

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ПАВЛУЩЕНКО ВЛАДИСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.927.3

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ МАШИНИ ДЛЯ
ПОДРІБНЕННЯ ПРОДУКТІВ ЗЕРНОВИХ
КУЛЬТУР**

208 “Агроінженерія”

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

_____ Павлущенко В.В.

Керівник роботи
Дерев'янку Д.А.
д.т.н., доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Павлущенко Владислав Володимирович. Обґрунтування конструкції машини для подрібнення продуктів зернових культур. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз та оцінка існуючих подрібнювальних машин зерна показав, що машини з ударними робочими органами та вальцьові машини не відповідають зоотехнічним вимогам, оскільки пилоподібні частинки (переподрібнені частинки розміром менше 0,2 мм) у кормі досягають до 15%, які негативно впливають на травлення тварин і утруднюють проведені наступні операції (змішування, гранулювання).

Недоліком жорнових млинів є те, що в процесі подрібнення зерна відбуватиметься велике виділення тепла та вологи, що утворюються клейстером, в результаті знижується якість продукту та продуктивність машини.

Вивчено передовий досвід при конструюванні машин даного типу та обґрунтування вибору багатофункціональної, малогабаритонної конструкції машини.

Для дослідження аеродинаміки робочого органу жорнового міні-млина були створені 3D моделі за допомогою програмного комплексу Solidworks. Як об'єкт моделювання повітряного потоку всередині робочого органу було обрано інтегрований розрахунковий модуль Solidworks Flow Simulation який призначений для вирішення задач гідро газодинаміки.

Ключові слова: млин, робочий орган, подрібнення, конструкція, зернові культури.

ANNOTATION

Pavlushchenko Vladyslav Volodymyrovych. Justification of the design of a machine for grinding grain products. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the qualification work, the analysis and evaluation of existing grain grinding machines showed that machines with impact working bodies and roller machines do not meet zootechnical requirements, as dust particles (over-grinded particles less than 0.2 mm in size) in the feed reach up to 15%, which negatively affect animal digestion and make subsequent operations (mixing, granulation) more difficult.

The disadvantage of millstone mills is that during the grain grinding process, there is a large release of heat and moisture generated by the paste, which reduces product quality and machine performance.

The best practices in the design of this type of machine were studied and the choice of a multifunctional, small-sized machine design was justified.

To study the aerodynamics of the working body of the mini-grain mill, 3D models were created using the Solidworks software package. The integrated calculation module Solidworks Flow Simulation, which is designed to solve problems of hydro-gas dynamics, was chosen as an object of modelling the air flow inside the working body.

Keywords: mill, working body, grinding, design, grain crops.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. МАШИНИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ СИПУЧИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ.....	9
РОЗДІЛ 2. ВИБІР КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ЖОРНОВОГО МІНІ МЛИНА.....	20
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ АСПРАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ЖОРНОВОГО МЛИНА У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ SOLIDWORKS FLOW SIMULATION.....	34
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

ВСТУП

Актуальність дослідження. Одним із головних завдань підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва є докорінна зміна ставлення до переробки продукції сільського господарства із наданням їй нового імпульсу.

Харчова та переробна промисловість є пріоритетною галуззю агропромислового комплексу України. В обсязі промислового виробництва питома вага харчової та переробної галузі за підсумками 2021 року досягла 14,5 % 2022 року 12,8%.

Вирішальною умовою прискорення зростання темпів виробництва тваринницької продукції, підвищення її якості та зниження собівартості є кормова база – забезпечення тварин та птиці повноцінними кормами, збалансованими за поживністю відповідно до запланованої продуктивності.

При годівлі тварин важливе значення має раціональне використання концентрованих кормів, оскільки зерно одна із головних компонентів комбікорму та інших видів кормосумішей. Зерновий корм, подрібнений до певної крупності відповідно до зоотехнічних вимог, підвищує середньодобовий приріст живої маси на 25...28%. Тому подрібнення зернових кормів ведеться з метою доведення вихідного матеріалу до потрібних розмірів. При цьому прагнуть уникнути утворення переподрібнених частинок розміром менше 0,2 мм, що ускладнюють проведення наступних операцій (змішування, гранулювання), що негативно впливають на процес травлення тварин.

Молоткові дробарки не задовольняють зоотехнічних вимог, які мають високу металоенергоємність, малу продуктивність, низьку надійність у роботі, а вміст пилоподібної фракції в продукті, становить 10...15%.

У барабанних подрібнювачах дроблення відбувається внаслідок удару падаючих куль (стисненим ударом), які піднімаються на деяку висоту при обертанні корпусу подрібнювача, притискаючись до його стінки відцентровою

силою. Ці подрібнювачі широко застосовуються у будівництві для надтонкого подрібнення цементу та інших сполучних матеріалів.

Роторні дробарки мають масивні біло, жорстко закріплені на зовнішній поверхні ротора, що обертається навколо горизонтальної осі. Залежно від конструкції відбивних пристроїв процес подрібнення здійснюється або лише вільним ударом, або ще з наступним перетиранням об відбивні робочі органи. Тому перші подрібнювачі відносяться до інерційно - відбивної групи, другі – до інерційно - стиральної.

Вальцеві машини короткочасно впливають на вихідний продукт, який до руйнування піддається деформаціям стиснення та зсуву при порівняно невеликих окружних швидкостях (0,5... 14 м/сек) циліндричних валків (діаметром 200...500 мм), що обертаються назустріч один одному.

Вальцові млини дуже поширені і їх машини досить продуктивні, проте зараз ціна на ці машини дуже висока. Тому не всі господарства можуть купувати та експлуатувати їх не кажучи про фермерські та селянські господарства.

В умовах фермерських господарств для індивідуальної трудової діяльності механізованого мініміна використовуються для розмелювання смажених зернових на «талкан», дроблення корму для тварин, але при правильному регулюванні апаратів можна отримати борошно. Робочі органи складають два дискові камені, вони і подрібнюють продукт шляхом стиснення і зсуву. Дрібні диски виготовляються з природного каміння. Для ефективного подрібнення продукту, вони повинні володіти властивостями: твердості, для підвищення зносостійкості, і в'язкості - для запобігання прошиванню дрібних частинок і попадання їх у продукт розмелювання; а також шорсткою поверхнею, для підвищення фрикційного впливу на продукт по всій робочій поверхні, а потім міцністю – для забезпечення надійності при великих швидкостях обертання диска наявного штучного каміння, виготовленого зі складу, відповідного зазначеним вимогам, наприклад, з крем'яного або кварцового каменю.

Проведені нами дослідження щодо подрібнення зерна показали, що найбільш продуктивним і економічним є процес подрібнення в дискових подрібнювачах ударно-відбивального типу. Однак збільшення продуктивності цих конструкцій пов'язане зі зниженням якості подрібнення. Можливість у вдосконаленні таких подрібнювачів стримується відсутністю подібних конструкцій та розрахунку їх основних параметрів. У зв'язку з цим перед нами виникла необхідність у розробці та створенні дешевих, у той же час удосконалення простих із створенням раціональних конструкцій робочого органу дробарки, що відповідає технологічним вимогам сучасного сільськогосподарського виробництва.

Мета роботи – розробка нової конструкції багатофункціональної, економічної та малогабаритної машини для подрібнення та помелу продуктів зернових культур, обґрунтування її основних параметрів.

Для реалізації поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі **завдання**:

- аналіз та оцінка існуючих конструкцій машин для подрібнення сипучих харчових продуктів;
- обґрунтування основних параметрів машини з урахуванням основного критерію – покращення якості готового продукту.

Об'єкт дослідження: об'єктом досліджень є багатофункціональна, малогабаритна машина для подрібнення продуктів зернових культур.

Предмет дослідження: закономірності впливу параметрів робочих поверхонь жорнів та пружно-в'язких властивостей оброблюваних матеріалів на якості помелу, технологічні та енергетичні показники процесу подрібнення.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Дерев'яно Д. А., Павлушенко В. В. Машини для подрібнення сипучих харчових продуктів. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 93-97.

2. Дерев'янюк Д. А., Павлушенко В. В. Вибір конструктивно-технологічної схеми жорнового мінімліна. *Збірник матеріалів ІХ Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”*. 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для підприємств АПК представляє розроблена конструкція машини для подрібнення зернових культур.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 22 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 43 сторінки комп'ютерного тексту, містить 16 рисунків та 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1

МАШИНИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ СИПУЧИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Час від часу спостерігається попит на жорнових млинах, на сьогоднішній день компанії з далекого і ближнього зарубіжжя випускають жорнові млини в малих і великих кількостях. Виробництво жорнових млинів здійснюється підприємством в Україні, а також німецькими фірмами "Hawos", "Schnitzer", "Komo", датською фірмою "ENGSKO" та австрійською фірмою "Sheldem" тощо.

Розроблено різні машини для подрібнення сипучих харчових продуктів, де загалом структура і функціональне призначення елементів у жорнових поставах однакові (рис. 1.1).

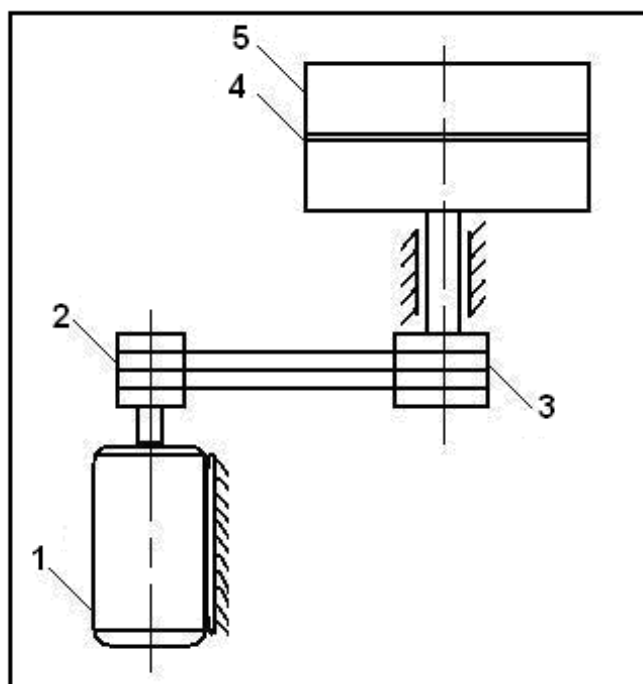


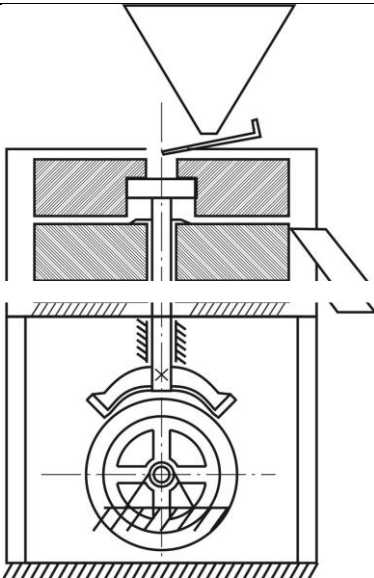
Рис. 1.1. Кінематична схема жорнового млина. 1 – електродвигун, 2, 3 – шківів, 4, 5 – жорнові камені

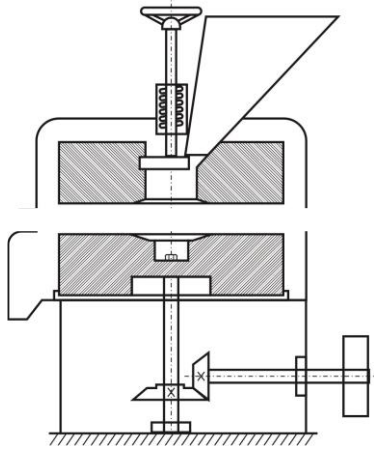
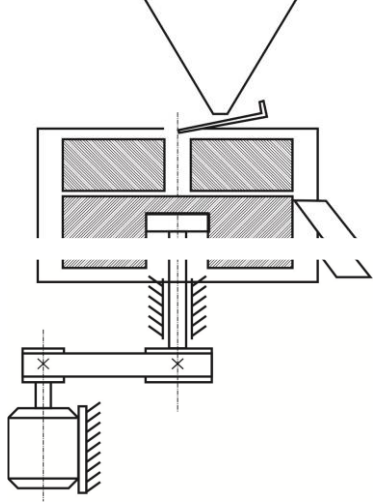
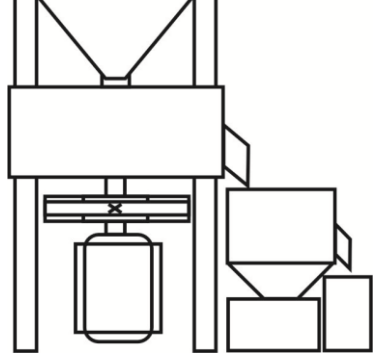
У загальному випадку машина складається з живильних пристроїв, виконавчого механізму з робочим органом, приводного механізму, а також пристрою для керування та регулювання. Робочі органи машини безпосередньо впливають на оброблюваний продукт. Робочим органом служать два камені,

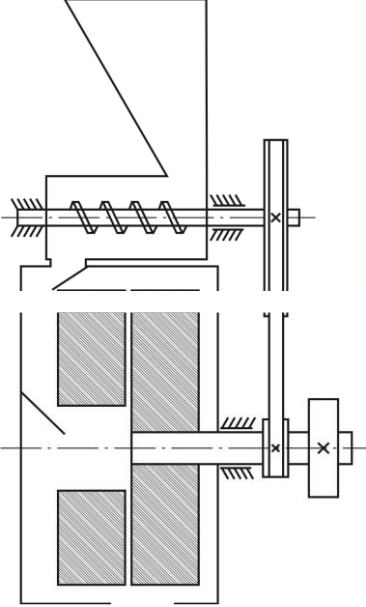
розташовані на одній осі. Перероблюваний продукт подрібнюється або дробиться між двома каменями.

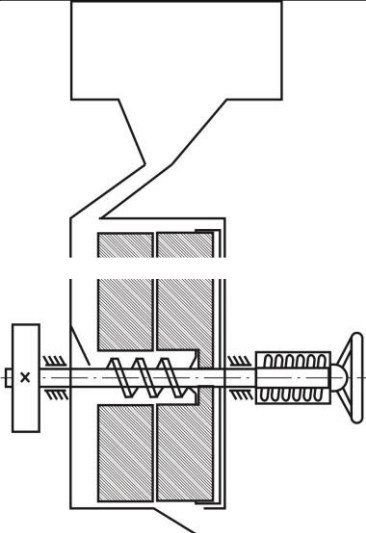
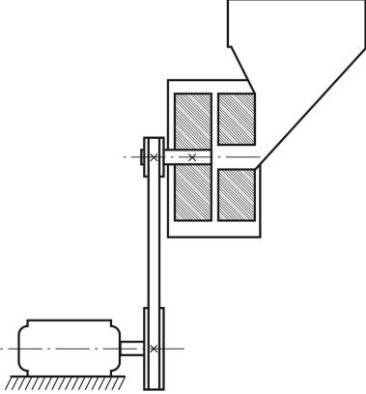
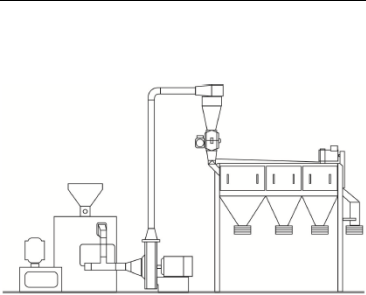
У сільськогосподарському борошномелі здебільшого застосовують млинові жорнові постава двох типів: з горизонтально розташованими каменями і вертикальною віссю обертання та з вертикально розташованими каменями і горизонтальною віссю обертання. У практиці зустрічаються жорнові млини з різними конструкціями (таблиця 1.1.).

Таблиця 1.1 – Схеми машин для подрібнення сипучих харчових продуктів

Типи машин	Принцип дії (особливості)	Технічні дані (схеми)
<p>1. Жернова постава з вертикальною віссю обертання</p>	<p>За рахунок відцентрової сили зерно, що надходить через горловину верхнього жорна, розкидається плоскою робочою поверхнею, розмелюється у вигляді борошна і зсипається через отвір в обичайці в мішок. Потік зерна регулюється нахилом потряски за допомогою троса і спеціального механізму.</p> <p>Недоліки: не має охолоджувального пристрою робочих поверхонь і продукту, що переробляється; не має механізму для регулювання щілини між двома каміннями.</p>	

<p>2. Млиновий постав з нижнім бігуном типу ГК-760</p>	<p>Зерно надходить із бункера через горловину верхнього жорна на нижній жернів-бігун, розкидається за допомоги відцентрової сили по робочій поверхні жорен і розтирається в борошно.</p> <p>Недоліки: складність конструкції; нестійке положення каменів при обертанні.</p>	
<p>Горизонтальний жорновий млин</p>	<p>Принцип роботи: зерно з бункера за допомогою живильного механізму через отвір у верхньому камені потрапляє в щіль між жорнами.</p> <p>Забезпечує особливо тонкий оптимальної помел з діапазоном продуктивності 10-250 кг/год.</p> <p>Призначена для промислового подрібнення.</p>	
<p>Електромлиновий жорновий з барабанним ситом</p>	<p>Має аналогічний принцип роботи з горизонтальним жорновим млином. Верхній камінь піднімається за допомогою важільного механізму вручну.</p> <p>Поділ подрібненого зерна на борошно і висівки відбувається шляхом видування в</p>	

	<p>потік барабанного сита.</p> <p>Недоліки: не передбачено охолодження робочих поверхонь жорна і перероблюваного продукту, що переробляється, в результаті знижується якість борошна.</p>	
<p>Жерновий постав з вертикальним робочим органом</p>	<p>Технологічний процес: Зерно, після попереднього очищення за допомогою решета від великих домішок, надходить через розпушувальний валик на шнек, який підводить продукт на черв'ячний кінець головного горизонтального вала на жорнові, де відбувається подрібнення.</p> <p>Регулювання маси зерна, що надходить на помел, здійснюється за допомогою заслінки на живильному механізмі.</p> <p>Має аналогічні недоліки як у попередньому варіанті, крім того не передбачено регулювання щілини між камінням.</p>	

<p>Млиновий постав типу ММЖ-0,5</p>	<p>У робочу зону жорен зерно подається за допомогою шнека, який укріплений на приводному валу разом із рухомим жорном.</p> <p>Завантажувальний бункер розташований над машиною, має заслінку для регулювання подачі зерна на жорна.</p> <p>Має конструктивні недоліки пов'язані з низькою надійністю при експлуатації.</p>	
<p>Міні-млин типу МіМ</p>	<p>Жорна зроблені зі спеціального сплаву кераміки та корунду діаметром 125 мм, точність помелу можна регулювати за допомогою важеля.</p> <p>Продуктивність 21- 45 кг/год, залежить від установки тонкості помелу. Hawos Pegasus випускається у двох варіантах: - з двигуном 230 (220) вольт і 750 ват - з двигуном 400 (380) вольт і 750 ват.</p>	
<p>Борошномель на установка горизонтальна жорновий млин Engsko A/S</p>	<p>Установка для виробництва борошна, цілнозернового та рисового борошна включає такі види технологічного обладнання: зерноочисного, розмелювального, просіювального і</p>	

	<p>пневмотранспортного, які пов'язані між собою відповідно до відповідно до технологічних процесом виготовлення борошна і крупи.</p> <p>Продуктивність 400 кг/год грубий помел, 250 кг/год дрібний помел.</p> <p>Недоліки: громіздкі масогабаритні показники, енергоємність (24 кВт)</p>	
--	--	--

Відомий ударно-відцентровий млин, де в процесі подрібнення зернових продуктів одночасно забезпечують продування робочих органів і камеру подрібнення створюють сприятливі умови роботи, проте її принцип застосуємо тільки для такої конструкції млина, а для жорняного млина така конструкція не прийнятна через громіздкість і складність в експлуатації і велику кількість металевих багато соплових планшайб.

Відома установка, що містить встановлене в корпусі нерухоме жорно і рухоме жорно у вигляді фрези, що має зуби на бічній поверхні. Жорни містять ємності, що заповнюються твердим або рідким охолоджуючим середовищем (двоокисом вуглецю). Конструкція загалом прийнятна, проте застосування хімічних препаратів-охолоджувачів для виробництва харчових продуктів - борошна в технології несумісні.

Найбільш близьким, по виконанню процесу помелу (дроблення) і конструкції є борошномельний млин з горизонтальною віссю обертання. Це спрощує конструкцію борошномельних млинів і процес помелу зерна, завдяки можливості «закріплення» кожного зернятка, що направляється по трубі черв'яка (шнека) до жорна і розмолоти (витерти) за один прохід кожне зернятко на дрібні частинки і забезпечує отримання борошна першого сорту.

Однак, зазначена установка має ряд недоліків, а саме в конструкції борошна використовується не вся робоча поверхня жорна, а тільки її частина тобто частина площі дорівнює торцевій поверхні труби черв'яка (шнека); за один перехід отримують два сорти продукції: дрібнодисперсне борошно та крупу, що викликає кратного виконання операції із зайвими трудовитратами; одночасно з процесом помелу безперервно очищають не всю робочу поверхню жорна, а тільки площу, що дорівнює площі кола труби черв'яка (шнека).

Відомий також пристрій для подрібнення зерна, що відноситься до апаратів для переробки фуражного зерна на комбікорми. Пристрій містить станину із закріпленим на ній завантажувальним бункером, що має вікно для виходу зерна, сито та подрібнювач у вигляді пластини, закріпленої на валу вертикально встановленого та з вузлом герметизації високооборотного електродвигуна. Площина обертання ударної периферійної частини пластини проходить під вікном для виходу зерна з бункера. Вал щонайменше однією пластиною знаходиться нижче площини станини.

Пневматичний конусний подрібнювач зерна. Винахід відноситься до сільського господарства і може бути використане при виробництві комбінованих кормів. Пневматичний конусний подрібнювач зерна має бункер, всмоктуючий трубопровід, всмоктувальний конус попереднього руйнування оболонки зерна з каліброваним отвором, конусні фітинги, конус формування вихрової трубки, шланги, клапани, компресор, приймальний трубопровід наступного подрібнення, шланг для доставки подрібненого зерна та заземлювач. Подрібнення сировини досягається застосуванням конусів, що створюють високошвидкісні повітряні потоки. Подрібнювач виготовляються у мобільному виконанні та застосовується у безпосередній близькості від місць утримання тварин. Застосування дистанційних засобів управління автоматизує процес годівлі. Використання винаходу дозволить механізувати процес приготування повноцінних комбінованих кормів з фуражного зерна злакових та бобових культур.

Пристрій для подрібнення. Винахід відноситься до подрібнювального обладнання, зокрема до пристроїв, наприклад, зерно. Пристрій містить корпус із завантажувальними та розвантажувальними вікнами та жорнами з поверхнями різної зернистості. Жорнова встановлені у корпусі на загальній осі. Привід обертання виконаний у вигляді двостороннього плоского лінійного асинхронного двигуна з блоком управління. Число пар полюсів двигуна дорівнює двом або менше. Статори встановлені з можливістю переміщення радіусом щодо ротора двигуна. Ротори виконані у вигляді диска з електропровідного матеріалу та жорстко закріплені на жорнах. Жорнова та ротори горизонтально розташовані та рухливі відносно один одного на осі. Кожен ротор взаємодіє зі своїм статором та жорном. Статори встановлені між роторами. Обмотки одного статора є продовженням обмоток іншого. Винахід спрощує конструкцію та підвищує продуктивність.

Відомий млин жорновий, що містить корпусі кришкою, верхній нерухомий і нижній обертовий абразивні жорна з металевими підкладками, вал нижнього жорна, встановлений в рухомій пінолі, вузол регулювання зазору між жорнами у вигляді приводу осьового переміщення пінолі, пристрій для виведення продуктів помелу, що відрізняється тим, що в металевих підкладках кожного жорна виконані кільцеві співвісні канавки типу «ластівчин хвіст» та отвори в них з боку прилягання абразивної основи, верхній жорн своєю підкладкою закріплений на кришці млина з можливістю регулювання щодо жорна, кришка пружно притиснута до корпусу млина, привід осьового переміщення нижнього жорна виконаний у вигляді чотириланкового важільно-гвинтового механізму, що зв'язує рукоятку ручного управління з рухомою піноллю, що має можливість стопоріння тангенціальним затискачем; бункер забезпечений дозатором, що включає шиберну заслінку внизу бункера, встановлений під нею похило регульований лоток, що контактує з вібратором, закріпленим на валу нижнього жорна, на металевій підкладці якого розміщені скребки-лопатки.

Відомий млин з горизонтальною віссю обертання, що містить корпус, в якому розміщені нерухомий і обертовий жорна з канавками на мелених площинах, приймальну лійку для подачі розмелюваного продукту, прикріплену до знімної кришки корпусу, механізм для регулювання зазору між жорнами, електродвигун, який відрізняється тим, що обертаючий жорнів жорстко закріплений на валу електродвигуна, електродвигун прикріплений до корпусу млина, а механізм для регулювання зазору між жорнами розміщений з боку приймальної лійки і виконаний у вигляді пластини, пов'язаної з приймальною лійкою за допомогою підпружиненого різьбового з'єднання і гвинта, загвинченого в пластину і упираючого у поверхню приймальної лійки, і тяг, пропущених крізь знімну кришку корпусу, що з'єднують пластину і нерухоме жорно.

Електричний млин. Подрібнення зерна і може бути використане у харчовій, сільськогосподарській та інших галузях промисловості. Млин містить закріплений на корпусі електродвигун, механізм для регулювання помелу, що має ступінчасту кришку з фіксатором з'єднані між собою стакан різьбову втулку з фланцем і виконаними в ній рівновидаленими один від одного гніздами під фіксатор і упором хвостовою частиною в одне з них. Один із жорен пов'язаний з різьбовою втулкою, а інший - з валом електродвигуна. Опорний пристрій виконано складовим з основи, опорного фланця і гнучких сегментних пластин, що охоплюють електродвигун і закріплених у вибірках стійок, що з'єднують основу з опорним фланцем, а хвостовик упору, що виступає з гнізда, має можливість вільного обертання навколо бічної поверхні меншого ступеня кришки до контакту з припливом на кришці, в якій закріплений фіксатор. Гнізда під фіксатор можуть бути виконані у вигляді V-подібних пазів, розташованих радіально по колу фланця втулки, а фіксатор має виступ, профіль якого відповідає профілю пазів.

Відомий млин для зерна, що містить вмонтований в приймальний бункер нижній обертовий диск з ріжучими кромками і верхній нерухомий диск,

щонайменше, з одним наскрізним ексцентричним живильним каналом. Як ріжучі кромки використані ножі, закріплені на верхній поверхні нижнього диска. Приймальний бункер виконаний у вигляді концентричних стаканів зростаючих до периферії бункера діаметрів з верхніми відкритими торцями, що лежать у площинах, розташованих нижче площини нижньої поверхні нерухомого диска.

Пристрій для подрібнення твердих матеріалів Винахід може бути використаний для помелу твердих матеріалів. Пристрій для подрібнення містить корпус із завантажувальними та розвантажувальними вікнами та розміщеними всередині нього вертикальними жорнами. Жорна мають поверхні з різною зернистістю та встановлені на загальній осі. Середнє жорно пов'язане з приводом обертання. Бічні жорна виконані з сполученими каналами, що мають затвори, та встановлені на ділянках осі, виконані з протилежним напрямком навивки різблення. Бічні жорна зафіксовані за допомогою гнучких елементів, з'єднаних з пристроями, що фіксують. Привід обертання має блок управління і являє собою плоский двосторонній лінійний асинхронний двигун з числом пар полюсів, рівним або меншим двох. Статори двигуна встановлені з можливістю переміщення радіусом щодо ротора. Ротор виконаний у вигляді диска з електропровідного матеріалу, жорстко закріпленого на середньому жорні. Технічний результат полягає у забезпеченні плавного регулювання швидкості помелу.

Жорновий млин. Винахід відноситься до пристроїв для подрібнення зерна та зернистих матеріалів, а саме до жорнових млинів з горизонтальною віссю обертання.

Завданням винаходу є створення конструкції жорнового млина з підвищеною продуктивністю та отриманням подрібнюваної продукції з покращеними якість.

Поставлене завдання вирішується тим, що жорна млин, що містить корпус, електродвигун, бункер, шнек, обертовий і нерухомий жорна і притискний

механізм, додатково містить відцентровий вентилятор з повітропроводом, при цьому бункер герметично закривається.

Цей жорновий млин з горизонтальною віссю обертання забезпечує підвищену продуктивність і покращує якість продукції, що подрібнюється.

Притискний механізм жорнового млина. Винахід відноситься до пристроїв для подрібнення зерна та зернистих матеріалів, а саме до механізмів регулювання робочого зазору між жорнами з горизонтальною віссю обертання.

Завданням винаходу є підвищення якості борошна, що отримується за рахунок забезпечення необхідного робочого зазору між жорнами з високою точністю, а також розширення функціональних можливостей жорнового млина.

Поставлене завдання вирішується тим, що притискний механізм жорна млина, складається з рукоятки і, щонайменше, з чотирьох пристроїв, розташованих по діаметру нерухомого жорна, кожен з яких включає штовхач, встановлений усередині стакана, закритого ковпачком, і взаємодіє через пружину з п'ятою, при цьому п'ята підпирається болтом із контргайкою.

Пропонована конструкція притискного механізму дозволяє налаштувати необхідний робочий зазор між жорнами з високою точністю, гарантує плавність переміщення жорна, що обертається, і виключає динамічні навантаження, що обумовлює надійну роботу млина, розширює його функціональні можливості і дозволяє отримувати борошно вищої якості.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ЖОРНОВОГО МІНІ МЛИНА

Нами розроблено жорнові млини у двох варіантах з поліпшеними конструктивними та режимними параметрами з урахуванням вимог малих сільгоспформувань (фермерські та селянські господарства), яким потрібні низько енергоємні міні-машини з раціональною продуктивністю що забезпечують більш однорідний склад готового продукту без запаху гару, усувають налипання клейстерів на поверхнях робочих органів.

На рис.2.1. показано загальну схему жорнового млина (варіант 1), на рис. 2.2. - нерухоме жорно з п'ятьма наскрізними отворами. Жорновий млин працює таким чином. Обертальний рух вала електродвигуна 1 через приводний механізм 2 передається до виконавчого механізму обертового жорна 6. Зерно з бункера 3 за допомогою шнекового механізму 5 через отвір у провідному камені потрапляє в робочу зону-щілину між рухомими і нерухомими жорнами, і подрібнюється до необхідної кондиції, а подача зерна регулюється заслінкою 4. Повітря вентилятором 9 подається через повітропровід 10 до отворів 8 у нерухомому жорнові 7 на робочу поверхню головних і другорядних борозенок на поясі, що піддається і розмелюється рухомим жорном 6, що рухається, продуває робочу зону, додатково охолоджує робочі поверхні жорна й оброблювану продукцію.

Подрібнений готовий продукт через барабанне сито 11 потрапляє в бункер для готового продукту 12.

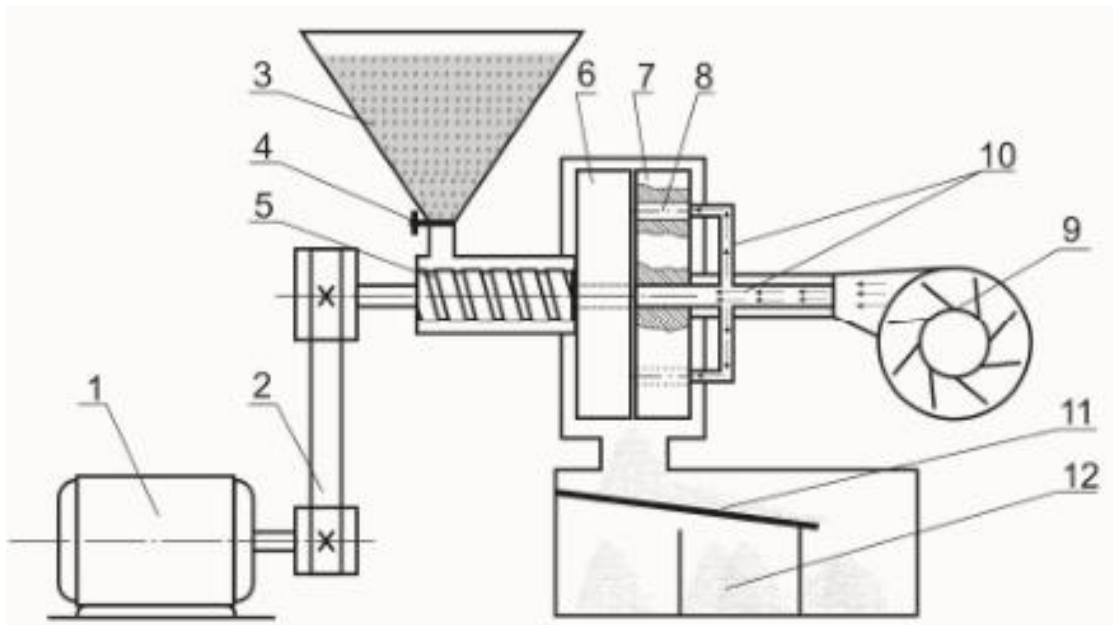


Рис. 2.1. Загальна схема жорнового млина (варіант 1): 1 – електродвигун; 2 – електропривод; 3 – бункер; 4 – заслінка; 5 – шнек; 6,7 – рухомий і нерухомий жорна; 8 – отвори; 9 – вентилятор; 10 – повітропровід; 11 – сито; 12 – бункер.

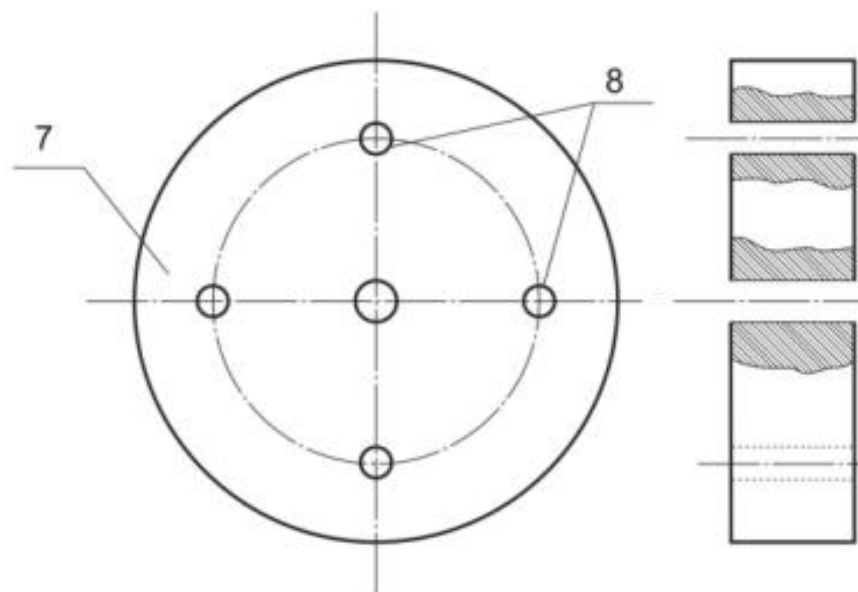
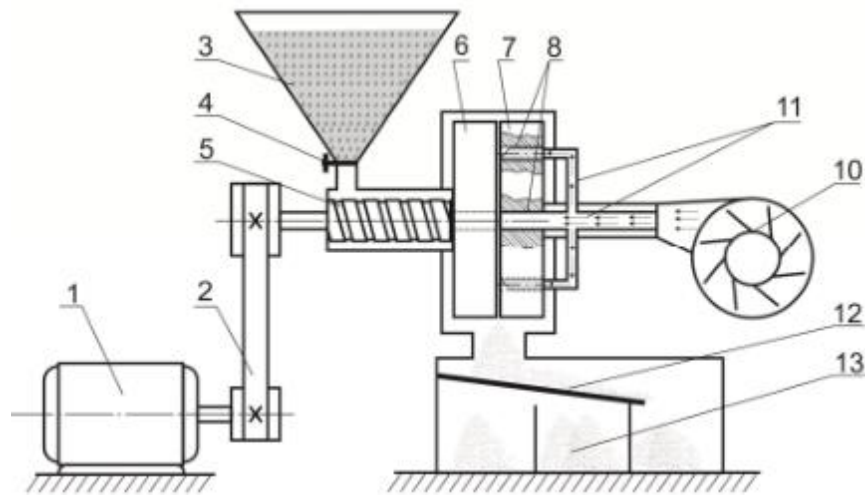
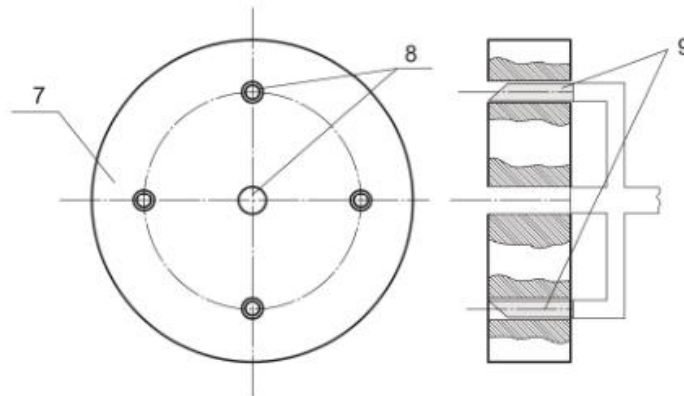


Рис. 2.2. Нерухоме жорно з отворами: 7 – нерухоме жорно; 8 – отвори.

На рис. 2.3 а, б наведено загальну схему жорнового млина (варіант 2) і нерухомі жорна з напоростійкими трубками, що мають косі наконечники, відповідно.



а) Загальна схема жорнового млина (варіант 2)



б) Нерухоме жорно з напоростійкими трубками

Рис. 2.3. 1 – електродвигун; 2 – електродвигун; 3 – бункер; 4 – заслінка; 5 – шнек; 6,7 – рухомий і нерухомий жорна; 8 – отвори; 9 – трубки з косими наконечниками; 10 – компресор; 11 – шланги високого тиску; 12 – сито; 13 – бункер.

Відмінною особливістю жорнового млина в другому варіанті є те, що в конструкції цього млина поліпшено охолоджувальну систему, яка охолоджує систему. Для цього в наскрізних отворах нерухомого жорна встановлено напоростійкі трубки зі спеціальними косими наконечниками і використано компресор (замість вентилятора) зі шлангами високого тиску.

Робочий процес жорнового млина (варіант 2) з урахуванням вище зазначених конструктивних змін, протікає таким чином.

Подача зерна та регулювання маси зерна, що подається, здійснюється аналогічно до варіанта 1, а система охолодження працює так: створений компресором 10 високонапірний стиснений потік повітря подається через шланги високого тиску 11 до напоростійких трубок спеціальними косими наконечниками 9, встановленими в отворах 8, до робочої зони між двома рухомими та нерухомими жорнами і продуває робочу зону високим напором повітря, охолоджує поверхні робочих органів і подрібнювану продукцію, заодно водночас спрямовуючи останніх до вчасного прискореного випадання їх із камери подрібнення під певним кутом до напрямку обертання обертового жорна, і тим прискорюють процес випадання борошна з робочої зони подрібнення та сприяють підвищенню продуктивності млина.

Основною відмінною ознакою розроблених варіантів жорнових млинів є інтенсифікація охолодження робочих поверхонь жорна та подрібнюваного матеріалу (зерна).

Конструкції наявних жорнових млинів, що є на виробництві, обладнані жорновими, що не обертаються, з просвердленими на них отворами в центрі круга жорна і навколо них практично не можуть забезпечити необхідними високими сильними цілеспрямованими вихровими напорами стисненого повітря встановленими на них заводськими вентиляторами, бо останні мають недостатньо робочих потужностей. Тому нами, виходячи з практичного досвіду, пропонується застосування замість вентиляторів компресорів середнього тиску (до 10 МПа), які можуть забезпечити необхідні високі вихрові напори в робочій зоні на кінцях напоростійких трубок, а останні завдяки спеціальних косих кутових кінців спрямовують потік повітря в бік виходу готового продукту для своєчасного (прискореного) виходу їх із подрібнюваної камери під кутом до напрямку обертання жорна.

Подрібнений матеріал виводитиметься з робочої зони зі швидкістю створеної обертальною жорнвою інерційною силою та повітряним вихором, навіть за підвищених подач матеріалу він руйнується суто ударним

навантаженням, внаслідок чого він не перегрівається, через відсутність у процесі перетирання і додаткового охолодження поверхні робочого органу і матеріалу, поліпшується якість подрібнення і відсутній запах гару в готових продуктах, що дає змогу отримати високоякісний більш однорідний склад продукту.

Крім того, створені повітряні вихори сприяють утворенню оптимального руху повітряного продуктового потоку і своєчасному виведення продукту з робочої зони подрібнення.

Жорнові камені бувають штучні та природні. Для виготовлення природних жорен застосовуються камені з твердих гірських порід: кварцові камені, граніт, піщаник і порфірові камені, що містять мінімальну кількість гострих кристалів. Штучні жорна виготовляються з подрібненого кременю, кварцу та наждака. Як сполучна речовина застосовується хлористий магній і магнезит.

При виготовленні млинових жорен з каменів гірських порід необхідно забезпечити наявність кількох конструктивних елементів: нанесення борозенок на робочі поверхні жорен; насікання (кування) робочих поверхонь жорен; вузол кріплення жорна до провідного валу («параплиця»); опора провідного валу (веретено) у нерухомому камені (кружловина); провідний вал («веретено»).

Робоча поверхня жорнів повинна мати наступні властивості: твердість для збільшення зносостійкості; в'язкістю, щоб уникнути викришування частинок жорна під час роботи та можливого попадання їх у продукт; пористістю, при якій забезпечується постійна шорсткість робочих поверхонь жорнів; однорідністю для отримання однакового ступеня впливу жорнів на продукт, що подрібнюється по всій робочій поверхні; міцністю, відсутністю тріщин, щоб уникнути відділення великих шматків або розриву жорна під час роботи.

Розміри жорнів характеризуються їх діаметром, який по теперішній час вимірюють чвертями аршина, і, відповідно, називаються четвірками, п'ятірками, шістками, сімками та вісімками. У жорнових поставах з вертикальною віссю обертання, найбільш застосовні камені діаметром п'ятірку - 890 мм; шість - 1070 мм; сім - 1240 мм; вісім - 1420 мм. У жорнових поставах з горизонтальною

віссю обертання застосовується каміння діаметром №2 – 560 мм та №4 – 760 мм. У таблиці 2.1 наведено технічні характеристики жорнових млинів, що використовуються у практиці.

Порівняльний аналіз технічних характеристик поширених жорнових млинів показує, що для фермерських (селянських) господарств найбільш відповідними параметрами має міні-млин ММП-50. Цей міні-млин має мінімальні масогабаритні розміри в порівнянні з іншими аналізованими млинами. Продуктивність ММП-150/50 дорівнює 100 кг/годину при споживаній потужності приводу 5,5 кВт, що цілком відповідає вимогам фермерів. Невелика кількість обертів дорівнює 417 об/хв забезпечує надійність машини.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики найбільш поширених жорнових млинів та ММП-50

№	Найменування параметрів	Розмірність	Жорновий постав із горизонтальною віссю обертання			Жорновий постав із вертикальною віссю обертання			
			ММП-50	№ 2	№4	П'ять	Шість	Сім	Вісім
1	Діаметр жорнів	мм	450	580	780	880	1080	1260	1440
2	Число обертів	об/хв	418	610	460	260	240	190	170
3	Окружна швидкість жорна	м/сек	8,8	19	19	13	13	13	13
4	Споживана потужність	кВт.	5,6	7,6	11,6	7,6	12	13,6	17
5	Маса пари жорнів	кг	51	136	354	854	1302	1830	2400
6	Витрата повітря	м ³ /хв		9	11	17	19	21	23
7	Товщина жорнів: верхнього жорна нижнього жорна	мм	60	150	200	360	410	410	410
		мм	60	150	200	260	260	280	280
8	Діаметр горловини верхнього жорна нижнього жорна	мм	160	170	210	310	310	410	410
		мм	160	170	260	285	285	285	285
9	Кількість борозенок	шт	6	10...14	12...18	16-22	20-26	24-29	28-34
10	Ширина борозенки	мм	15...20	20..30	20-32	20-36	35-42	35-42	42
11	Глибина борозенки	мм	3-6	4-7	4-7	5-9	5-9	5-9	5-9
12	Продуктивність	кг/год	100	360	650	450	550	560	660

Для виготовлення жорнових каменів доцільно підбирати камені з гірських порід з подальшою обробкою робочої поверхні даного каменю як показано на рис. 2.4.

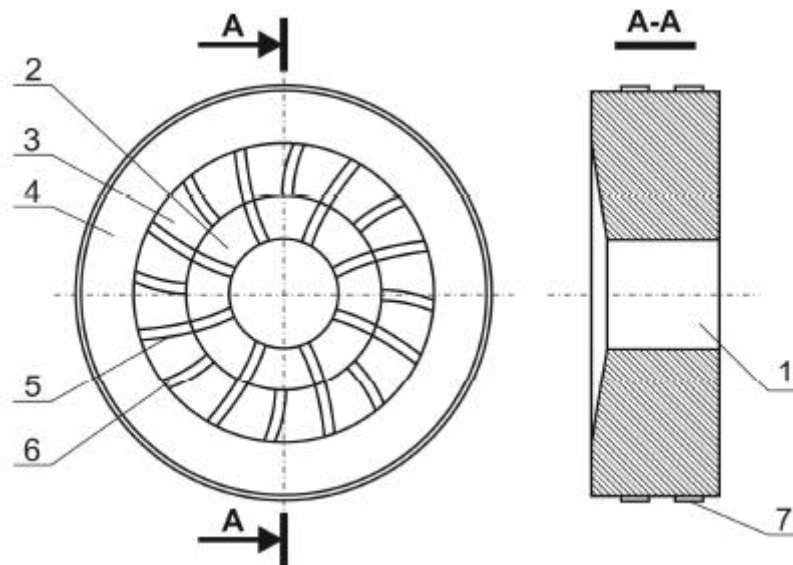


Рис. 2.4. Жорнове каміння для млина з горизонтальною віссю обертання, розбивка робочої поверхні жорна: 1 – центральний отвір («вічко»); 2 - «двір» або «ковток»; 3 – пояс, що підводить; 4 – пояс, що розмелює; 5 – борозенка головна; 6 – борозенка другорядна, 7 – обруч.

У таблиці 2.2. наведено розміри поясів залежно від діаметра жорнових каменів.

Таблиця 2.2 – Розміри поясів залежно від діаметра жорнових каменів

Діаметр жорна		Ширина пояса в мм			Діаметр отвору жорна, мм	Глибина глотка	
в четвертях аршина,	мм	глоток	підвідного	мелючого		обертаючого жорна	не рухомого жорна
4/4	450	60	100	30,5	160	21	16
5/4	880	90	120,5	90	310	21,5	20,0
6/4	1080	120	140,5	140	310	31,0	21,5
7/4	1260	150	160,5	160	360	31,5	31,0
8/4	1460	170	180,0	160	410	41,0	31,5

Робочу поверхню жорна обробляють наступним чином. У центрі кожного з каменів є отвір, званий горловиною або «оком». Робоча поверхня жорнового

каменю ділиться на три пояси: двір або званий «глоток», що підводить і розмелює. Глоток влаштовується для подачі продукту до пояса, що меле. Підвідний пояс служить для затягування продукту в пояс, що розмелює. Спочатку зерно дробиться в підводному, а потім остаточно мелеться в поясі, що розмелює. Глоток каменю, що обертає, вибирається глибиною 20-40 мм, а нерухомого каменю 15-30 мм. На робочій поверхні жорна насікають дугоподібні (радіальні) або прямолінійні борозенки. Борозни на жорнових каменях призначені, головним чином, для вентилявання простору між жорнами та їх охолодження, а так само переміщують продукт, що розмелюється, до виходу з мелючого простору. Глибина, ширина та кількість борозенок на поверхні жорна в залежності від його діаметра вказані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні параметри борозенок залежно від діаметра жорна

Діаметр жорна в мм.	Кількість борозенок	Ширина борозенки в мм.	Глибина борозенки в мм.
400	8...12	15...25	4...6
560	10...14	20...30	4...6
760	12...16	20...30	4...6
890	16...20	30...35	5...8
1070	20...24	35...40	5...8
1240	24...28	35...40	5...8
1420	28...32	40	5...8

При нанесенні борозенок на поверхні жорнів необхідно дотримуватися таких умов:

1. При обертанні бігуна точки перетину борозенок верхнього та нижнього каміння (жорнів) повинні переміщатися у напрямку від центру до зовнішнього кола. В іншому випадку продуктивність жоренового постава значно зменшиться. На рис. 2.5 показані борозенки обох жорен (при накладанні верхнього на нижній). Товстими лініями позначені борозенки бігуна, тонкими – борозенки лежняка. При обертанні верхнього жорна, як зазначено стрілкою, точки Д перетину борозенок верхнього та нижнього жорнів будуть переміщатися у

напрямку від центру до зовнішнього кола. Борошно при цьому викидатиметься назовні.

2. Напрямок борозенок обох жорен має бути таким, щоб при будь-якому повороті бігуна кожна його борозенка перетиналася з борозенкою лежняка лише в одній точці. Якщо ж виявиться, що борозенки жорнів перетинаються у двох точках, то тільки одна з них переміщатиметься до зовнішнього кола, а друга переміщатиметься до центральної частини жорна. Зрозуміло, що борозенки такого контуру перешкоджатимуть виходу розмеленого продукту назовні. Це призведе до зменшення продуктивності постава, надмірного нагрівання розмеленого продукту та зайвої витрати енергії.

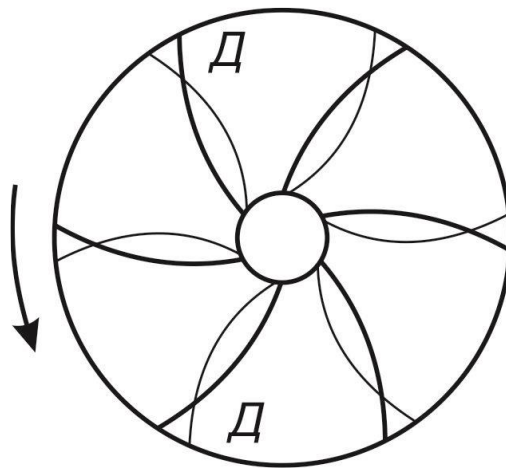


Рис. 2.5. Борозни при накладенні їх один на одного

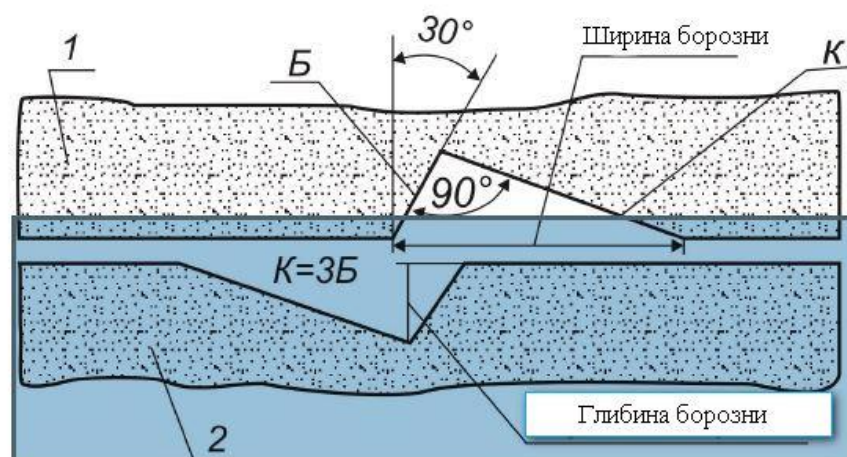


Рис. 2.6. Поперечний переріз борозенки: 1 – верхній камінь; 2 – нижній камінь, Б – крута стінка, К – полого стінка

3. Крута стінка Б борозенки (рис. 2.6) під час роботи жорна має йти попереду за напрямом обертання бігуна, а полога К - позаду. Круту стінку висікають по прямій лінії з ухилом 30° у бік обертання, а пологу - з невеликою опуклістю і втричі довше за першу. При недотриманні цього правила зерно дробитиметься у крупу але не борошно, тому що при цьому зерно не розмелюється.

Дугоподібні борозенки наносять так (рис. 2.7). Зовнішнє коло жорна ділять на стільки частин, скільки хочуть мати борозенок. З точок поділу кола радіусом, рівним радіусу R жорна плюс $1/10$ його частина, наносять лінії крутих і пологих стінок борозенок (по одній довгій і по дві короткі борозенки). Всі борозенки будуть дотичні до кола K , діаметр якого дорівнює $1/10$ радіуса жорна.

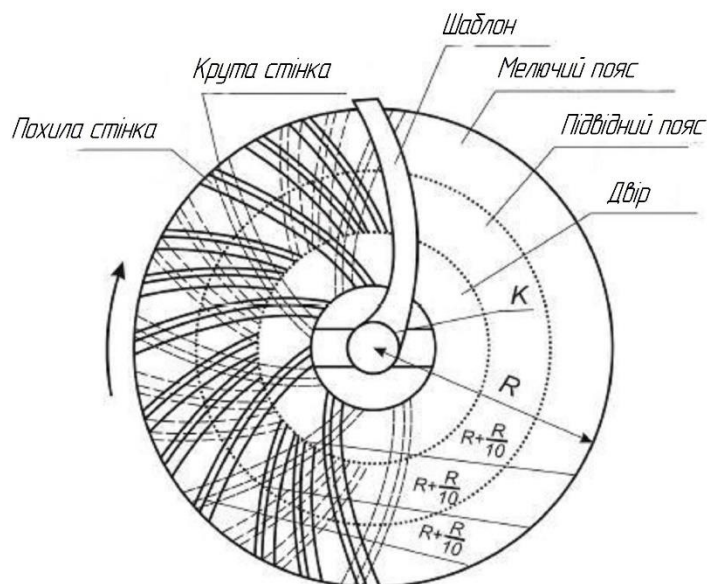


Рис. 2.7. Нанесення кругових борозенок на поверхні жорнів

Короткі (проміжні) борозенки перетинаються тільки в поясі, що меле, а довгі борозенки (основні) перетинаються біля їх основи. Короткі борозенки доводять лише до кола «двору», як зазначено на рис. 2.7. Початок довгих борозенок біля жорнового центру повинен знаходитися на деякій відстані від кола «двору». На рисунку суцільними лініями показані борозенки бігуна, а пунктиром - борозенки лежняка. Такі борозенки відповідають усім зазначеним

вище умовам, що забезпечують хорошу роботу жорнового посту. Число борозенок та їх розміри наведено в таблиці 2.3.

Борозни насікають з таким розрахунком, щоб при обертанні бігуна вони як би перетнулися і сприяли переміщенню продукту від центру до периферії. Форма борозенки має забезпечити зручний вихід продукту з борозенок у робоче поле. Глибина борозенок становить 10-15 мм при тонкому розмелюванні зерна в борошно або крупу. Ширина та кількість борозенок залежить від діаметра жорнових каменів (таблиця 2.3).

Розміщення жорен у вертикальному положенні вносить свої особливості процесу аспірації.

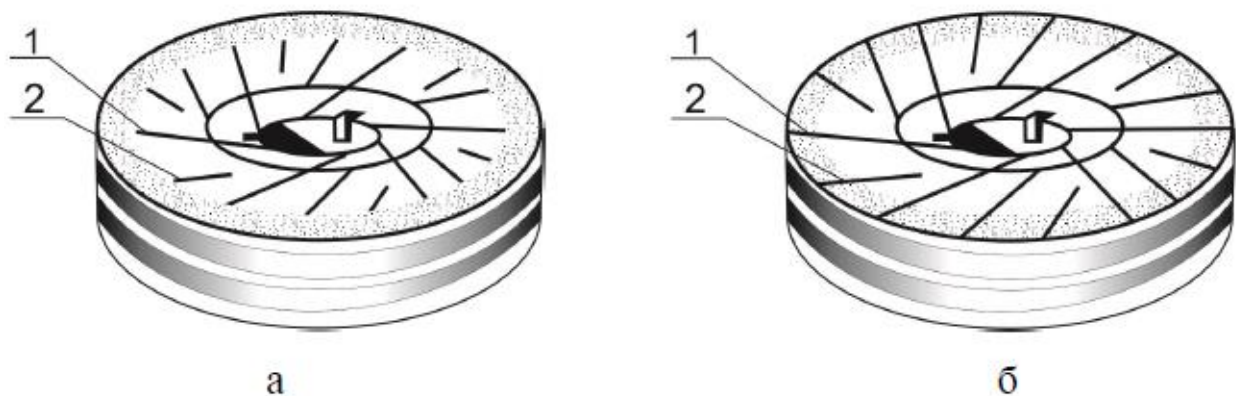


Рис. 2.8. Прямолінійні борозенки: а – для млина з горизонтальною віссю обертання; б – для млина з вертикальною віссю обертання; 1 – борозенка головна; 2 – борозенка другорядна.

Для рівномірного розташування борозенок на робочій поверхні каменю коло жорна ділять на число борозенок. З точок поділу розведенням циркуля, рівним радіусу жорна, наносять першу (внутрішню) лінію борозенки. Потім розведенням циркуля збільшують на ширину борозенки та проводять другу (зовнішню) лінію (рис. 2.5). Прямолінійні борозенки наносять так: з точок, намічених по колу жорна, проводять лінії по дотичній до кола горловини (очі) або допоміжному колу діаметром $\frac{2}{3}$ діаметра ока. Відступивши на ширину борозенки, проводять другу лінію, паралельну першій, і одержують грані головної борозенки.

Між головними борозенками, паралельно їм, проводять напівборозенки, не довівши їх до головних борозенок не менш як на 50 міліметрів. Паралельно борозенкам рекомендується наносити нитки глибиною до 1 мм, по 8-10 штук на один лінійний дюйм (25 мм). Щоб отримати більшу шорсткість поверхні поясу, що меле, доцільно, крім ниток, паралельних борозенкам, наносити також і поперечні нитки (рис. 2.9).

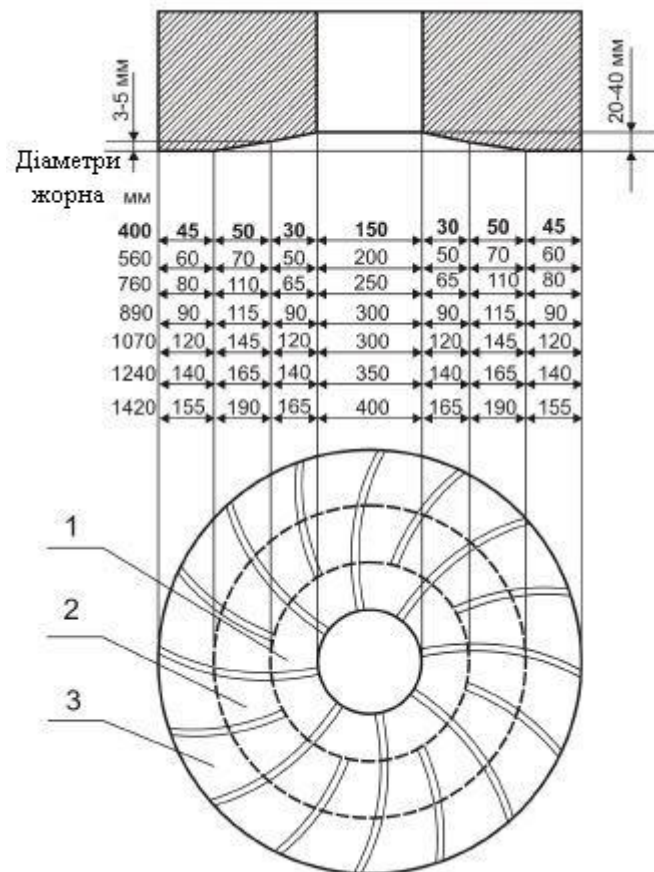


Рис. 2.9. Розбивка робочої поверхні жорна: 1 – двір чи глоток; 2 – підводячий пояс; 3 – пояс, що меле.

При користуванні поставою, як крупорушальною машиною, борозенки не наносяться. У цих випадках робоча поверхня жорнів розбивається тільки на два пояси, а кування (насічка) жорнів робиться дрібнішою і частою, ніж у жорнів, призначених для розмелювання зерна.

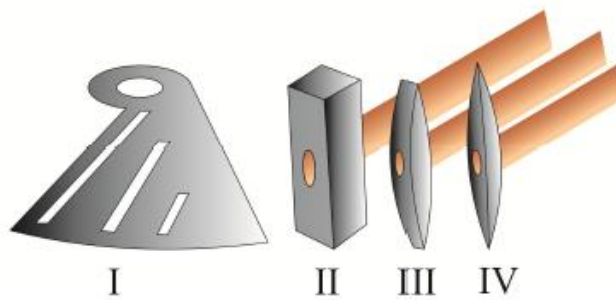


Рис. 2.10. Інструменти для насічки жорен.

Робоча поверхня в обох каменів повинна бути гострошорсткою. Для цього поверхні каменів періодично обробляють наступними спеціальними інструментами - рябчик, насіка, клювок, шаблон для розмітки прямолінійних борозенок (рис. 2.10). Насіки повинні бути двосторонніми, довжиною 250-300 мм і з шириною робочого леза 25-35 мм.

Рябчик - це двосторонній молоток із насічками у вигляді пірамідок на його робочих поверхнях (12-16 на 1 см²). Цим інструментом вирівнюють робочі поверхні жорен і надають їм шорсткість.

Для вирівнювання кутів борозенок застосовують двокінцеві клевачі завдовжки 250-300 мм.

В даний час насічки жорнів виконуються болгарками, перфораторами та на спеціальних верстатах. А так само існують жорна, виготовлені зі спеціальних сплавів, які не вимагають періодичної обробки. Однак ці жорна готуються в зарубіжних країнах і собівартість їх дуже дорога.

Щоб не допускати зниження продуктивності жорен, рекомендується періодично проводити насічку (ковку). Чим твердіша і однорідніша робоча поверхня каменю, тим рідше потрібно його кувати. При розмелюванні сухого зерна шорсткість робочих поверхонь зберігається краще, а вологе зерно швидко забиває пори гострошорсткого каміння і вони перестають розмелювати зерно, а починають його плющити. У цих випадках необхідно кувати каміння.

Таким чином при виборі млинових жорнів переваги мають каміння гірських порід, які після відповідної обробки забезпечують необхідні властивості притаманні жорнам: твердість, в'язкість, пористість, однорідність і міцність. При виготовленні жорнів з каменю гірських порід необхідно суворо дотримуватись технології: при обертанні бігуна точки перетину борозенок верхнього і нижнього каміння (жорнів) повинні переміщатися у напрямку від центру до зовнішнього кола; напрям борозенок обох жорнів повинні бути такими, щоб при будь-якому повороті бігуна кожна його борозенка перетиналася з борозенкою лежняка тільки в одній точці; крута стінка борозенки при роботі жорна повинна йти попереду у напрямку обертання бігуна, покладаючись позаду.

Тільки при строгому дотриманні даної технології виготовлення млинів з каміння гірських порід можна забезпечити максимальну продуктивність млина і якість продукції.

Щоб забезпечити стійку продуктивність необхідно періодично проводити насікання жорен за допомогою спеціальних інструментів. У питанні забезпечення стійкої продуктивності млина важливе значення має підготовка зерна до подрібнення, тобто вологість та стиглість зерна.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ АСПІРАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ЖОРНОВОГО МЛИНА У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

У попередніх роботах наведено дослідження аспіраційного процесу універсального верстата ММП-150/50. Дані дослідження виявили, що робочий орган жорна під час роботи нагрівається до 90 °С, і це призвело до зниження продуктивності жорнового млина.

Для підвищення продуктивності міні-млина ММП-150/50 та покращення якості готового продукту, необхідно охолоджувати робочу зону. Як аспіраційні пристрої застосовувалися кілька відцентрових вентиляторів з різними технічними характеристиками. Основна ідея полягала у вирішенні цієї проблеми та обґрунтуванні доцільності застосування відцентрового вентилятора з відповідними аеродинамічними параметрами.

В результаті встановили, що необхідно збільшити кількість охолоджуючого повітря. Просвердлюючи п'ять наскрізних отворів на нерухомому жорні: один у центрі жорен і чотири на осях під кутом 90°, а так само швидкого обертання рухомого жорна створювалися повітряні вихрові потоки, які проходили через ці просвердлені отвори. Подача повітря (аспірація) через центр кола жорнового млина порівняно з попереднім у пропонованій конструкції, де використана в п'ять наскрізних отворів, позитивно вплинув на процес подрібнення.

Аеродинаміка робочого органу міні-млина ММП-150/50, а саме в робочій зоні, і зокрема, розподіл повітряного потоку, його швидкостей та тиску невивчена. Це пов'язано зі складністю аеродинамічних процесів та безліччю факторів конструктивного характеру, що виникають у замкнутому та дуже вузькому просторі робочої зони міні-млина ММП-150/50. Тому дослідження та

моделювання процесів охолодження та розподілу повітряного потоку всередині робочої зони жорнового млина є актуальним завданням.

У зв'язку з розвитком програмної та апаратної бази обчислювальної техніки та можливості проведення чисельного просторового моделювання потоків повітря, виникла можливість використовувати комп'ютерне моделювання на основі чисельних методів розрахунку як початковий метод дослідження аеродинамічних процесів усередині робочої зони жорнового млина.

Як об'єкт дослідження розглянуто жорновий млин з горизонтальною віссю обертання, принцип роботи якого наведено у попередніх роботах. Особливістю даного міні-млина простата конструкції, технологічність виготовлення.

Для дослідження аеродинаміки робочого органу жорнового міні-млина були створені 3D моделі за допомогою програмного комплексу Solidworks (рис. 3.1). Як об'єкт моделювання повітряного потоку всередині робочого органу було обрано інтегрований розрахунковий модуль Solidworks Flow Simulation (далі - Flow Simulation), який призначений для вирішення задач гідрогазодинаміки та теплопередачі.

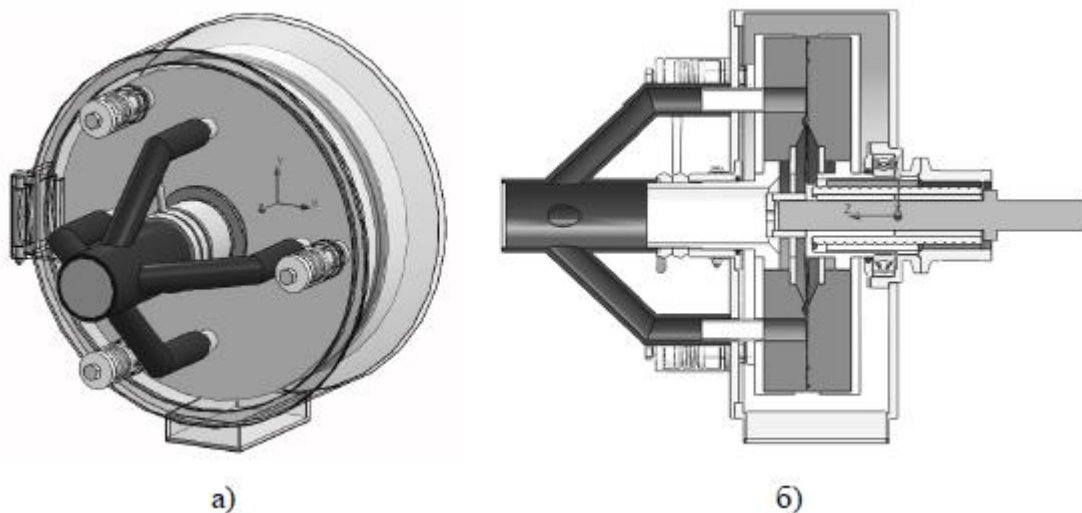


Рис. 3.1. 3D модель робочого органу жорнового млина з горизонтальною віссю обертання: а) зовнішній вигляд; б) розріз вертикальної поздовжньої площини.

Дане програмне забезпечення має такі переваги: зручний інтерфейс користувача; скорочення часу завдання кожного проекту; стабільність роботи програми; можливість створювати геометрію та проводити розрахунки в одному програмному комплексі; гарна якість поверхонь, детальна візуалізація.

Flow Simulation моделює рух потоку, на основі рішення рівняння Нав'є-Стокса, яке є інтерпретацією законів збереження маси, імпульсу та енергії для потоку рідини та газу. Рівняння доповнені виразами стану середовища, які визначають природу цього середовища та емпіричними залежностями щільності, в'язкості та теплопровідності середовища від температури. Для розрахункової області будується структурована нерівномірна сітка з розбиттям у міру наближення поверхні моделі, і на ділянках з великими градієнтами фізичних параметрів текучого середовища.

Для проведення аеродинамічного розрахунку було визначено такі початкові умови: як текуче середовище обране повітря; температура навколишнього середовища – $20,05^{\circ}\text{C}$; коефіцієнт тепловіддачі граніту $2,66 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Встановлено такі граничні умови моделі: об'ємна витрата повітря на робочому просторі жорнового млина $0,04 \text{ м}^3/\text{с}$; тиск довкілля встановлено 101325 Па .

Для виконання розрахункового аналізу за допомогою Flow Simulation насамперед необхідно проектувати кожен компонент збирання. Для створення 3D моделі робочого органу жорнового млина в SolidWorks проєктовано понад 20 компонентів і за допомогою сполучення всі компоненти зібрані на один вузол. Основні досліджувані компоненти такі як обертальне жорно та нерухоме жорна проєктовані зберігаючи всі умови, які наведені в попередніх роботах.

Для виконання розрахункового аналізу виконано наступне.

У Flow Simulation створено проєкт дослідження за допомогою "Майстер проєкту", встановлені всі основні параметри проєкту; встановлені необхідні граничні умови моделювання; встановлена мета проєкту; проведено розрахунки

та оцінка точності розрахунку методом збіжності по сітці; отримані результати проаналізовано.

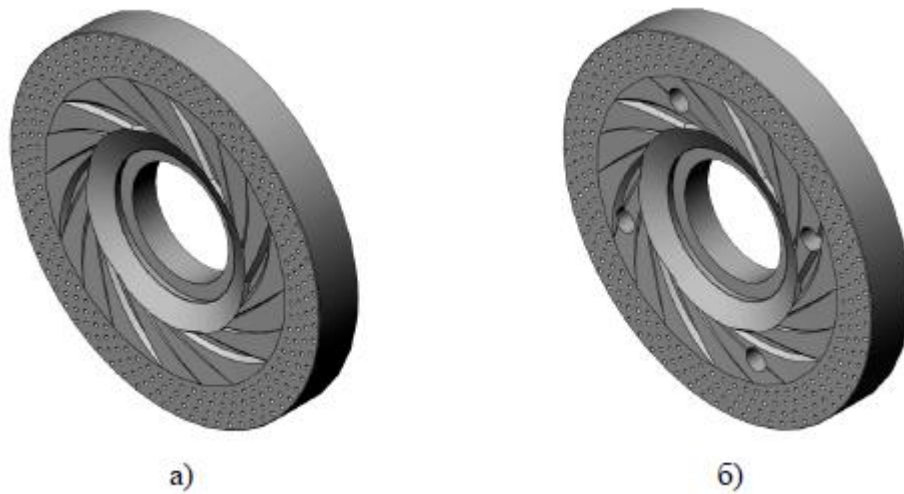


Рис. 3.2. 3D модель робочого органу жорна млина: а) обертальне жорно; б) нерухоме жорно.

В результаті були змодельовані газодинамічні процеси для знаходження таких параметрів як швидкість потоку, розподіл тиску, а також швидкість і траєкторія частинок. Їхня візуалізація представлена на рис. 3.3; 3.4; 3.5.

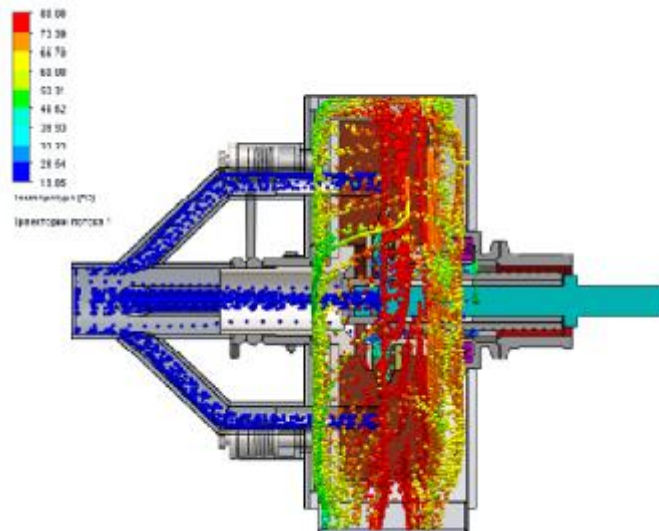


Рис. 3.3. Температура та траєкторія потоку

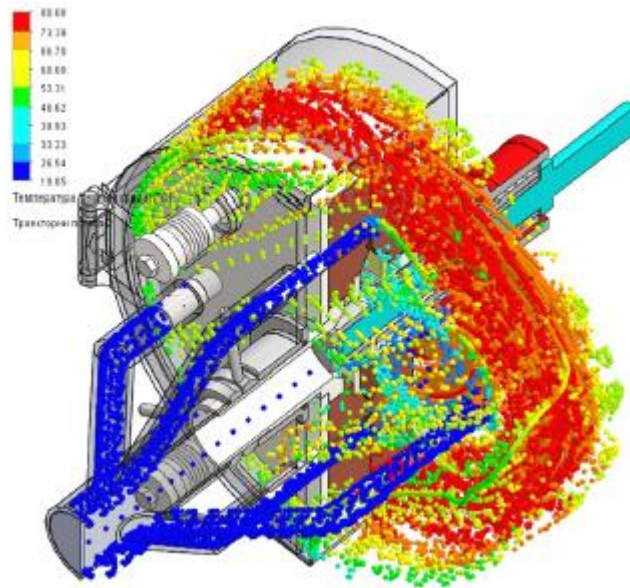


Рис. 3.4. Температура (текуче середовище) та траєкторія потоку

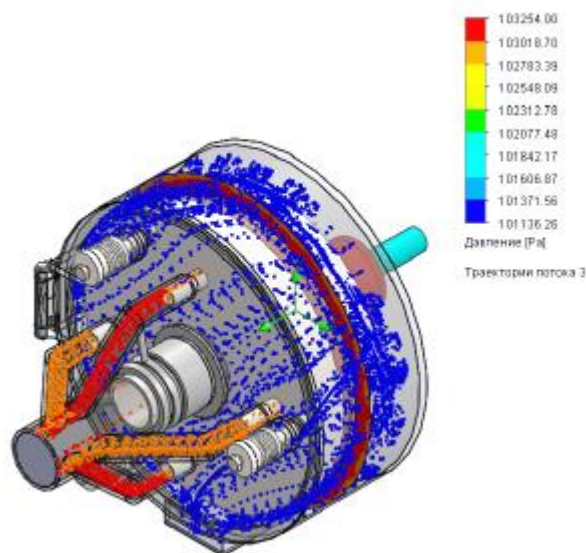


Рис. 3.5. Тиск та траєкторія потоку

Висновки по розділу

Проектовано 3D моделі жорнового млина з горизонтальною віссю обертання, де в нерухомому жорні просвердлені п'ять наскрізних отворів. За допомогою програмного модуля Solidworks Flow Simulation проведено дослідження розподілу повітряного потоку в робочому органі жорнового млина з

урахуванням обертання рухомого жорна. Були визначені такі параметри як розподіл швидкості повітряного потоку та охолодження робочого органу. У кінцевих результатах побудовано графіки зміни величини швидкості повітряного потоку та зміну температури робочої зони млина. На основі побудованої 3D моделі аеродинаміки жорнового млина з горизонтальною віссю обертання можна проводити подальші розрахунки, а також удосконалювати конструкцію жорна млина даного типу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз та оцінка існуючих подрібнювальних машин зерна показав, що машини з ударними робочими органами та вальцьові машини не відповідають зоотехнічним вимогам, оскільки пилоподібні частинки (переподрібнені частинки розміром менше 0,2 мм) у кормі досягають до 15%, які негативно впливають на травлення тварин і утруднюють проведені наступні операції (змішування, гранулювання). Разом з тим, виявлено доцільність застосування жорнових млинів для подрібнення зерна в корм, завдяки кращій якості помелу, що забезпечується багаторазовим впливом на зерно робочих поверхонь з природного матеріалу (жорнів) без удару та деформації та просуванням подрібненої маси по спіралеподібній борозні з невеликою швидкістю, зберігаючи всі найважливіші органічні та неорганічні речовини.

Недоліком жорнових млинів є те, що в процесі подрібнення зерна відбуватиметься велике виділення тепла та вологи, що утворюються клейстером, в результаті знижується якість продукту та продуктивність машини.

Вивчено передовий досвід при конструюванні машин даного типу та обґрунтування вибору багатофункціональної, малогабаритонної конструкції машини.

Для дослідження аеродинаміки робочого органу жорнового міні-млина були створені 3D моделі за допомогою програмного комплексу Solidworks. Як об'єкт моделювання повітряного потоку всередині робочого органу було обрано інтегрований розрахунковий модуль Solidworks Flow Simulation який призначений для вирішення задач гідро газодинаміки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бачинська П. С., Харченко Є. І., Ноздрюхіна І. В. Технологічні властивості зерна пшениці різної крупності. *Хранение и переработка зерна*. 2017. № 1(209). С. 34–38.
2. Верещинський А. П. Наукові основи і практика підвищення ефективності сортових хлібопекарських помелів пшениці. Автореферат. 05.18.02 - Технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів і комбікормів, олійних і луб'яних культур. 2013. НУХТ. Київ. 37 с.
3. Возіян В. В. Вплив параметрів луцення та водотеплової обробки зерна на вихід і кулінарну оцінку плющеної крупи із пшениці спельти. *Зернові продукти і комбікорми*. 2017. Вип. 17 (1). С. 28–32.
4. Возіян В. В., Любич В. В., Сухомуд О. Г. Технологічні властивості зерна сортів пшениці озимої різного еколого-географічного походження. *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2013. Вип. 1(71). С. 121–125.
5. Герман М. М. Вплив мінеральних добрив і допосівної обробки насіння на формування фізичних властивостей тіста та хлібопекарські показники якості зерна пшениці м'якої озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. № 1. С. 99–102. DOI:10.31210/visnyk2012.01.23
6. Герман М. М., Маренич М. М. Якість зерна пшениці м'якої озимої та шляхи її підвищення. *Вісник Полтавської Державної Аграрної Академії*. 2013. № 4. С. 19–22. DOI:10.31210/visnyk2013.04.04
7. Господаренко Г. М., Любич В. В., Новіков В. В. та ін. Вплив типу зерна пшениці на техніко-економічні показники круп'яного виробництва та кулінарну оцінку готового продукту. *Вісник Уманського НУС*. 2017. № 1. С. 38–43
8. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О. Вихід і якість круп'яних продуктів із зерна сортів і ліній пшениць. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. Вип. 4. С. 11–17.

9. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., та ін. Якість крупи із зерна спельти та її зв'язок з умістом білка. Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету 2015. № 4(38) С. 11–15.

10. Гунько С. М. Вплив умов та тривалості зберігання на технологічні властивості зерна пшениці озимої. Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education. 2014. С. 17–28.

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

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

13. Дробот В. І., Михонік Л. А., Семенова А. Б. Порівняльна характеристика хімічного складу та технологічних властивостей суцільнозмеленого пшеничного борошна та борошна спельти. Хранение и переработка зерна. 2014. №4 (181). С. 37–39.

14. Дробот В. І., Михонік Л. А., Семенова А. Б., Фалендиш Н. О. Борошно стародавніх пшениць, продукти переробки круп'яних культур та шроти у технології хліба. Київ: ПрофКнига, 2018. 188 с.

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

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

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

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

19. Жигунов Д. О., Волошенко О. С., Хоренжий Н. В. Порівняльне дослідження показників якості цільнозернового пшеничного та спельтового борошна вітчизняного виробництва. Зернові продукти і комбікорми 2018. Vol. 18, І.3. С. 15–20.

20. Жигунов Д. О., Ковальова В. П., Жиронкіна Д. С. Аналіз якості борошна з різних регіонів України. Удосконалення технологічних процесів для харчових та зернопереробних галузей АПК Наукові праці. 2017. Т. 81. Вип. 2. С. 35–43.

21. Дерев'янка Д. А., **Павлущенко В. В.** *Машини для подрібнення сипучих харчових продуктів. Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики.* 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 93-97.

22. Дерев'янка Д. А., **Павлущенко В. В.** Вибір конструктивно-технологічної схеми жорнового мінімліна. *Збірник матеріалів ІХ Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”.* 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.