозах и совхозах. Аналит. обзор. Новая техника и ее использование. М.: Информагротех, 1991. 33 с.
18. Садов В.В. Производство комбикормов в хозяйственных условиях. Учеб. пособ. Барнаул: АГАУ, 2009. 96 с.
19. Ревенко І.І. Основи ресурсозбереження у кормовиробництві та кормоприготуванні. Науковий вісник НАУ. Зб. наук. праць. К., 1997. Вип. 1. С. 127–133.
20. Хіміч В.В., Побережна А.А. Ефективність використання зернофуражу в складі комбікормів. Сучасні проблеми виробництва і використання кормового зерна і сої. Вінниця, 1993. С. 54–61.
21. Ноздрін М.Т., Карпусь М.М., Каравашенко В.Ф. Деталізовані норми годівлі сільськогосподарських тварин. К.: Урожай, 1991. 344 с.
22. Беляевский Ю.И., Сазонова Т.Н. Кормосмеси и кормовые добавки в молочном животноводстве. М.: Россельхозиздат, 1981. 205 с.
23. Козырь В.С. Курс лекций по технологии производства продуктов животноводства. Днепропетровск, 2004. 168 с.
24. Руденко Є.В. Параметри та нормативи організації виробництва молока, яловичини, свинини, вовни та баранини на фермах із різним поголів'ям тварин. Харків, 2005. 61 с.
25. Максаков В.Я., Булгаков В.Є. Рациональное использование концентрированных кормов. К.: Урожай, 1985. 70 с.



26. Кулик М.Ф., Бабійчук М.В., Хіміч В.В. Рациональное использование зерна у годівлі сільськогосподарських тварин. К.: Урожай, 1988. 86 с.201
27. Тришин А.К. Энергосберегающая технология производства молока. Харьков:Прапор, 1997. 190 с.
28. Зимнович И.А. Совершенствование кормовой базы для интенсивного производства молока. Достижения науки и техники АПК.№ 2. 1990. С. 11–13.
29. Максаков В.Я., Булгаков В.С. Рациональное использование концентрированных кормов. К.: Урожай, 1985. 70 с.
30. Петрухин И.В. Корма и кормовые добавки. М.:Россельхозиздат, 1989. 526 с.
31. Соколов В., Деренжи П.В. Рапс в комбикормах для КРС. Комбикормовая промышленность.№ 1. 1995. С. 10 –11.
32. Параметри та нормативи організації виробництва молока, яловичини, свинини, вовни та баранини на фермах із різним поголів'ям тварин. Наук. практ. посіб. Харків, 2005. 70 с.
33. Гугля В.Г., Бычков А.И.Выращивание коров при пониженном уровне в рационах концентратов. Зоотехния.№2. 1995. С. 13–14.
34. Логинов С.В., Баяров Л.И. Откорм бычков на малоконцентратных рационах при использовании кормовой и сахарной свеклы.ТрудыКубанского гос.аграр.университета.№336. М,1994. С. 12–16.
35. Шаршинков В.А., Почков Н.А., Пономаренко Ю.А. Комбикорма и кормовые добавки. Минск, 2002. 447 с.
- 36.Получение кормов на основе биоконверсии отходов комбикорма. №8.2004. 40с.
37. Мороз Н.М., Липатников В.Ф. Экономическая эффективность различных типов кормления свиней. №4. Зоотехния.1997. С. 21–24.
38. Правила організації і ведення технологічного процесу виробництва комбікормової продукції. М-во АПК України.К.: ВІПОЛ, 1998. 220 с.

39. Миончинский П.Н., Кожарова Л.С. Производство комбикормов. М.: Агропромиздат, 1991. 200 с.
40. Роюк М. Галузь свинарства Королівства Данії. Тваринництво України. №1. 2000. С.1–2.202
41. Сыроватка В.И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах. М.: ГНУ ВНИИМЖ, 2010. 248 с.
42. Дмитрів В.Т. Машиновикористання у тваринництві. Курс лекцій. Львів: ЛДАУ, 2002. 202 с.
43. Заврожанов А.И., Николаев Д.И. Механизация приготовления и хранения кормов. М.: ВО «Агропромиздат», 1994. 336 с.
44. Короп А.И. Евсеев И.И., Генкин Г.С. Производство комбикормов и кормовых смесей в хозяйствах. М.: Колос, 1987. 220 с.
45. Передня В.И. Механизация приготовления кормосмесей. Минск: Урожай, 1982. 86 с.
46. Шпаков А.П., Садовский М.Ф. Приготовление и использование кормовых смесей и комбикормов в хозяйствах. Минск: Урожай, 1988. 216 с.
47. Афанасьев В.А. Системный анализ технологических процессов комбикормового производства. Воронеж. гос. уни-т. Воронеж, 1999. 112 с.
48. Афанасьев В.А. Руководство по технологии комбикормов, белково-витаминно-минеральных концентратов и премиксов. Т. 1. Воронеж: ВНИИКП, 2008. 121 с.
49. Афанасьев В.А. Руководство по технологии комбикормов, белкововитаминно-минеральных концентратов и премиксов. Т. 2. Воронеж: ВНИИКП, 2008. 149 с.
50. Афанасьев В.А. Руководство по технологии комбикормовой промышленности с основами кормления животных. Воронеж: ВНИИКП, 2007. 389 с.
51. Брагинець Н.В., Вольвак С.Ф., Лангазов В.В. К обоснованию значимости дозирования кормов. Збірник наукових праць Луганського нац. аграр. університету. № 17. Луганськ: ЛНАУ, 2002. С. 29–33.

52. Бойко И.Г., Науменко А.А. Интенсификация процесса смешивания сыпучих кормов. Экология и сельскохозяйственная техника: материалы 5-й междунауч.-практ. конф. Т.3. Санкт-Петербург, 2007. С. 46–4.
53. Аналіз конструкцій дозаторів сипучих кормів безперервної дії і основні напрямки їх удосконалення / І.Г. Бойко, О.П. Скорик, О.М. Русалев, Т.Г. Щур. Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Харків, 2004. Вип. 29. С. 347–350.
54. Бойко И.Г. Теоретические исследования равновесия и движения сыпучей среды в бункере с кольцевым выпускным отверстием. Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. пр. Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. Дніпропетровськ, 2008. Вип. 75. С. 167–176.
55. Математическая модель движения сыпучего материала в бункере с кольцевым отверстием. И.Г. Бойко, О.М. Русалев, О.П. Скорик и др. Вдосконалення технології та обладнання виробництва продукції тваринництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Харків, 2006. Вип. 48. С. 6–12.
56. Обоснование конструктивно-технологической схемы решётного дозатора сыпучих концентрированных кормов. И.Г. Бойко, О.М. Русалев, О.П. Скорик и др. Вдосконалення технології та обладнання виробництва продукції тваринництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Харків, 2009. Вип. 78. С. 236–242.
57. Василенко П.М., Василенко Й.И. Механизация и автоматизация процессов приготовления и дозирования кормов. ВАСХНИЛ. Акад. с-х. наук. М.: Агропромиздат, 1985. 224 с.
58. Коба В.Г., Брагинцев Н.В., Мурусидзе Д.Н. Механизация и технология производства продукции животноводства. М.: Колос, 1999. 528 с.
59. Брагинцев Н.В., Вольвак С.Ф., Лангазов В.В. Выбор дозатора концентрированных кормов для малых ферм. Збірник наукових праць

- Луганського нац. аграр. університету. № 31 (43). Луганськ: ЛНАУ, 2003. С. 65–69.
60. Демидов П.Г. Технология комбикормового производства. М.: Колос, 1968. 224 с.
61. Демский А.Б., Веденъев В.Ф. Совершенствование комбикормового оборудования промышленных предприятий. М.: Колос, 1982. 127 с.
62. Дударев І.І. Подрібнення стрижнів кукурудзяних початків / Дударев І.І. // Аграрний вісник Причорномор'я. Збірник наукових праць. Технічні науки.- 2. Одеса: 2015 Вип. 78. -С . 164-169.
63. Дударев І.І. Кормова база та відгодівля тварин / Дударев І.І. // Аграрний вісник Причорномор'я. Збірник наукових праць. Технічні науки.- Одеса: 2012 Вип. 63.3.
64. Жислин Я.М. Оборудование для производства комбикормов, обогатительных смесей и премиксов. 2-е изд., доп. и перерос. М.: Колос, 1981. 319 с.
65. Завражнов А.И., Николаев Д.И., Механизация приготовления и хранения кормов. М.: Агропромиздат, 1990. 336 с.
66. Кукта Г.М., Голосов А.И. Оптимальная продолжительность смешивания компонентов комбикормов. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. № 11. 1971. С. 12–14.
67. Кукта Г.М., Гуленко В.П. Вероятностные характеристики процесса смешивания кормов. Механизация и электрификация сельского хозяйства. К.: Урожай, 1984. Вып. 59. С. 12–16.
68. Кукта Г.М., Колесник А.Л., Кукта С.Г. Механизация и автоматизация животноводства. К.: Выща шк., 1990. 335 с.
69. Кукта Г.М., Финкельштейн А.Ш. Комбикормовые заводы и кормоцехи. К.: Урожай, 1972. 72 с.
70. Ревенко І.І., Кукта Г.М., Манько В.М. Механізація виробництва продукції тваринництва. К.: Урожай, 1994. 264 с

71. Борискин М.А., Демский А.Б., Тамаров Е.В. Оборудование комбикормовых заводов. Справочник. М.: Агропромиздат, 1986. 175 с.
72. Кормановский Л.П. Механизация животноводства и кормопроизводства на малой ферме. М.: Агропромиздат, 1989. 207 с.
73. Королев М.И. Механизация приготовления комбикормов в колхозах и совхозах. Обзор. информ. М.: Информагротех, 1991. 34 с.
74. Кошелев А.Н., Глебов Л.А. Производство комбикормов и кормовых смесей. М.: Агропромиздат, 1986. 176 с.
75. Короп А.И., Евсеев Н.К., Генкин Г.С. Производство комбикормов и кормовых смесей в хозяйствах. М.: Колос, 1972. 215 с.
76. Коробко Н.И., Коробко А.Н., Мороз А.А. Виробництво комбикормів на міжгосподарських і господарських комбикормових заводах. К.: Урожай, 1975. 120 с. 205
77. Кошелев А.Н., Глебов Л.А. Производство комбикормов и кормовых смесей. М.: Агропромиздат, 1986. 176 с.
78. Куцин Л.М. Механико-технические основы создания транспортирующих, дозирующих и смешивающих устройств для приготовления кормов на животноводческих фермах: автореф. дис... докт. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1982. 38 с.
79. Мельников С.В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов. Ленинград: Агропромиздат, 1985. 640 с.
80. Пахомов В.И., Смоленский А.В., Ястребов А.В. Современный комбикормовый комплекс для хозяйств. Комбикормовая промышленность. No 3. 1996. С. 23–24.
81. Производство комбикормов в малогабаритных цехах. Комбикормовая промышленность. No 1. 1988. С. 16–18.
82. Кукта Г.М. Технологические и технические основы механизированных процессов приготовления кормов в условиях интенсификации животноводства: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.20.01.К., 1978. 53 с.

83. Новая система организации и технические средства для приготовления комбикормов. Харьков: УААН Ин-т животноводства, 2009. 19 с.
84. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. М.: Агропромиздат, 1987. 303 с.
85. Раскатова Е.А. Анализ физических основ процесса смешения на основании общей схемы явления академика В.Н. Горячкина. Земледельческая механика: сб. тр. Т. VII. М.: Машиностроение, 1967. С. 286–293.
86. Ревенко Ю.І., Пилипенко О.М., Чибис С.М. Оцінка якості сумісного подрібнення і змішування компонентів комбикормів молотковою дробаркою. Зб. наук. пр. Нац. аграр. універ-ту «Механізація сільськогосподарського виробництва» Т. IX. К.: НАУ, 2000. С. 172–177.
87. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дмитрів Д.В. Моделювання роботи малогабаритного лопатково-гвинтового змішувача. Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. Луцьк: ЛДТУ, 2000. Вип. 6. С. 129–135.
- 206
88. Рогатинський Р.М., Капаціла Ю.Б., Дмитрів Д.В. Змішувач комбикормів. Зб. наук. пр. Нац. аграр. універ-ту. «Механізація сільськогосподарського виробництва». К.: НАУ, 2000. Т. 7. С. 156–159.
89. Сыроватка В.И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах. М.: ГНУ ВНИИМЖ, 2010. 248 с.
90. Сыроватка В.И., Карташов С.Г. Производство комбикормов в хозяйствах. М.: Росагропромиздат, 1991. 39 с.
89. Сыроватка В.И., Морозов Н.М., Цой Л.М. Модель задачи многокритериального выбора технологий и технических средств приготовления комбикормов в хозяйствах. М.: ГНУ ВНИИМЖ, 2004. С. 108–116.
91. Сыроватка В.И., Теплицкий В.Г., Карташов С.Г. Применение ЭВМ при оптимизации технологических линий в животноводстве. М.: Агропроиздат, 1988. 72 с.

92. Сыроватка В.И. Научно-технические основы и методы технологического расчета производственных линий приготовления комбикормов в колхозах и совхозах: автореф. дис. докт. техн. наук. М.: 1976. 27 с.
93. Черкун В.Я. К выбору критерия оценки точности дозирования. Научн.-техн. бюл. по мех. и электриф. животноводства. Запорожье: ЦНИПТИМЭЖ, 1976. Вып. 5. С. 45–51.
94. Теорія та розрахунок машин для тваринництва/ В.Б. Шабельник, В.М. Троянов, В.І. Бойко, В.О. Нанка, В.А. Дзюба, В.В. Грідасов, В.О. Скорик. Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 1998.
95. Шаферман М.И. Дозирование и смешивание ингредиентов комбикормов. М.: Колос, 1976. 78 с.
96. Шацкий В.В., Артюшин А.А. Оптимизация объема бункеров дозаторов кормов. Мех. электр. с. х. №8. 1982. С. 19–22.
97. Миончинский П.Н., Кожарова Л.С. Производство комбикормов. М.: Колос, 1981. 200 с.
- 207
98. Кормановский Л.П., Пахомов В.И. Создание внутрихозяйственных комплексов и опыт их применения. Комбикорма. № 4. 1999. С. 1516.
99. Лыткина Л.И., Шевцов А.А. Повышение эффективности приготовления комбикормов. Международный сб. науч. тр. «Проблемы пищевой инженерии и ресурсосбережения в современных условиях». СПб.: СПбГУ НТ и ПТ, 2004. С. 107–114.
100. Механизация приготовления комбикормов в фермерских и коллективных хозяйствах/ С.Н. Васильев, В.И. Земсков, С.В. Золотарев, И.Я. Федоренко. Учеб. пособ. Барнаул: АГАУ, 1997. 70 с.
101. Черкун В.Я. Исследование технологического процесса приготовления полнорационных кормосмесей КРС: автореферат дис. канд. тех. наук. Саратов, 1976. 207 с.
102. Кармановский Л.П. Механизация животноводства и кормопроизводства на малой ферме. М.: Агропромиздат, 1989. 207 с.

103. Повышение эффективности производства комбикормов/ А.А. Шевцов, А.Н. Остриков, Л.И. Лыткина, А.И. Сухарев. М.: ДеЛи Принт, 2005. 243 с.
104. Хозяйственные резервы приготовления комбикормов. Белорусское сельское хозяйство. №6. 2008. С.39–4045. Лінія по виробництву комбикормів та білково-вітамінно-мінеральних добавок (БВМД): пат. на корисну модель 38620 Україна: МПК А 23 N17/00. No u200809188; заявл. 14.07.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл. No1.
105. Ресурсозберігаюча лінія по виробництву комбикормів та білково-вітамінно-мінеральних добавок (БВМД): пат. на корисну модель 43375 Україна: 211МПК А 23 N 17/00. No u200903268; заявл. 06.04.2009; опубл. 10.08.2009, Бюл. No 15.
106. Jain N., Ottino J.M., Lueptow R.M. Effect of interstitial fluid on a granular flowing layers. J. Fluid Mech. Vol. 508. 2004. С. 23–44.
107. Керпунин М.Г., Кузьмин А.М., Шалденков С.В. Функционально-стоимостный анализ в инженерной деятельности. М.: Информэлитро, 1990. 77 с.
108. Пастухов В.І. Модель задачі прийняття рішень за декількома критеріями при застосуванні МТА. Сборник научных трудов: «Тракторная энергетика в растениеводстве». Вып. No 4. Харьков: ХГТУСХ, 2001. С. 52–60.
109. Теслюк В.М., Загарюк Р.В. Методи багатокритеріальної оптимізації. Львів, 2012. 64 с.
110. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений. Уч. пособ. М.: издат. отдел ф-та ВМиК МГУ, МАКС Пресс, 2008. 197 с.
111. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2000. 257с.
112. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982. 329 с.
113. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981. 249 с.



114. Подиновский В.В., Гаврилов В.М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. М.: Сов. радио, 1975. 427 с.
115. Компьютер и поиск компромисса. Метод достижимых целей. А.В. Лотов, В.А. Бушенков, Г.К. Каменев, О.Л. Черных. М.: Наука, 1997. 293 с.
116. Таха Х. Введение в исследование операций. В 2-х кн. Кн. 1. М.: Мир, 1985. 479 с.
117. Таха Х. Введение в исследование операций. В 2-х кн. Кн. 2. М.: Мир, 1985. 496 с.
118. Теслиук В.М., Андрійчук М.І. Конспект лекцій з курсу «Методи синтезу та оптимізації» для студентів базового напрямку. Комп'ютерні науки. Ч. 1. Львів, 2005. 64 с.
119. Теслиук В.М. Моделі та інформаційні технології синтезу мікроелектромеханічних систем. Монографія. Львів: ПП «Вежа і Ко», 2008. 192 с.
120. Нагірний Ю.П. Обґрунтування інженерних рішень. К.: Урожай, 1994. 216 с.
121. Романов П.Г., Курочкина М.И., Смирнов М.Н. Процессы и аппараты химической промышленности. М., 1989. 559 с.
122. Марон Ф.П., Кузьмин А.В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. Минск, 1977. 271 с.
123. Ричард И. Факторы, влияющие на производительность и эффективность размола зерна на молотковой дробилке: сельское хозяйство за рубежом. No 1. 1962. С. 72–77.
124. Henderson S.M. Feed grinding studies. Agricultural Endin. Vol. 42. No 7. 1962. P. 34–37.
125. O'Callaghan J.E., O'Hagen M.E., Rice B.E. Perfomance of hammer mills. Agr. Eng. Research. Vol. 8. No 1. 1963. P. 94–106.
126. Шуб Г.И. Исследование технологического процесса измельчения сырья комбикормового производства на молотковой мельнице: автореф. дис. канд. тех. наук. М., 1966. 30 с.

127. Прощак В.М. Исследование и обоснование работоспособности и основных параметров высокоскоростных молотковых кормодробилок: автореф. дис. канд. тех. наук.Орджоникидзе, 1968. 17 с.
128. Ревенко И.И. К определению массы молотка молотковой дробилки. Исследование по механизации и электрификации сельского хозяйства.К.: Урожай, 1968. С. 205–211.
- 129.Петров Г.В. Экспериментально-теоретическое исследование рабочих процессов молотковых дробилок: автореф. дис. канд. тех. наук.Ростов-на-Дону, 1970. 19 с.
130. Ревенко І.І. Дослідження вентиляційних властивостей ротора молоткової дробарки. Мех. і електр. сільського господарства. К.: Урожай. 1970. 213Вип. 16. С. 58–66.
131. Ревенко І.І. До вибору раціональної схеми молоткової кормодробарки. Вісник сільськогосподарської науки.Но 4. 1971. С. 22–25.
132. Ревенко И.И. О влиянии скорости молотков на эффективность процесса измельчения кормовых материалов. Тракторы и сельхозмашины.Но 3. 1971. С. 31–33.
- 133.Яворський А.А., Клименко М.І., Скороход І.М. Підвищення ефективності молоткової дробарки. Механізація і електрифікація сільського господарства. К.: Урожай, 1973. Вип. 24. С. 103–106.
- 134.Ревенко І.І. Обґрунтування раціонального способу подачі перероблюваного матеріалу в дробильну камеру. Механізація і електрифікація сільського господарства.К.: Урожай, 1973. Вип. 24. С. 106–114.
135. Федоренко И.Я., Садов В.В., Шагдыров И.Б. Теоретические основы оптимизации гранулометрического состава дерти, образуемой при измельчении фуражного зерна. Ползуновский вестник.Но 2/2. 2012. С. 299–233.

136. Ревенко І.І. Технологічний ефект і обґрунтування якісних показників подрібнених кормів. Вісник сільськогосподарської науки. № 12. 1976. С. 76–80.
137. Ломов В.И. Экспериментальное исследование молотковой дробилки для измельчения зернового корма. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. зерноград, 1976. Вып. 25. С. 101–108.
138. Ревенко И.И. О повышении качества работы молотковых дробилок. Механизация и электрификация сельского хозяйства. № 8. 1980. С. 18–21.
139. Ревенко И.И. Определение севкости решета молотковой кормодробилки. Механизация и электрификация сельского хозяйства. № 11. 1981. С. 53–54.
140. Ревенко І.І. Шляхи підвищення рівномірності подрібнення кормів молотковими дробарками. Вісник с.-г. науки. № 1. 1982. С. 42–45.
141. Ревенко І.І. Раціональні конструктивно-технологічні ознаки молоткових подрібнювачів кормів. Вісник с.-г. науки. № 12. 1982. С. 46–49.
142. Ревенко И.И. Анализ движения частиц в камере молотковой дробилки, условий загрузки сырья и отвода продукта. Механизация и электрификация сельского хозяйства. К.: Урожай, 1984. Вып. 60. С. 69–74.
143. Ревенко И.И., Добровольский Е.А., Котречко А.А. Конструктивно-технологические факторы повышения эффективности и долговечности кормодробилок. Совершенствование зональных систем машин и пути повышения производительности труда в сельском хозяйстве: Материалы республиканской научно-технической конференции. К., 1984. С. 60–62.
144. Ревенко И.И. Комплексная энергетическая оценка процессов и средств измельчения кормов. Доклады ВАСХНИЛ № 6. 1988. С. 39–40.
145. Ревенко И.И. Совершенствование конструкции и повышение эффективности работы молотковой дробилки ДКМ-5. Проблемы комплексной механизации и автоматизации приготовления и раздачи кормов животным: Материалы Всесоюзной научно-технической конференции. К., 1988. 42 с.

146. Ревенко И.И. Системный анализ факторов, определяющих процесс измельчения кормов молотковыми дробилками. Современные проблемы земледельческой механики: Материалы Всесоюзной научно-технической конференции. Мелитополь, 1989. С. 28–29.
147. Ревенко Ю.І., Пилипенко О.М., Чибис С.М. Оцінка якості сумісного подрібнення і змішування компонентів комбікормів молотковою дробаркою. Зб. наук. пр. НАУ: механізація сільськогосподарського виробництва. К.: НАУ, 2000. Т. IX. С. 173–176.
148. Піскун В.І., Яценко Ю.В. Обґрунтування вибору дробарок лінії виробництва комбікормів в умовах господарства. Вісник Полтавської державної аграрної академії. № 4. Полтава, 2010. С. 168 –171.
149. Сторожук Л.О. Розвиток технологій підготовки зерна до згодовування тваринам. Зб. наук. пр. Східноукраїнського національного університету. 2006. Вип. 11. С. 15–21.
150. Артюшин А.А., Пульчев И.К. Исследование объемных дозаторов сыпучих кормов. Механизация и электрификация сельского хозяйства: Респуб. межвед. темат. науч.-техн. сб. К.: Урожай, 1975. Вып. 33. С. 84–90. 215
151. Сыроватка В.И., Тейбе Г.С. Обоснование выбора дозирующих средств для автоматизированных поточных линий приготовления комбикормов. Труды. ВИЭСХ, 1976. Т. 38. С. 19–28.
152. Куцын Л.М. Механико-технические основы создания транспортирующих, дозирующих и смешивающих устройств для приготовления кормов на животноводческих фермах: автореф. дис. докт. техн. наук. 1982. 38 с.
153. Леонтьев П.И., Земсков В.И., Потемкин В.М. Технологическое оборудование кормоцехов. М.: Колос, 1984. 157 с.
196. Орлов С.П. Дозирующие устройства. М.: Машиностроение, 1986. 288 с.
154. Сабиев У.К. Разработка и обоснование параметров вибрационного дозатора сыпучих кормов: дис. канд. техн. наук. Челябинск, 1989. 206 с.

155. Ревенко І.І., Кукта Г.М., Манько В.М. Механізація виробництва продукції тваринництва. К.: Урожай, 1994. 264 с.
156. Ревенко І.І., Манько В.М., Кравчук В.І. Машиновикористання у тваринництві. К.: Урожай, 1999. 208 с.
157. Деренжи П.В. Технологические и технические решения по приготовлению качественных комбикормов. Кормопроизводство. № 9. 2005. С. 29–32. 201
158. ДСТУ 3218-95 Машини сільськогосподарські. Дробарки. Методи випробувань.
159. ДСТУ OIMLR61 –1 : 2008 Дозатори дискретної дії вагові автоматичні. Ч. 1. Загальні технічні вимоги та методи випробування (OIMLR61 –1 : 2004, IDT).
160. ГСТУ 46-012—2000. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки техники для животноводства. К., 2000. 17 с. 219
161. Яценко Ю.В. Окремі фізико-механічні властивості комбікормів та їх вихідних інгредієнтів. Вісник полтавської аграрної академії. № 1. Полтава, 2012. С. 191–195.
162. Ресурсозберігаюча технологія виробництва комбікормів та БВМД в умовах господарства / В.І. Піскун, Ю.В. Яценко, Л.І. Яценко, Н.В. Піскун. Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Харків, 2009. Вип. 79. С. 310–316.
163. Технологія виробництва комбікормів та БВМД в умовах господарства / В.І. Піскун, Ю.В. Яценко, Л.І. Яценко, Н.В. Піскун. Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Харків, 2010. Вип. 95. С. 106–110.
164. Піскун В.І., Яценко Ю.В. Обґрунтування параметрів удосконаленого змішувача інгредієнтів комбікормів. Технічні системи і технології

тваринництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Харків, 2014. Вип. 144. С. 51–54.

165. Піскун В.І., Яценко Ю.В. Апробація ресурсозберігаючої технології виробництва комбікормів та БВМД в умовах господарства. Вісник Харківського національного технічного університету «ХПІ». Харків, 2010. Вип. 57. С. 22–25.

166. Піскун В.І., Яценко Ю.В. Обґрунтування ресурсо-збережень при подрібненні інгредієнтів комбікормів в умовах господарства. Східно-європейський журнал передових технологій. Харків, 2010. Вип. 6/7 (48). С. 67–70.

167. Піскун В.І., Яценко Ю.В. Виробництво комбікормів та БВМД в умовах господарства. Сільськогосподарські та біологічні науки: Аграрний вісник Причорномор'я. Одеса, 2011. Вип. 58. С. 64–67.

168. Піскун В.І., Яценко Ю.В. Ресурсоощадна технологія виробництва комбікормів та білково-мінеральних вітамінних добавок у господарствах: аграрна наука – виробництву. Науково – інформаційний бюлетень завершених наукових розробок. К., 2013. Вип. 3' 13. 26 с.

169. Лінія по виробництву білково-вітамінно-мінеральних добавок (БВМД) та комбікормів: пат. 77422 Україна: А23N17/00. No u2004010302; заявл. 15.01.04; опубл. 15.12.2006, Бюл. No 12.

170. Піскун В.І., Яценко Ю.В. Ефективність технології виробництва комбікормів та БВМД в умовах господарства. Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Харків, 2016. Вип. 170. С. 67–71

<https://www.ag.ndsu.edu/publications/livestock/feeding-corn-to-beef-cattle>

<https://latifundist.com/analytics/>

<http://library.nuft.edu.ua/ebook/file/06.02.02>

<http://dspace.hnpu.edu.ua/bitstream/123456789/804/1/>

<https://www.agronom.co.ua/>

<http://agro-semena.com/nasinnya/>

<http://worldgonesour.ru/kombikorma/2171-stabilizaciya-komponentov-kombikormov.html>

<https://www.richimachinery.com/customer-guide/influencing-factors-of-crushing-effect-of-electric-grain-corn-animal-feed-hammer-mill-grinder>

[http://www.ait.org.ua/p/pub\\_podhod.html](http://www.ait.org.ua/p/pub_podhod.html)

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
Розділ 1.Світове виробництво кукурудзи.....	5
1.1.Сучасний стан розвитку культури.....	5
1.2. Загальна характеристика та будова компонентів кукурудзи.....	11
1.3 Хімічний склад кукурудзи.....	12
Розділ2. Сучасні дослідження, досвід, та умови ефективного використання стрижнів кукурудзи.....	20
2.1.Використання стрижнів кукурудзи при виробництві кормів.....	20
2.2. Підготовка сировини та принципи заготовок ЗСС.....	21
Розділ 3. Обґрунтування принципів процесу подрібнювання.....	27
3.1. Загальна характеристика устаткування для здрібнювання стрижнів, зерно-стрижневої суміші й качанів кукурудзи.....	27
3.2.Огляд машин для обробки сировини.....	28
3.3. Обґрунтування раціонального процесу й принципу дії машини для тонкого здрібнювання стрижнів.....	36
Розділ 4. Обґрунтування параметрів дискового подрібнювача.....	39
4.1. Функціональна й параметрична схеми процесу здрібнювання.....	39
4.2.Вибір геометричних параметрів робочих органів визначення продуктивності й потужності дискового подрібнювача.....	41
Розділ 5. Основи методологічного аналізу процесу подрібнення.....	52
5.1.Параметри досліджень.....	52
5.2. Конструктивні особливості дискового обладнання.....	54
5.3. Методика для оцінки фізико-механічних властивостей стрижнів і крупки.....	60
Розділ 6. Устаткування вля визначення фізико-механічних показників сировини.....	65
6.1. Визначення кутів похилу сировини.....	65
6.2. Визначення змін часток внаслідок деформацій.....	71
6.3. Характеристика аеродинамічних властивостей.....	72



Розділ 7. Визначення параметрів раціональної експлуатації подрібнювача.....	75
7.1. Основні кількісно-якісні характеристики вихідної сировини.....	75
7.2 Вибір раціональної конструкції подрібнювача.....	81
Розділ 8. Обґрунтування процесу здрібнювання.....	89
8.1 Оцінка ефективності подрібнення.....	89
8.2 Фрикційні властивості стрижнів і крупки.....	98
Розділ 9. Деформативні властивості крупки.....	105
9.1. Стриктурно –механічні показники.....	105
9.2. Аеромеханічні властивості часток крупки.....	108
Розділ 10. Статистичний аналіз експериментальних даних.....	113
10.1.Методика статистичного аналізу, планування і обробки експериментальних даних.....	113
Література.....	119

**Ігор Іванович Дударев  
Сергій Михайлович Уминський  
Сергій Сергійович Житков**

**ОБГРУНТУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ДИСКОВОГО ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ**

Рецензенти:

В.П.Ларшин - д.т.н., професор Одеського національного полі-  
технічного університету;  
О.О.Якімов - д.т.н., професор Одеського національного полі-  
технічного університету;  
Є.В. Михайлов – д. т. н., професор кафедри «Машиновикорис-  
тання в землеробстві» Таврійського державного агротехноло-  
гічного університету.

Рекомендовано до друку вченою радою Одеського державного аграрного  
університету (протокол № 6 від 29 чевня 2021 р.).

Підписано до друку 24.02.2020 р.  
Авторських аркушів 10,9 Тираж 500 прим.

