

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »
бакалавр, магістр

на тему: «Розробка та дослідження конструкції пневмомеханічного
лушпильника круп'яних культур»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Нестеренко Роман Миколайович
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Ветохін В.І.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: Бурлака О.А.
Прізвище та ініціали рецензента

ВСТУП

Забезпечення населення країни продовольством – головне завдання сільського господарства. Велику частку в отриманому обсязі продовольчої системи сировини займають круп'яні культури. При переробці круп'яних культур отримують продукти, які мають високі харчові та смакові властивості, володіють гарною засвоюваністю та іншими перевагами. Тому в даний час, у системі агропромислового комплексу, велика увага приділяється

питанням переробки крупи, ставляться завдання щодо створення нового обладнання, застосування енергозберігаючих технологій на основі сучасних досліджень науки і техніки. Такі завдання стоять і в галузі переробки зерна

гречки, де зростає актуальність питання швидкої та дешевої переробки отриманої продукції з урахуванням виробника.

В даний час, у сільськогосподарському та переробному виробництві спостерігається тенденція інтенсифікації технологічних процесів за рахунок застосування комбінованих робочих органів та способів. Це дає перевагу у збільшенні продуктивності за однакових витрат, причому істотно знижується енергоємність технологічного процесу.

Проведений аналіз показав, що існуюча технологія переробки гречаного зерна передбачає багаторазовий вплив на продукт робочих органів машини, ціла система машин використовується як для приготування зерна до лущення (гідротермічна обробка, фракціонування тощо), так і для обробки продукту після лущення (розподіл продукту лущення на фракції). Однак існує можливість скоротити систему машин для переробки зерна гречки за рахунок застосування комбінованого способу впливу на матеріал, що переробляється. Одним з таких способів є пневмомеханічний спосіб лущення.

Застосування пневмомеханічного способу впливу на перероблений матеріал у круп'яному виробництві дає можливість суттєво скоротити технологічну лінію отримання крупи, що веде у себе скорочення робочих площ, кількості задіяного

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

устаткування, економію енергії. Це важливо під час переробки крупи на місцях її виробництва, тобто. безпосередньо у сільськогосподарських підприємствах.

Однак ефективне застосування запропонованого способу лушення зерна неможливе без розробки та обґрунтування оптимальних режимів роботи та конструктивних параметрів лушильної установки пневмомеханічного типу. В основі цих даних повинні лежати точні інженерні та техніко-економічні розрахунки про поведінку зерна в процесі взаємодії з робочими органами лушильника, експериментальні дані про фізико-механічні та технологічні властивості продукту, що переробляється.

Новизна роботи полягає в розробці конструкції пневмомеханічного лушення з криволінійною формою лопатей диска кидкового вентилятора і гвинтоподібної форми додаткового робочого органу лушильної камери в математичних залежностях, що описують взаємодії зерна з робочими органами пневмомеханічного лушення (лопата робочого колеса, лушильна камера); у математичній залежності енергії, що повідомляється зерніві від конструктивних параметрів (діаметр, кривизна і шорсткість лопаті), та частоти обертання робочого колеса кидкового вентилятора; у визначенні енергії, що витрачається на лушення зерна в лушильній камері, від його конструктивних параметрів (радіус, крок гвинта додаткового робочого органу, шорсткість робочих поверхонь) і швидкості повітряного потоку;

При використанні пневмомеханічного лушення виключається обладнання для поділу зерна на фракції за розмірами і для сортування продуктів лушення, підвищується ступінь лушення і зменшується дроблення зерна.

Аналітичні залежності та теоретичні висновки можуть бути використані конструкторськими організаціями та науково-дослідними установами при створенні нових конструкцій машин для лушення круп'яних культур.

Об'єкт дослідження. конструктивно-технологічна схема пневмомеханічного лушення та дослідження процесу взаємодії зерна з його робочими органами.

Предмет дослідження. Дослідження робочого процесу лушильника.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мета дослідження. Підвищення ефективності процесу лушення зерна круп'яних культур на основі розробки пневмомеханічного лушення, а також обґрунтування його основних конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи.

Практична значущість: - використання конструктивно-технологічної схеми пневмомеханічного лушильника в виробничих умовах; - отримані теоретичні залежності енергії сполученій зернівці кидковим вентилятором від конструктивних параметрів лопатевого диска та його частоти обертання, а також встановлені залежність енергії витрачається на відділення оболонки в лушильній камері від її діаметра, кроку гвинтового робочого органу, шорсткості робочих з можливістю використання даних при виробництві.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Основи технології круп'яного виробництва

Забезпечення населення країни продовольством – найважливіше завдання сільського господарства. Велику частку в отриманому обсязі продовольства займає крупа, як із цінних харчових продуктів. Вироби з неї володіють високими харчовими та смаковими властивостями, гарною засвоюваністю та іншими перевагами. Асортимент одержуваних круп має широкий спектр. Вітчизняні круп'яні заводи виробляють крупу з таких видів зернових культур: гречки, рису, проса, вівса, ячменю, кукурудзи, пшениці, бобової культури - гороху. Залежно від цього, яким способом вироблена крупа, її поділяють такі види: неподрібнена, дроблена, дроблена шліфувана, крупа підвищеної харчової цінності, отримана з різних видів крупи, крупа не потребує варіння [].

Технологічний процес виробництва крупи зазвичай складається з двох етапів: підготовчого та лушильного. На першому етапі зерно піддається очищенню від домішок, гідротермічної обробки та поділу на фракції. На етапі лушення знімаються квіткові плівки, плодові оболонки, видаляються зародки, надається крупі форма і розмір, проводиться сортування продуктів лушення.

Спрямоване на круп'яний завод зерно повинно відповідати певним нормам якості. Якщо зерно відповідає цим нормам, його підготовляють на елеваторах круп'яних заводів, попередньо очищаючи його, просушування. Від якості підготовки зерна до переробки залежить ефективність всього процесу одержання крупи. При цьому не можна змішувати зерно різних сортів, типів та підтипів, тому що їх технологічні властивості суттєво різняться.

Для таких культур, як гречка, овес, горох, пшениця, кукурудза при отриманні крупи застосовують гідротермічну обробку. Вона варта цілеспрямованого зміни технологічних властивостей зерна, підвищення міцності ядра, поліпшення відділення квіткових плівок, оболонок, зародка. При цьому для гречки, вівса та

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гороху застосовується гаряче кондиціювання з використанням водяної пари, а для пшениці та кукурудзи – холодне кондиціювання.

Для гідротермічної обробки круп'яного зерна зазвичай застосовують горизонтальний шнековий пропарювач безперервної дії або апарат Г.С. Неруша періодичної дії []. Пара, володіючи високою проникною здатністю, не тільки омиває зовнішню поверхню зерна, але і заповнює простір між його оболонкою і ядром. Оскільки поверхня зерна має нижчу температуру, ніж температура пари, він конденсується, рівномірно зволожуючи як зовнішню поверхню зерна, і внутрішні, приховані поверхні, що сприяє рівномірності зволоження всього зерна. Тривалість обробки зерна залежить з його технологічних властивостей, вихідної вологості, технологічних параметрів пропарювача.

Після пропарювання зерно піддають сушінню в сушарках, а потім охолоджують до температури, що не перевищує більш ніж на 6...8° температуру виробничого приміщення. Сушіння зерна застосовується для видалення точної вологи, підвищення міцності ядра, зниження міцності оболонок і квіткові плівки. Охолодження пропареного і підсушеного круп'яного зерна має відбуватися поступово та рівномірно, без різких температурних коливань, щоб не пошкодити ядро. Зерно охолоджують в аспіраційних колонках.

Оптимальні режими гідротермічної обробки дозволяють поліпшити технологічні властивості круп'яного зерна, збільшити вихід крупи, підвищити харчові переваги крупи, що виробляється. Поліпшення харчових переваг крупи відбувається в результаті збільшення кількості водорозчинних речовин, підвищення набухання крупи, скорочення тривалості її варіння.

Підготовлене першому етапі зерно надходить у лущильне відділення, де відбуваються такі операції: сортування зерна на фракції, лущення, сортування продуктів лущення, шліфування і полірування ядра, контроль отриманої крупи, побічної продукції та відходів (рис. 1.1).

Перша операція - сортування зерна на фракції, проводиться для того, щоб підвищити ефективність роботи лущильних установок. Після такого сортування

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

легше підібрати необхідний режим лушення, при якому найбільш якісно будуть зніматися оболонка і квіткові плівки. Також сортування зерна на фракції сприяє кращому поділу одержуваного продукту лушення.

Основна технологічна операція під час виробництва крупи – лушення.

Різна анатомічна будова та технологічне властивості круп'яних зернокультур викликає необхідність застосування різних способів лушення і внаслідок цього різних лущильних машин. Підбір машин для лушення насамперед здійснюється виходячи з міцності ядра і зв'язку його з оболонкою. Процес лушення є найбільш енергоємним у технологічній схемі отримання крупи.

Після лушення виникає необхідність сортування одержаного продукту, який складається з лущених і нелущених зерен, подрібненого ядра, лушпиння і муки. Оскільки фізико-механічні і технологічні властивості борошна, дроблянки і лушпиння істотно відрізняються від фізико-механічних і технологічних властивостей лушення і нелушення зерна, то їх виділення не становить особливих труднощів. Однак поділ лущеного зерна і нелущеного пов'язане з деякими труднощами через незначну відмінність їх будови. Тому для їхнього поділу застосовують машини принцип роботи, яких заснований на сортування продукту за щільністю та станом поверхні.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

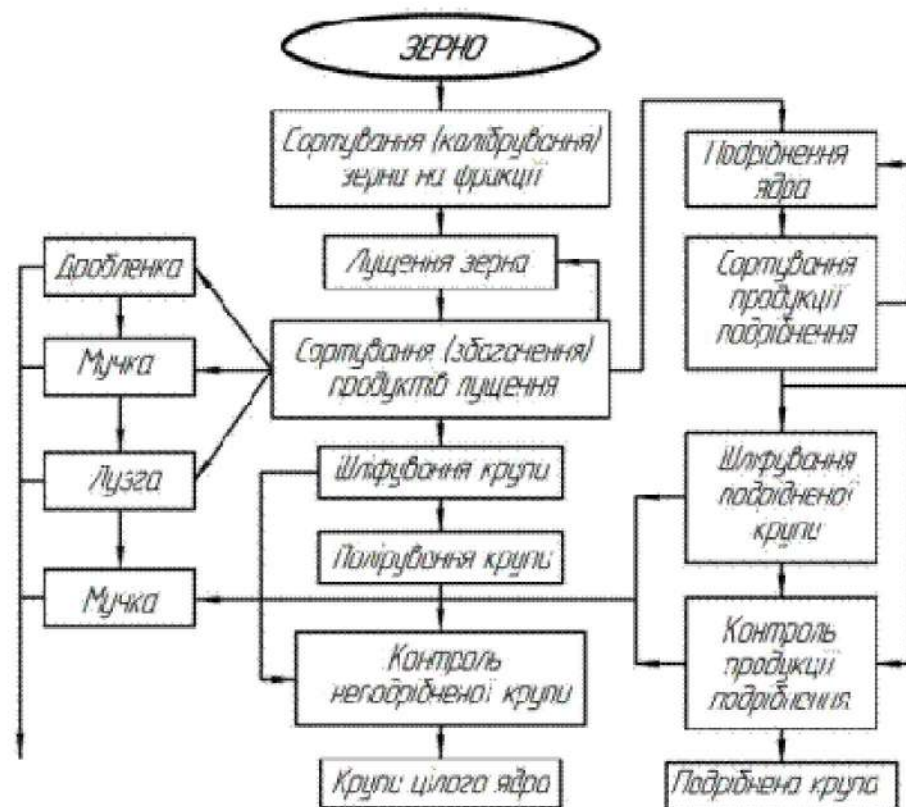


Рисунок 1.1 – Принципова схема технологічного процесу лушильного відділення круп'яного заводу

Для підвищення споживчих властивостей крупи та поліпшення її виду проводять її шліфування. У процесі шліфування з поверхні лущення зерна видаляються насінні або плодові оболонки, частково алеїроновий шар і зародок, а дробленим частинкам надається округла форма.

При виробництві деяких видів крупи передбачено дроблення або різання ядра, що лущене або нелущеного. Таку технологічну операцію застосовують при переробці ячменю в перлову та ячну крупу, пшениці в Полтавську крупу, а також вівса та кукурудзи в дроблену крупу. Для дроблення застосовує вальцові верстати, дискові та барабанні дробарки.

Для таких видів крупи як рисова та горохова застосовують полірування у поставах. Полірована крупа має гладку та блискучу поверхню. Цей процес сприяє підвищенню доброякісності ядра, але застосовується деколи через відсутність якісного обладнання.

Технологічний процес виробництва крупи завершує контроль отриманого продукту. Його застосовують індивідуально для різних культур з урахуванням вимог до якості круп, побічних продуктів та відходів.

Таким чином, аналіз основ технології виробництва круп'яних виробів показав суттєвий вплив фізико-механічних та технологічних властивостей об'єкта переробки на ефективність процесу, та складність технологічної схеми, що має враховуватися при розробці перспективних технологій та машин для лушення, а також обґрунтування їх параметрів.

1.2 Основні відомості про фізико-технологічні властивості зерна гречки

Характеристика, будова і склад гречки.

Гречана крупа відрізняється високою засвоюваністю, поживністю та гарними смаковими якостями. Вона в середньому містить: 14-18% білка, 2,5-3,0% жирів, 60-70% крохмалю, 2,0-2,5% цукрози. Крім того, в ній багато мінеральних солей: заліза (33,8 мг на 100 г), кальцію (200 мг на 100 г), фосфору (1500 мг на 100 г), а також органічних кислот (лимонної, щавельної, яблучної) та вітамінів В1, В2, В6, В9. У гречаній крупі міститься рутин (0,4-2,0% у розрахунку на суху речовину), що володіє антисклеротичними властивостями, що зменшує проникність і ламкість капілярів, а також має здатність виводити радіоактивні речовини з організму людини [1].

Весь представлений комплекс поживних речовин робить гречку найціннішим дієтичним продуктом. Більше того, гречана крупа легко розварюється і має високу калорійність.

Анатомічна будова зерна гречки показана на рисунку 1.3.

Плід гречки – зернівка – має форму тригранника, покрита твердою плодовою оболонкою. Вона не зростається з ядром, в основному складається з клітковини. Власне ядро складається з плодової оболонки ендосперму та зародка. Вага окремих

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частин зернівки становить (в % до ваги зернівки): 60-70 ендосперм, 20-30 - оболонка, 10-15 зародок: [].



Рисунок 1.3 – Мікрофотографія поперечного розрізу ядра гречки

Особливістю будови зерна гречки є розташування, розмір та форма зародка. Зародок насіння гречки є вигнутою пластинкою, більша частина якої укладена всередині ендосперму (рис. 1.3). Тому при лушченні ядро легко розколюється порівняно з іншими круп'яними культурами. Ваговий вміст зародка насіння гречки по відношенню до ядра досить велике і коливається в межах 12,0-15,0 % (для порівняння: у проса та вівса 3,0-4,0 %, ячменю 2,5-3,0 %, рису 4,0-6,0%). Цей показник значною мірою визначає поживну цінність крупи. Зміст зародка зерна гречки залежить від крупності зерна [].

Хімічний склад частин зерна гречки також відрізняється. У таблиці 1.3 наводиться хімічний склад зерна гречки у відсотках сухої речовини.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад частин зерна гречки, % на суху речовину

Найменування частин	Білок	Крохмаль	Жир	Зола	Клітковина
Плодова оболонка	2,1-3,1	1,0-1,3	0,4-0,7	1,5-2,5	40,0-70,0
Ендосперм	9,1-10,3	63-75	2,1-2,9	2,1-2,6	1,6-2,8
Алейроновий шар	45-55	-	-	-	-
Зародок	40,0-46,0	-	9,6-19,7	6,9-11,1	3,1-4,4
Зерно ціле	10,0-15,1	51-67	1,5-3,7	2,1	12-16

При переробці зерна гречки крім основних видів продукції ядриці та проділу, значною групою за кількістю та складом є лушпиння (22-27%). Луска майже не

містить поживних речовин, вона в основному складається з клітковини. Однак вона є багатим джерелом калійних добрив, у південних районах її використовують як паливо. Для тварин лушпиння використовують як добавка до білкового харчування. Лузгу можна використовувати також для виробництва поташу (вуглекислого калію), який використовується в скляному, миловарному виробництвах, для отримання барвників і деяких інших хімічних сполук.

Деякі дослідження дають підстави вважати, що з лушпиння можна виділити барвники. Продукти, одержувані при переробці зерна гречки (кормова мучка, відходи) містять велику кількість білків і жирів, тому служать кормом для свиней і птиці.

Фізико-механічні та технологічні властивості зерна гречки.

Під фізико-технологічними властивостями слід розуміти ті властивості, які істотно впливають на перебіг робочих процесів післязбиральної обробки, сушіння, зберігання та переробки у крупу.

До таких властивостей відносяться: геометричні розміри, маса 1000 насінин, форма, аеродинамічні властивості (коефіцієнт парусності, швидкість витання), натурі, сипкість, шпаруватість, плівчастість, міцність ядра і оболонки, пружність. Показники цих властивостей, залежно від сорту, природно-кліматичних умов зростання та агротехнічних умов обробітку знаходяться досить у широких межах, і можуть якісно змінюватися під впливом певних зовнішніх і внутрішніх факторів.

Розміри зерна гречки в залежності від вищевказаних умов знаходяться в таких межах: довжина - 4,4-8,0 мм; ширина - 3,0-5,2 мм; товщина - 2,0-4,2 мм.

Маса окремих зернин змінюється у межах. На практиці визначають масу 1000 насіння, що дозволяє більш об'єктивно судити про середню масу окремих зернин.

Гречка одна з небагатьох відомих круп'яних культур, зерно якої має своєрідну форму. У міделевому перерізі насіння має форму трикутника, що дозволяє сортувати її на ситах із трикутними отворами. При цьому зерна гречки

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проходять через отвір в результаті збігу форми і міделевого перерізу з формою отвору сита, а сміттєві домішки залишаються на ситі і йдуть сходом.

Хороша відчистка від домішок виходить, якщо гречку розсортувати на ситах із круглими отворами, та був кожен фракцію просіяти на решітках із трикутними отворами. На відміну від більшості круп'яних культур, у гречки розміри зерна і ядра в міделевих перерізах відрізняються на досить велику величину (0,6-0,9 мм), що дозволяє з більшою ефективністю відокремлювати ядро від не лущених зернин при переробки її на крупу.

З погляду лущення, важливе значення має морфологічна ознака, що розділяє різновиди гречки крилатою та безкрилою. Крилаті форми гречки відрізняються від безкрилих добре розвиненими облямівками на ребрах плодів і великою порожниною між ядром і плодовою оболонкою, завдяки чому в процесі його переробки ядро менше дробиться і легше відокремлюється від не лущеного зерна. Ознака крилатості кількісно оцінюється величиною різниці розмірів плоду та ядра. Цей показник має важливе технологічне значення. З нею тісно корелюють легкість лущення зерна, загальний вихід крупи та вихід ядриці.

Найбільший вихід, як правило, забезпечують сорти з різницею розмірів плоду та ядра в межах 0,8-0,9 мм. Дослідження форми та розмірів проведені в НДІ зернобобових і крупних культур показали, що зерна дрібних фракцій по крупності (сход з сит з отворами 3,8; 3,6; 3,4; 3,2 мм) мають різницю між висотою ядра і зерна 0,3-0,5 мм, що призводить до збільшення кількості подрібненого зерна при дії робочих органів лущильних машин. Для великої фракції (сходу з сита з отворами 4,5; 4,2 мм) - різниця по висоті зерна та ядра становила 0,7-1,0 мм. У великих різновидів ядро в повному обсязі заповнює оболонку, і тому залишаються порожнисті вершини.

Значний вміст порожнистих частин зумовлює порівняно невисоку щільність гречки, що коливається не більше 1,2-1,3 г/см³.

Для процесів післязбиральної обробки, підготовки до переробки та сортування продуктів переробки зерна гречки інтерес представляє свердловість.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під свердловістю слід розуміти відсотковий вміст порожнеч обсягу зайнятого зерновою масою гречки. Сважливість характеризує повітропроникність зернової маси та продуктів переробки, який визначає умови післязбиральної обробки, зберігання та сортування продуктів переробки. Важливими властивостями зернової маси у процесі переробки є

сипкість та здатність до самосортування. Сипучість характеризується кутом природного укусу, тобто. кутом конуса насіння біля основи утвореного при їх вільній засипці на горизонтальну площину.

1.3 Аналіз технологій та засобів механізації для переробки зерна гречки у крупу

1.3.1 Технологія переробки зерна гречки у крупу

Технологічний процес вироблення гречаної крупы можна представити наступною схемою: очищення від домішок - сортування очищеного зерна по крупності - лушення (відділення ядра від плодових оболонок) - сортування отриманої продукції.

Основною ланкою в цій схемі є лушення. Таку схему використовують на великих гречках переробних заводах, на круп'яних цехах при зернопереробних підприємствах, доповнюючи при необхідності іншими технологічними операціями. На підприємствах малої потужності, і в умовах сільськогосподарських підприємств розглянуту схему застосовують у спрощеному варіанті.

Гречана крупа повинна вироблятися із зерна гречки, що заготовлюється та поставляється за ГОСТ 19092-92, в якій визначено вимоги щодо базисних та обмежувальних кондицій, при переробці її у крупу. Залежно від способів отримання та якості гречану крупу поділяють на такі види: ядриця першого, другого сорту і проділ (на сорти не поділяються) виробляються з непропареного зерна шляхом відокремлення ядра від плодових оболонок; ядриця швидкокорозварюваного першого – другого сорту і проділ (на сорти не

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підрозділяється) виробляються з пропареного зерна шляхом відділення ядра від плодових оболонок.

До крупи-ядриці відносять цілі та надколоті ядра гречки, що не проходять через сито з розміром отворів $1,6 \times 20$ мм. Проділ є розколоті на частини ядра гречки, що проходять через сито з отворами $1,6 \times 20$ мм і проходять через сито дротяної сітки № 085 [].

Гречана крупа за якістю повинна відповідати наступним основним вимогам: колір кремовий з жовтуватим або зеленуватим відтінком, а для пропареної крупи, що швидко розварюється - коричневий різних відтінків; запах характерний для гречаної крупи даного виду, без затхлого пліснявого та інших сторонніх запахів; смак властивий гречаній крупі даного виду, без кислого, гіркого та інших сторонніх присмаків. Зміст металоманітної домішки на 1 кг крупи трохи більше 3 мг.

Зараженість у крупі не допускається []. Інші вимоги до гречаної крупи в залежності від виду та сорту представлені в таблиці 1.4.

Норми виходу крупи, побічних продуктів і відходів під час переробки гречки базисних кондицій рекомендовані Правилами організації та ведення технологічного процесу на круп'яних підприємствах, представлені у таблиці 1.5.

Основні етапи технологічного процесу вироблення крупи з гречки включають підготовку зерна та власне переробку, що здійснюються у трьох цехах: зерноочисному, гідротермічному та луцильному. Найбільш поширена схема технологічного процесу виробництва гречаної крупи представлена рис. 1.4.

На першому етапі основні операції такі: очищення зерна від бур'яну домішки, гідротермічна обробка (для вироблення пропареної крупи). Очищення зерна гречки здійснюється в зерноочищувальному відділенні, де воно піддається послідовному дворазовому сепаруванню в повітряно-ситових сепараторах, в яких виділяють основну масу домішок, у тому числі важковіддільних: дику редьку, жито, татарську гречку для зерна, через високий вміст рудяка (недорозвиненої гречки). Для виділення важковіддільних домішок (дикої редьки, мінеральної

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

домішки) гречку сортують у розсіваннях з різними наборами сит по формі отворів (круглі, довгасті, трикутні), що дозволяє виділяти зазначені домішки, при цьому в розсіваннях гречку поділяють на дві фракції: велику і дрібну. Велику фракцію піддають повітряному сепаруванню, а дрібну направляють на пневмосортувальний стіл або камневіддільну машину для виділення мінеральних домішок. Потім обидві фракції об'єднують і направляють у трієри - машини виділення довгих домішок (пшениця, овес та інших.).

Таблиця 1.4 – Вимоги до гречаної групи

Найменування показників	Характеристика та норми для		
	ядриці та ядриці швидко-розварювальні		проділу та проділу швидко-розварювання
	Перший Сорт	Другий сорт	
1. Вологість, % не більше			
а) для поточного споживання	14,0	14,0	14,0
б) для тривалого зберігання	13,0	13,0	13,0
2. Зміст доброякісного ядра, % щонайменше	99,2	98,4	98,3
у тому числі колоті ядра	3,0	4,0	—
3. Зміст нелущених зерен, % не більше	0,3	0,4	—
4. Зміст бур'янів, % не більше у тому числі:			
мінеральної, не більше	0,4	0,5	0,7
органічної, не більше	0,05	0,05	0,05
5. Вміст борошна, % не більше	—	—	0,5
6. Зміст зіпсованих ядер, % не більше	0,2	0,4	0,5
7. Розварюваність, хв (для крупи, що швидко розварюється)	25	25	15

В даний час, у круп'яній промисловості широке поширення отримала вироблення пропареної крупи, одержуваної із застосуванням особливої технології. При переробці цієї крупи зерно гречки піддають гідротермічній обробці: пропарюванню з подальшим підсушуванням для зміни структурно-механічних властивостей. Послідовність окремих операцій гідротермічної обробки відповідає процесу, що застосовується для інших культур. Відрізняються вони лише режимом впливу тепла та вологи. Гідротермічну обробку зерна гречки проводять у

пропарювачах порційної дії протягом п'яти хвилин, підтримуючи в них тиск пари 0,25...0,30 МПа.

Сушать зерно після пропарювання у парових сушарках до вологості 13,0...13,5 %. Після сушіння гречку охолоджують до температури не вище 30 градусів. Проміжок часу між пропарюванням і наступним сушінням зерна не повинен тривати більше 30 хвилин.

Таблиця 1.5 – Норми виходу крупи, побічних продуктів та відходів при переробці гречки

Продукти	Вихід крупи, %	
	Пропареної	Непропареної
Крупа ядриця		
1-го с.	59,0	52,0
2-го с.	3,0	4,0
Крупа проділ	5,0	10,0
Разом крупи	67,0	66,0
Борошно кормове	3,5	6,0
Відходи 1-ї та 2-ї категорії та механічні втрати	21,5	20,0
Кормові відходи	6,5	7,0
Усихання	1,5	1,0
Всього	100	100

Воднотеплова обробка гречки дозволяє змінювати структурно-механічні властивості зерна гречки та її анатомічних частин: підвищується міцність ядра і воно менше дробиться, зростає крихкість оболонок. У результаті збільшується вихід ядриці на 7 ... 10% при одночасному зниженні виходу проділу, підвищується також загальний вихід крупи.

Крупа, виготовлена з пропареної гречки, добре зберігається. Однак при цьому гречана крупа втрачає кілька корисних вітамінів. []. Підготовлену гречку направляють у лушильне відділення.

У лушильному відділенні гречку сортують по крупності, лушать, сортують продукти лушення, контролюють крупу та відходи. Основна операція до лушення – це сортування чи калібрування. Сортують гречку в розсіваннях або крупосортування в два етапи: на початку проводять попереднє сортування, при якому гречку ділять на дві фракції, а потім остаточне при якому її поділяють на шість фракцій із застосуванням сітки діаметром 4,5; 4,2; 4,0 3,8; 3,6; 3,3мм.

Ретельне калібрування гречки на численні фракції крупно викликано, по-перше, конструктивними і технологічними можливостями існуючих лушильних апаратів; по-друге, необхідністю після лушення відокремити лушення ядро від нелущеного зерна. Недостатньо точне калібрування гречки до лушення в подальшому призводить до зниження виходу крупки, а також засмічення крупки нелущеними зернами, за розмірами, що збігаються з ядром, що призведе до випуску нестандартної продукції. Відповідність готової продукції стандартам визначається також вимогами, що пред'являються до матеріалу, що переробляється [].

Очищені та підготовлені фракції гречки направляють паралельним потоком на вальцедекові верстати для лушення. Режим лушення має бути таким, щоб кількість лушених зернин за один пропуск через вальцедековий верстат склало 20...40% для непропареного зерна і 25...55% для пропареного. Великі значення відносяться до лушення крупних фракцій, а менші - дрібних фракцій. При цьому кількість подрібненого ядра має перевищувати 2,5...3,5 % для непропареного зерна 1,5...2,5 % для пропареного. Великі значення відносяться до дрібних фракцій, а менші до великих.

Продукти лушення гречки кожної фракції сортують окремо у розсіваннях. Отримані продукти лушення направляють: лушення зерно з лушпинням в повітряний сепаратор для виділення лушпиння, а нелущене зерно повертають у вальцедековий верстат тієї ж системи для повторного лушення; ядриці з лушпинням також надходять на повітряне сепарування для виділення лушпиння, а ядриця - в контрольні розсіви; проділ - в розсів для виділення борошна і частинок лушпиння.

Ядрицю в розсіваннях контролюють двома потоками: з перших чотирьох фракцій (велика ядриця) і з п'ятої та шостої фракції (дрібна ядриця), підбираючи відповідні розміри сит у контрольних розсіваннях. Потім слідує повітряне і магнітне сепарування. Для контролю проділу застосовують розсіви з розміром отворів сита 1,6×20 мм і металоткане сито № 085. При цьому сход з сита 1,6×20 мм

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

направляють на контроль ядриці, а проділ на сите № 1,4 поділяють на два потоки по крупності. Кожен потік піддають триразовому сепаруванню в аспіраційних колонках, після чого обидва потоки об'єднують і направляють у магнітні сепаратори для виділення металоманітних домішок.

Луску контролюють також двома потоками в розсіваннях або крупосортувальних: перший потік з перших чотирьох фракцій, другий - з п'ятої та шостої фракції. Це з тим, що виділені під час контролю продукти лущення необхідно подавати для подальшої обробки з урахуванням їхньої крупності. Зміст частинок ядра в лущпинні (схід з сита № 1,4) не повинен перевищувати 1%. Мучка, отримана під час контролю проділу проходом металотканого сита № 085, надходить у магнітний сепаратор виділення металоманітної домішки.

Технологічну ефективність процесу переробки зерна гречки в крупу визначають з огляду на комплекс параметрів машин, що оцінюють ту чи іншу групу, прийнятої технологічної схеми. Однак, на практиці для оцінки технологічної ефективності переробки зерна в крупу в цілому, прийнято користуватися показниками, що характеризують технологічну ефективність лущення (див. форм. 1.1, 1.2, 1.3).

Технологічний процес вироблення гречаної крупы є складним, багатофакторним процесом з багатьма зовнішніми та внутрішніми зв'язками. Сучасні гречихопереробні підприємства оснащені складними машинами, установками, допоміжним обладнанням, приладами контролю та автоматичними системами управління. Залежно від потужності підприємства, типу встановленого обладнання, виду одержуваної продукції сучасні способи вироблення гречаної крупы умовно можна поділити на кілька груп.

Першу групу представляють технологічні схеми великої потужності, оснащені енергоємним обладнанням, що ефективно працює тільки за умови забезпечення великою кількістю сировини [1].

Друга група передбачає використання для підготовки зерна до лущення та крупосортування обладнання зернопереробних підприємств (мукомольних заводів,

хлібокомбінатів, елеваторів тощо). Цей спосіб застосовується на круп'яних цехах зернопереробних підприємств, де для підготовки до переробки, сортування продуктів лушення транспортування зерна і кінцевого продукту, контролю, аспірації, енергетичного забезпечення використовується те саме обладнання, що застосовується для виробництва основної продукції підприємства. Ця схема ефективно працює також за забезпечення досить великою кількістю сировини [].

Передумовою розвитку таких складних металоенергоємних технологічних схем є планове господарювання при переважній перевазі державної власності на основні засоби виробництва.

Особливості ринкових умов розвитку сільськогосподарського виробництва та зернопереробної галузі вимагають зміни технологічних основ виробництва гречаної крупи. Цьому сприяють такі фактори:

- зміна форми власності сільськогосподарського товаровиробника та гречанопереробних підприємств;
- відсутність планового держзамовлення на виробництво гречки;
- жорсткі обмежувальні вимоги стандарту під час приймання зерна та пов'язане з цим зниження закупівельних цін;
- збитки товаровиробника при переробці зерна на заводах через штучне зниження залікової ваги та норми виходу крупи;
- неможливість ефективного використання кормових та некормових відходів для господарських потреб;
- невиправдані транспортні та накладні витрати.

Все вищевикладене визначає розробку нових технологічних схем та створення технічних засобів, що ефективно працюють в умовах сільськогосподарського товаровиробника.

За останні роки розроблено велику кількість різноманітних способів, технологічних ліній малої потужності розрахованих для невеликих обсягів сировини []. Технологічні схеми даних підприємств можна як третю групу способу вироблення гречаної крупи. Ці підприємства обслуговують певні кушові зони.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вироблена на них крупа досить високої якості. Однак обладнання цих підприємств має високу енергометалоемність.

До четвертої групи способів вироблення гречаної крупи можна віднести технологічні схеми, що базуються на використанні автономних лушильних установок, що застосовуються в основному малими сільськогосподарськими товаровиробниками []. В даний час для лушення зерна гречки на місцях виробництва пропонується широкий спектр машин, різноманітних за конструктивно-технологічним виконанням. Вони базуються на традиційній технологічній основі, що передбачає проведення гідротермічної обробки та попереднього поділу зерна гречки на 5-6 фракцій по крупності, у результаті підвищується питома енергоемність процесу отримання гречаної крупи.

Конструктивно-технологічні схеми цих машин в основному є копіями вальцедекових верстатів, лушильних постав, роторних апаратів, що застосовуються в технологічних лініях гречанопереробних заводів і комплексів. Слід зазначити, що дані лушильні установки не можуть ефективно працювати без відповідної підготовки зерна до переробки і мають наступні істотні недоліки:

- низька продуктивність;
- не високий ступінь лушення;
- низький коефіцієнт вилучення ядра;
- високий ступінь засміченості продуктів лушення елементами зносу робочих органів.

Крім того, автономні лушення в більшості випадків створені без відповідного наукового обґрунтування. Ефективність функціонування розглянутих технологічних схем залежить багатьох чинників. Однак найбільш важливою ланкою, що визначає технологічну ефективність процесу вироблення крупи, є лушення, яке здійснюється лушильними машинами, що базуються на застосуванні різних способів впливу на зерно та конструктивно-технологічних схем робочих органів.

В даний час для лушення зерна гречки для різних груп технологій пропонується широкий спектр машин різноманітних за конструктивно-технологічним виконанням. Однак слід зазначити, що розробка та дослідження лущильної машини, яка могла б забезпечити високу продуктивність при одноразовому пропуску зерна через машину, не знижуючи при цьому технологічну ефективність, і дозволяє одержувати екологічно чистий продукт залишається невирішеним завданням.

Таким чином, аналіз технологічних основ отримання гречаної крупи та вимог, що висуваються до неї, доводить актуальність напрямків робіт з розробки перспективних технологій переробки гречки зі створенням лущильної машини, яка б за одноразовий пропуск максимально допустимий вихід крупи.

1.3.2 Аналіз машин для лушення зерна гречки

Виходячи з аналізів літературних джерел, слід зазначити, що розробка, конструювання та використання машин для лушення насіння крупних культур здійснюється в наступних найважливіших напрямках []:

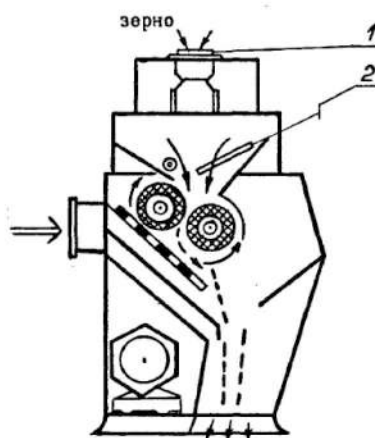
- вдосконалення конструкцій серійних установок, що базуються на механічному способі впливу;
- створення машин ударно-інерційного типу;
- розробка установок, заснованих на принципі впливу повітряного потоку високої швидкості;
- розробка та обґрунтування параметрів комбінованих установок, засновані на комплексному впливі перспективних способів лушення.

Перший напрямок заснований на вдосконаленні робочих органів серійних машин, розташування їх щодо подачі матеріалу, а також типу поверхні робочих органів. Цей напрямок є найрозвиненішим. Вітчизняна промисловість випускає, наприклад, лущильну машину ЗРД - 2,5 призначену для лушення зерна рису,

гречки та проса (рис. 1.5). Його робочими органами служать два валка, покриті гумою.

Валки обертаються назустріч один одному. Зерно надходить у робочу зону між валками, стискається і внаслідок різниці швидкостей робочих поверхонь відбувається зсув оболонок та звільнення ядра. Достоїнство таких лушення полягає у високій продуктивності (до 3 т/год), і ефективності лушення: ступінь лушення становить 85...90%, коефіцієнт вилучення ядра 0,80...0,90%. Однак при експлуатації цих машин швидко зношується поверхні робочих органів. Через кожні 3-5 діб слід змінювати гумові покриття, що призводить до подорожчання собівартості продукції. Крім того, частинки зносу засмічують лушене зерно. [].

За цим же принципом працює дводековий лущильний верстат 2ДШС-ЗБ (рис. 1.6). Лушпиння тут відбувається при впливі на матеріал трьох робочих поверхонь, одна з яких - валок, що обертається, а дві інші – нерухомі деки. Верстат поєднує два процеси лушення без проміжного обороту продуктів лушення. Недоліком цих машин є необхідність попереднього поділу об'єкта переробки на 5...6 фракцій за розмірами, внаслідок цього знижується продуктивність і ступінь лушення, крім того, ці машини мають велику металомісткість.



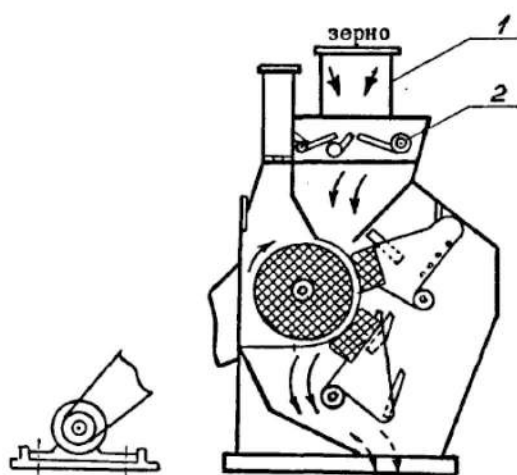
1 – приймальний патрубок, 2 – заслінка рейкова

Рисунок 1.5 – Схема лушення з гумовими вальцями ЗРД - 2,5

До цієї ж групи відносяться лущильна постава, де роль робочих органів відіграють два горизонтально розташованих наждачних кола, один з яких

обертається, лушення відбувається за рахунок сил стиснення і тертя про абразивну поверхню. Пости прості за конструкцією, але мають дуже низьку продуктивність і невисокий коефіцієнт вилучення ядра. Крім того, ступінь засмічення крупи, виробленої в постачанні елементами зносу робочих органів найбільш висока.

Установка представляє збірний зварний каркас, у верхній частині якого розміщений вузол механічної обробки зерна, виконаної у вигляді розташованих горизонтально шліфувальних кіл. У середині каркаса розташований сортувальний стіл. Є вентилятор для аспірації. Недоліком цієї машини є низька продуктивність (до 100 кг/год), а також засмічення продукту лушення абразивними частинками [1].



1 – приймальний патрубок; 2 – пристрій, що дозує

Рисунок 1.6 – Схема вальцевого верстата типу 2ДШС-3

Алтайський політехнічний інститут розробив пристрій для лушення, заснований на принципі лушення постав [2]. Пристрій містить корпус, привід, робочу циліндричну камеру, з розміщеним усередині вертикальним валом і закріпленому на ньому абразивними еліпсоїдними дисками різних діаметрів. При роботі цієї машини відбувається часткова релаксація внутрішньої напруги зернин, а це забезпечує зниження виходу дробленої продукції. Недоліком даної установки є циклічність роботи, що призводить до низької продуктивності, тут також відбувається засмічення крупи елементами зносу робочих поверхонь.

Розроблено універсальний пристрій для лушення, шліфування та полірування зерна, що є робочою камерою з підвідною, проміжною та вивідною

секціями, під дією яких зерно піддається відцентровому впливу і відбувається лущення, шліфування та полірування []. До недоліків розглянутого апарату відноситься мала продуктивність, а також складність його виготовлення.

Для лущення гречки в технологічних лініях гречихопереробних підприємств встановлені верстати типу СВУ-2 []. Робочими органами верстата є валок, що обертається, і нерухома дека. Також як і в верстаті 2ДШС-3, при використанні верстата для переробки гречки валок і деку виготовляють з пісковика, а для переробки проса валок виготовляють з абразивної маси, а деку з кордової гуми. Залежно від виду зерна, що переробляється, розмір і форма робочої зони між барабаном і декою в цьому верстаті різна. Необхідну форму та розмір встановлюють спеціальним механізмом. Недоліки цих верстатів аналогічні зі верстатами 2ДШС-3.

Зарубіжними фірмами також випускається великий асортимент лущителів даного напрямку. Так, Японська фірма «Сатаки» виробляє лущильники для рису у двох варіантах за продуктивністю та використання: HU-8s та HU-3s. Для охолодження валиків у лущичі встановлений вентилятор. Лущильник випускають з аспіратором і без нього. Ця ж фірма випускає лущильний постав S-100 []. Тут передбачено можливість дев'ятипозиційного регулювання інтенсивності та часу обробки зерног. Фірма "Бюлер" (ФРН) випускає чотиривальцевий верстат MDDK. У цій установці з метою підвищення продуктивності встановлено дві пари, що обертаються назустріч один одному, валиків [].

Позитивним у цього напрямку розвитку машин для лущення є - надійність, можливість швидкого впровадження в існуючі технологічні лінії крупозаводів. Однак при використанні таких установок в умовах малих господарств через неможливість виконання всіх необхідних підготовчих операцій набагато знижується продуктивність, ступінь лущення та коефіцієнт вилучення ядра. Усе це призводить до підвищення собівартості продукції. Крім того, елементи зношування робочих органів цієї групи машин засмічують крупу.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

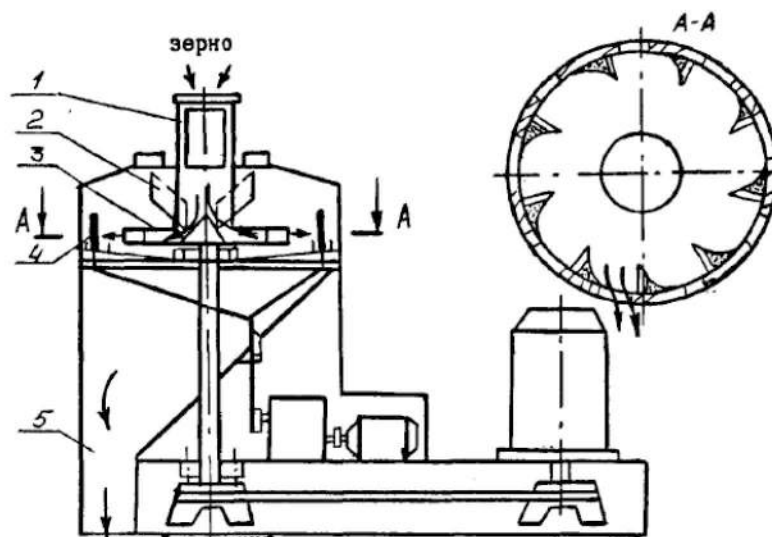
Машини другого напрямку становлять установки, засновані на принципі одного і багаторазового удару. Машини ударно-інерційного типу, в яких зерно лушиться за рахунок розгону лопатевим колесом і удару об еластичну, перфоровану або гладку поверхню обичайки, мають високу продуктивність, через те, що не вимагають попереднього поділу матеріалу на фракції. Вони дають досить високий рівень лушення, проте ступінь дроблення при цьому також залишається високим.

У цьому відношенні інтерес представляє пристрій для лушення зерна, розроблений Челябінським комбінатом хлібопродуктів, що містить лопатний ротор і відбивну деку (рис. 1.7).

На зовнішній поверхні ротора встановлюють необхідний кут вильоту зерновок залежно від культури і вологості. При цьому підвищується якість лушення, зменшується зношування робочої поверхні лопаті ротора. Ступінь лушення підвищується на 2...3 %, а вихід подрібненого зерна збільшується на 1...2 %. Однак ця машина також має порівняно низьку продуктивність. За цим же принципом працює машина для лушення вівса та гречки, створена у ВНДІЕКІПРОДмаші (рис. 1.8). Ця установка створена на базі лущильного верстата ЗШН-3 [1]. Замість абразивних кіл на вертикальному валу встановлені з інтервалом три лопатеві колеса.

Навпроти лопатевих коліс до мережевої обичайки прикріплені відбивні кільця. Лопатями зерно розганяється і відкидається на відбивне кільце. Після цього продукт лушення за допомогою прямого конуса переміщається на друге лопатеве колесо і процес повторюється. При окружній швидкості ротора 41 м/с досягається продуктивність 2,5...3,5 т/год із забезпеченням технологічного ефекту оптимальної області показників лушення [38].

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

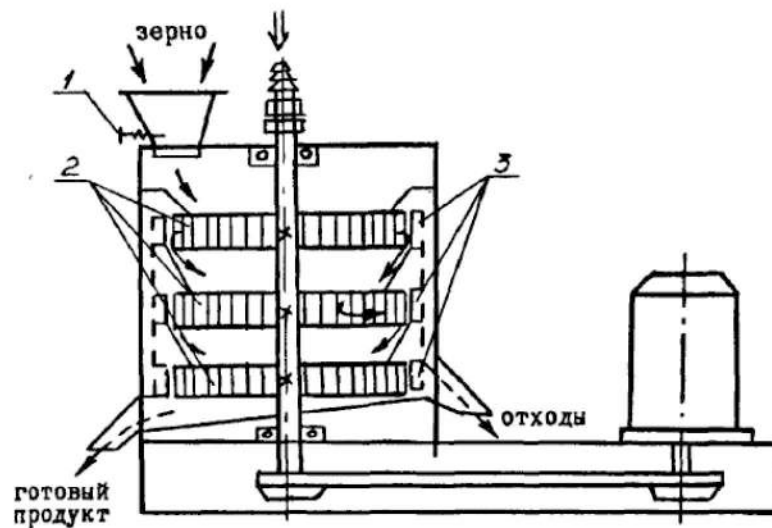


1 – патрубок приймальний; 2 – дозатор; 3 – лопатевий ротор; 4 – відбивна дека; 5 – розвантажувальний патрубок

Рисунок 1.7 – Схема луцильної конструкції комбінату хлібопродуктів

Створення луцильних машин ударного типу набуло широкого розмаху і за кордоном. Особливо у цьому напрямі процвітають фірми Японії та ФРН. Прикладом таких агрегатів є рисорушка ударного типу виробництва Японії []. Дана установка складається з вертикально валу, що обертається, на якому закріплений диск і на деякій відстані від нього - нижній диск, що формують канал віброживильника. З зовнішньої сторони, на певній відстані від нього розташована гумова циліндрична втулка, безперервно переміщується по висоті і обертається в напрямку, зворотному напрямку обертання віброживильника. Однак ця установка придатна лише для луцення рису та має малу продуктивність.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



1 – гвинтовий дозатор; 2 – лопатеві колеса; 3 – відбивні кільця

Рисунок 1.8 – Схема луцильної конструкції

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЗЕРНА З РОБОЧИМИ ПОВЕРХНЯМИ ПНЕВМОМЕХАНІЧНОГО ЛУЩИЛЬНИКА

2.1 Дослідження руху зерна в живильно-розгінній зоні пневмомеханічного луцильника

2.1.1 Аналіз руху частинки по лопаті кидкового вентилятора та обґрунтування її форми

В даний час, у сільськогосподарському та переробному виробництві, спостерігається тенденція інтенсифікації технологічних процесів за рахунок застосування комбінованих робочих органів та способів. Це дає перевагу у збільшенні продуктивності за однакових витрат, причому істотно знижується енергоємність технологічного процесу.

Проведений у попередньому розділі аналіз показав, що існуюча технологія переробки крупи, а зокрема зерна гречки, передбачає багаторазовий вплив на продукт робочих органів машини, ціла система машин використовується як для приготування зерна до лушення (гідротермічна обробка, фракціонування тощо).), так і для обробки продукту після лушення (розподіл продукту лушення на фракції). Однак існує можливість скоротити систему машин для переробки зерна гречки за рахунок застосування комбінованого способу впливу на матеріал, що переробляється. Одним з таких способів є пневмомеханічний спосіб лушення.

Застосування пневмомеханічного способу впливу на перероблений матеріал у круп'яному виробництві дає можливість істотно скоротити технологічну лінію отримання крупи, що веде за собою скорочення робочих площ, кількості задіяного обладнання, економію енергії. Це важливо при переробці круп на місцях її виробництва, тобто. у фермерських господарствах, колективних підприємствах та інших форм власності створених на базі колишніх колгоспів та радгоспів.

Здійснення способу пневмомеханічного лушення можливе на запропонованій установці (рис. 2.1). Розроблена луцильна установка складається з бункера-дозатора 1, вентилятора 2 з лопатевим колесом 3, луцильної камери 4 зі змінною гвинтоподібною робочою поверхнею, пневмосепаратора 5, циклону 6 з фільтруючим елементом 7, патрубк 8, рами 9, електродвигуна 10.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

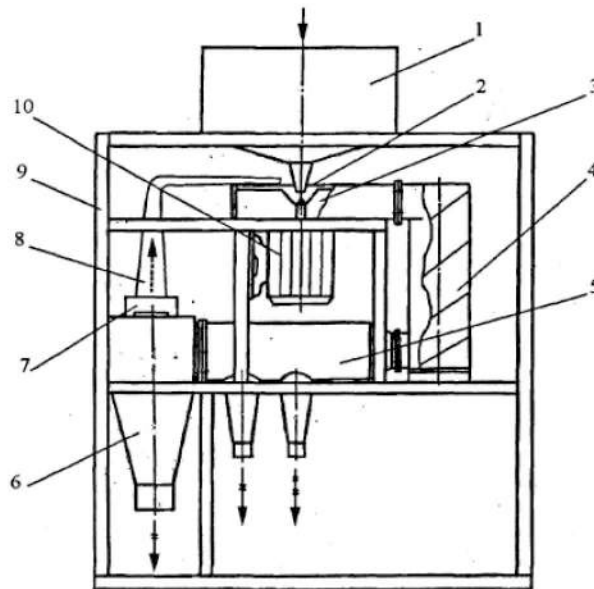


Рисунок 2.1 – Лушильна установка пневмомеханічного типу

Лушильник працює таким чином: зерно з бункера дозовано подається на лопатеве колесо вентилятора, яке розганяє порцію зерна разом з повітрям і подає в лушильну камеру (рис. 2.2), де за рахунок удару про робочу поверхню та прослизання по ній, а також під впливом повітряного потоку відбувається відділення оболонок від ядриці. Далі продукт лушення подається в пневмосепаратор, де відбувається його сортування. Борошно та пил осідають у циклоні та фільтруючому елементі. Очищене повітря по патрубку 8 відводиться у вентилятор. А.

Лушення здійснюється за рахунок удару з прослизанням про змінну гвинтоподібну робочу поверхню вертикальної лушильної камери з одночасним впливом повітряного потоку створюваного вентилятором. Таке виконання пристрою дозволить значно підвищити ефективність лушення зерна за рахунок наступного. По-перше, застосовуючи гвинтоподібні робочі поверхні з різного матеріалу, можна підібрати оптимальну для кожної культури. По-друге, змінюючи крок витків гвинтоподібної робочої поверхні, змінюється траєкторія удару зерна об неї і довжина проскользання, внаслідок чого також можна підібрати оптимальний режим роботи. Таке виконання пристрою дозволить значно підвищити ефективність лушпиння

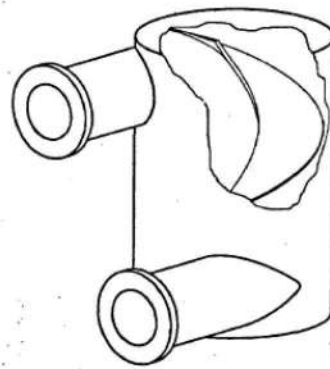


Рисунок 2.2 – Вертикальна лущильна камера з гвинтоподібною робочою поверхнею

В установці для пневмомеханічного лущення зерна як розгінного пристрою для продукту, що переробляється, використовується горизонтально встановлений кидковий вентилятор, лопаті ротора якого мають криволінійну форму. Для визначення конструктивних та кінематичних параметрів вентилятора необхідно розглянути рух зернівки по лопаті (рис. 2.3).

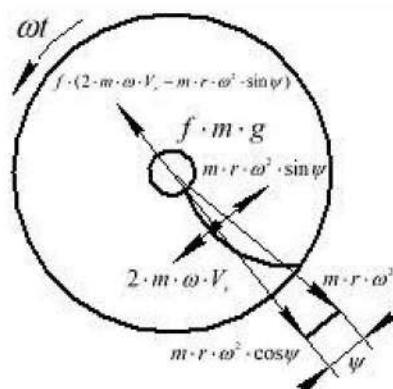


Рисунок 2.3 – Сили, що діють на зернівку при її русі по криволінійній лопаті кидкового вентилятора

При розглянутому русі на частинку діють такі сили:

1. Сила тяжкості – $m \cdot g$. При горизонтальному положенні диска та вертикальному положенні лопатки проекції цієї сили в площині диска та лопатки дорівнюють нулю; 2. відцентрова сила – $m \cdot r \cdot \omega^2$;

3. Сила тертя частинки на поверхні диска – $f \cdot m \cdot g$. Так як частка переміщується у відносному русі в площині лопатки, то ця сила також буде направлена по дотичній до вигнутої площини лопатки;

4. Сила Кориоліса. Величина цієї сили дорівнює $2 \cdot m \cdot \omega \cdot \xi$, де ξ – швидкість відносного руху частинки;

5. Сила тертя частинки на поверхні лопатки – $2 \cdot f \cdot m \cdot \omega \cdot \xi$. Поява цієї сили пов'язана з наявністю тиску частки на поверхню лопатки, що виник внаслідок наявності сили Кориоліса.

Дія перелічених вище сил на частинку при її русі по криво лінійної поверхні лопатки розглянуто П.М. Василенка. На основі аналізу цих сил їм було виведено диференціальне рівняння кутового переміщення матеріальної частки по криволінійній лопаті:

$$S'S'' = r \cdot \omega^2 \cdot r' - f \cdot g \cdot S' + f \cdot r^2 \cdot \omega^2 \cdot \varphi' - 2 \cdot f \cdot \omega \cdot S'^2, \quad (2.1)$$

де φ – кутове переміщення частки у відносному русі.

Для подальшого аналізу руху частинки по криволінійній лопаті кидкового вентилятора будемо користуватися цим рівнянням як основоположним.

Для визначення рівняння кривої скористаємося вищезгаданим диференціальним рівнянням кутового переміщення матеріальної частки у відносному русі. Рівняння кривої лопаті кидкового вентилятора має бути рівнянням зв'язку для вираження (2.1). Тільки в цьому випадку диференціальне рівняння кутового переміщення частки буде розв'язане. П.М. Василенко запропонував рівняння кривої, що є рівнянням логарифмічної спіралі []:

$$r = r_0 \cdot e^{a\varphi} \quad (2.2)$$

де r_0 – початкове значення координати r ;

φ – полярна координата;

a – постійна величина.

при цьому $S' = \sqrt{r'^2 + r^2 \cdot \varphi'^2}$ так як $\sqrt{r'^2 + r^2 \cdot \varphi'^2} = \lambda \cdot r'$. Застосування цієї умови дає можливість розв'язання рівняння (2.1).

Однак $S' = \sqrt{r'^2 + r^2 \cdot \varphi'^2}$ можна виразити й іншим способом:

$$\sqrt{r'^2 + r^2 \cdot \varphi'^2} = a \cdot \varphi' \quad (2.3)$$

У цьому випадку рішення рівняння (2.1) можливе із застосуванням іншого рівняння кривої лопаті. Поставимо завдання знайти рівняння кривої горизонтального перерізу лопатки кидкового вентилятора, застосовуючи умову (2.3), яку можна записати в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} r'^2 &= (a^2 - r^2) \cdot \varphi'^2, \\ r' &= \sqrt{a^2 - r^2} \cdot \varphi', \\ \varphi' &= \frac{r'}{\sqrt{a^2 - r^2}}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Продиференціюємо рівняння (2.4) та отримаємо [95]:

$$\varphi' dt = \frac{r' \cdot d \cdot t}{\sqrt{a^2 - r^2}}. \quad (2.5)$$

Розв'язавши рівняння отримаємо:

$$\begin{aligned} \int \varphi' dt &= \int \frac{r' \cdot d \cdot t}{\sqrt{a^2 - r^2}}, \\ \int d\varphi &= \int \frac{d \cdot r}{\sqrt{a^2 - r^2}}, \\ \varphi &= \int \frac{d \frac{r}{a}}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2}}, \\ \varphi &= \arcsin \cdot \frac{r}{a} + C \end{aligned} \quad (2.6)$$

Сталу C можна прирівняти до нуля, в наслідок чого отримаємо

$$\varphi = \arcsin \cdot \frac{r}{a}, \quad (2.7)$$

$$\sin \varphi = \frac{r}{a},$$

$$r = a \sin \varphi,$$

де $a = 2 \cdot r_1$.

Отримане рівняння – Полярне рівняння кола. Зауважимо, що в прямокутній системі координат це ж рівняння записується у вигляді:

$$x^2 + (y - r_1)^2 = r^2 \quad (2.8)$$

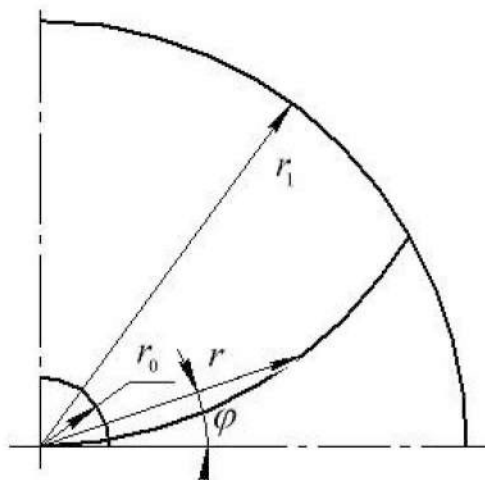


Рисунок 2.3 – Форма лопаті кидкового вентилятора

Таким чином, в результаті аналізу диференціального рівняння кутового переміщення матеріальної частинки по криволінійних лопатях отримано вираз, що описує форму лопаті кидкового вентилятора, на основі якого вона була побудована (рис. 2.3).

2.1.2 Дослідження руху зерна по криволінійній лопаті кидкового вентилятора та обґрунтування кута переміщення його в абсолютному русі до моменту зриву

Для знаходження конструктивних і кінематичних параметрів відцентрового вентилятора пневмомеханічного лушення необхідно досліджувати рух частинки по криволінійній лопаті вентиляторного диска. Припустимо, що в якийсь початковий

момент частка матеріалу поступила з нескінченно малою швидкістю на диск. Внаслідок обертання диска частка почне переміщатися по його поверхні та по поверхні лопатки. Кутове переміщення частинки у відносному русі по криволінійній лопаті було описано у вигляді диференціального рівняння (2.1). Розв'язання цього рівняння можливе у тому випадку, коли відомо рівняння кривої горизонтального перерізу лопатки, тобто коли задано рівняння зв'язку.

Таким чином рівняння полярне рівнянню окружності (2.7).

Запишемо $S' = a \cdot \varphi'$, $S'' = a \cdot \varphi''$, $r' = a \cos \varphi \cdot \varphi'$. Підставивши це рівняння в рівняння (2.1) отримаємо:

$$\begin{aligned} a^2 \varphi' \varphi'' &= a^2 \cdot \omega^2 \sin \varphi \cdot \cos \varphi' \cdot \varphi'' - f g a \cdot \varphi' + \\ &+ f \cdot a^2 \cdot \omega^2 \sin^2 \varphi \cdot \varphi' - 2 \cdot f \cdot a^2 \cdot \omega \cdot \varphi'^2 \end{aligned} \quad (2.9)$$

Скорочуючи рівняння (2.9) на $a^2 \varphi'$ маємо:

$$\begin{aligned} \varphi'' &= \omega^2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi - \frac{f \cdot g}{a} + f \cdot \omega^2 \cdot \sin^2 \varphi - 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \varphi', \\ \varphi'' + 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \varphi' - \omega^2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi - f \cdot \omega^2 \cdot \sin^2 \varphi &= -\frac{f \cdot g}{a}, \quad (2.10) \\ \varphi'' + 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \varphi' - \omega^2 \cdot (\sin \varphi \cdot \cos \varphi - f \cdot \sin^2 \varphi) &= -\frac{f \cdot g}{a}. \end{aligned}$$

Спростуємо

$$\begin{aligned} \sin \varphi \cdot \cos \varphi + f \cdot \sin^2 \varphi &= \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi + f \cdot \left(\frac{1 - \cos 2\varphi}{2} \right) \\ &= \frac{1}{2} \cdot \sin 2\varphi + \frac{f}{2} - \frac{1}{2} \cdot \cos 2\varphi = \frac{1}{2} \cdot (\sin 2\varphi - f \cdot \cos 2\varphi) + \frac{f}{2}. \end{aligned}$$

Тоді вираз (2.10) прийме вигляд:

$$\begin{aligned} \varphi'' + 2 f \omega \varphi' - \frac{\omega^2}{2} (\sin 2\varphi - f \cos 2\varphi) - \frac{f \omega^2}{2} &= -\frac{f g}{a}, \\ 2\varphi'' + 4 f \omega \varphi' - \omega^2 (\sin 2\varphi - f \cos 2\varphi) - f \omega^2 &= -\frac{2 f g}{a} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Замінемо $\alpha = 2 \cdot \varphi$, $\alpha' = 2 \cdot \varphi'$, $\alpha'' = 2 \cdot \varphi''$.

Тоді рівняння (2.11) запишемо так

$$\alpha'' + 2 \cdot \omega \cdot \alpha' - \omega^2 \cdot (\sin \alpha - f \cos \alpha) - f \cdot \omega^2 = -\frac{2 \cdot f \cdot g}{a} \quad (2.12)$$

Функції $\sin \alpha$ та $\cos \alpha$ замінімо їх розкладеними в степеневий ряд, обмежуючись першими двома членами, якщо $\alpha \ll 1$

$$\sin \alpha \approx \alpha - \frac{\alpha^3}{6}, \quad \cos \alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}$$

Тоді

$$\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha = \alpha - \frac{\alpha^3}{6} - f + \frac{f \cdot \alpha^2}{2} = \alpha \cdot \left(1 + \frac{f \cdot \alpha}{2} - \frac{\alpha^2}{2}\right) - f.$$

Відповідно рівняння (2.12) матиме вигляд

$$\alpha'' + 2 f \omega \alpha' - \omega^2 \alpha \left(1 + \frac{f \cdot \alpha}{2} - \frac{\alpha^2}{6}\right) = -\frac{2 \cdot f \cdot g}{a} \quad (2.13)$$

Для розв'язання рівняння (2.13) знайдемо умови, при яких, $\left(1 + \frac{f \cdot \alpha}{2} - \frac{\alpha^2}{6}\right) \approx 1$, для цього проведемо дослідження функцій

$$F(\alpha) = 1 + \frac{f \cdot \alpha}{2} - \frac{\alpha^2}{6},$$

де f – коефіцієнт тертя зерна по сталі.

При дослідженні даної функції можна прийти до висновку, що $F(\alpha) \approx 1$,

коли $0 \leq \varphi \leq \frac{3 \cdot f}{2}$.

Якщо $f = 0,37$, то $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{6}$.

Таким чином, рівняння (2.13) має вигляд

$$\alpha'' + 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \alpha' - \omega^2 \cdot \alpha = -\frac{2 \cdot f \cdot g}{a}, \quad (2.14)$$

$$2 \cdot \varphi'' + 4 \cdot f \cdot \omega \cdot \varphi'' - 2 \cdot \omega^2 \cdot \varphi = -\frac{2 \cdot f \cdot g}{a},$$

$$\varphi'' + 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \varphi'' - \omega^2 \cdot \varphi = -\frac{f \cdot g}{a}.$$

Характеристичне рівняння для виразу (2.14) буде:

$$k^2 + 2 \cdot f \cdot \omega \cdot k - \omega^2 = 0.$$

Загальний розв'язок цього рівняння запишемо в наступному вигляді:

$$\varphi = \varphi^* + \varphi^\bullet,$$

де φ^* – загальний розв'язок однорідного рівняння;

$\varphi^\bullet$ – частковий розв'язок однорідного рівняння.

$$\varphi^* = C_1 \cdot e^{k_1 t} + C_2 \cdot e^{k_2 t},$$

де $k_1 = (-f + \sqrt{f^2 + 1}) \cdot \omega = \lambda_1 \cdot \omega, k_2 = (-f - \sqrt{f^2 + 1}) \cdot \omega = \lambda_2 \cdot \omega.$

$$\varphi^\bullet = \frac{f \cdot g}{a \cdot \omega^2}.$$

Тоді рівняння (2.14) можна записати

$$\varphi = C_1 \cdot e^{k_1 t} + C_2 \cdot e^{k_2 t} + \frac{f \cdot g}{a \cdot \omega^2}.$$

Позначимо $\frac{f \cdot g}{a \cdot \omega^2} = D$, тоді

$$\varphi = C_1 \cdot e^{k_1 t} + C_2 \cdot e^{k_2 t} + D. \quad (2.15)$$

Використовуючи початкові дані: 1) $t = 0, \varphi = \varphi_0$, 2) $t = 0, \varphi' = 0$ знайдемо постійні:

$$C_1 = \frac{(\varphi_0 - D) \cdot k_2}{k_2 - k_1},$$

$$C_2 = \frac{(\varphi_0 - D) \cdot k_1}{k_2 - k_1}.$$

Підставивши постійні C_1 і C_2 в рівняння (2.15) отримаємо

$$\varphi = \frac{\varphi_0 - D}{k_2 - k_1} (k_2 \cdot e^{k_1 t} - k_1 \cdot e^{k_2 t}) + D, \quad (2.16)$$

$$\varphi' = \frac{(\varphi_0 - D) \cdot k_1 \cdot k_2}{k_2 - k_1} (e^{k_1 t} - e^{k_2 t}) + D \quad (2.17)$$

Для подальшого розв'язання рівняння (2.16) і (2.17) знайдемо

$$k_2 - k_1 = -\omega \cdot (\lambda_1 - \lambda_2),$$

$$k_1 - k_2 = \omega \cdot (\lambda_1 - \lambda_2),$$

$$k_1 \cdot k_2 = \omega^2 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2.$$

Підставляючи ці значення (2.16, 2.17) запишемо рівняння зміни відносного полярного кута при русі частинки по криволінійній лопаті (2.18) і рівняння зміни відносної кутової швидкості при русі частинки по криволінійній лопаті (2.19):

$$\varphi = \frac{\varphi_0 - D}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot (\lambda_1 \cdot e^{\lambda_2 \alpha x} - \lambda_2 \cdot e^{\lambda_1 \alpha x}) + D, \quad (2.18)$$

$$\varphi' = \frac{(\varphi_0 - D) \cdot \omega}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot (e^{\lambda_2 \alpha x} - e^{\lambda_1 \alpha x}), \quad (2.19)$$

При практичних розрахунках потрібно знання «робочого кута», тобто. кутове переміщення частки в абсолютному русі до моменту сходу її з лопатки в. Цей кут можна визначити в такий спосіб.

З рівняння 2.18. після підстановки в нього кінцевого значення кута φ та інших відомих постійних знаходимо значення кутового шляху частки при переносному русі $\alpha = \omega t$. У той самий час частка здійснить відносне переміщення лопаткою на кут $\varphi_1 - \varphi_0$.

Тому кутове переміщення частки в абсолютному русі буде:

$$\theta = \omega \cdot t + (\varphi_1 - \varphi_0). \quad (2.20)$$

Таким чином, отримані рівняння дають зв'язок між усіма параметрами, що характеризують рух частинки по криволінійній лопаті кидкового вентилятора. При

цьому, який параметр є шуканим, а який заданим залежить від технологічних вимог.

2.1.3 Обґрунтування оптимальної частоти обертання лопатевого диска кидкового вентилятора

Основна функція кидкового вентилятора в пневмомеханічній лушильній установці – розгін зерна і подача його на робочу поверхню. При цьому зернівка повинна отримати достатню потенційну енергію, необхідну для руйнування її оболонки. Для гречки були проведені лабораторні експерименти щодо визначення енергій необхідних для руйнування оболонок і ядра. Знаючи ці енергії, ми можемо встановити режим роботи кидкового вентилятора для отримання продукції оптимальної якості [].

$$\varphi = \frac{\varphi_0 - D}{k_2 - k_1} (k_2 \cdot e^{k_1 t} - k_1 \cdot e^{k_2 t}) + D$$

де $k_1 = \lambda_1 \cdot \omega$, $k_2 = \lambda_2 \cdot \omega$, $\lambda_1 = \sqrt{f^2 + 1} - f$, $\lambda_2 = -\sqrt{f^2 + 1} + f$.

Відповідно, рівняння 2.16 можна записати:

$$\varphi = \frac{\varphi_0 - D}{2 \cdot \sqrt{f^2 + 1}} (\lambda_1 \cdot e^{\lambda_1 \alpha} - \lambda_2 \cdot e^{\lambda_2 \alpha}) + D, \quad (2.21)$$

де $\alpha = \omega \cdot t$, $D = \frac{f \cdot g}{2 \cdot r_1 \cdot \omega^2}$.

При розрахунках значення D не можна враховувати, оскільки дуже мало, у розгорнутому вигляді рівняння 2.21. можна записати так:

$$\varphi = \frac{\varphi_0}{2 \cdot \sqrt{f^2 + 1}} \left(\frac{\sqrt{f^2 + 1} - f}{e^{(\sqrt{f^2 + 1} + f)^\alpha}} + (\sqrt{f^2 + 1} + f) \cdot e^{(\sqrt{f^2 + 1} - f)^\alpha} \right), \quad (2.22)$$

де f – коефіцієнт тертя зерна по поверхні лопатевого диска;

r_1 – радіус лопатевого диска.

Для подальшого вирішення поставленої задачі знайдемо значення α шляхом підстановки відомих значень в рівняння 2.22. для безпосередньо взятого кидкового вентилятора.

$$\text{Маємо: } f = 0,37; \quad r = 0,03; \quad r = 0,25; \quad \varphi = \frac{\pi}{6}; \quad \varphi = \frac{\pi}{60}.$$

Вирішуючи вказане рівняння методом наближень, знайдемо кутовий шлях зернівки у відносному русі: $\alpha = \omega \cdot t = 3,71 \text{ рад} = 212^\circ$.

Далі знайдемо кутову швидкість відносного руху. Запишемо рівняння 2.21. у вигляді

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{\varphi_0 - D}{2\sqrt{f^2 + 1}} \cdot (\lambda_1 \cdot e^{\lambda_2 \alpha x} - \lambda_2 \cdot e^{\lambda_2 \alpha x}) + D, \\ \varphi' &= \left[\frac{\varphi_0 - D}{2\sqrt{f^2 + 1}} \cdot (\lambda_1 \cdot e^{\lambda_2 \alpha x} - \lambda_2 \cdot e^{\lambda_2 \alpha x}) + D \right]', \\ \varphi' &= \frac{(\varphi_0 - D) \cdot \omega}{2\sqrt{f^2 + 1}} \cdot (e^{\lambda_2 \alpha x} - e^{\lambda_2 \alpha x}), \\ \varphi' &= \frac{(\varphi_0 - D) \cdot \omega}{2\sqrt{f^2 + 1}} \cdot \left(e^{(\sqrt{f^2 + 1} + f)^{\alpha x}} - e^{-(\sqrt{f^2 + 1} + f)^{\alpha x}} \right). \end{aligned} \quad (2.23)$$

Швидкість відносного руху $V_r = \sqrt{r'^2 + r^2 \cdot \varphi'^2}$. Для нашого випадку $\sqrt{r'^2 + r^2 \cdot \varphi'^2} = \alpha \cdot \varphi' = 2 \cdot r_1 \cdot \varphi'$. Відповідно:

$$V_r = 2 \cdot r_1 \cdot \varphi'. \quad (2.24)$$

Переносна швидкість рівна $V_e = \omega \cdot r$, а на краю диска

$$V_e = \omega \cdot r_1. \quad (2.25)$$

$$\text{Позначемо } \frac{(\varphi_0 - D)}{2\sqrt{f^2 + 1}} \cdot \left(e^{(\sqrt{f^2 + 1} - f)^{\alpha x}} - e^{(\sqrt{f^2 + 1} + f)^{\alpha x}} \right) = K, \text{ тоді}$$

$$\varphi' = K \cdot \omega. \quad (2.25)$$

Знаючи початкові параметри кидального вентилятора можна знайти K .

Користуючись рисунком 2.4, знайдемо абсолютну швидкість V_{abc}

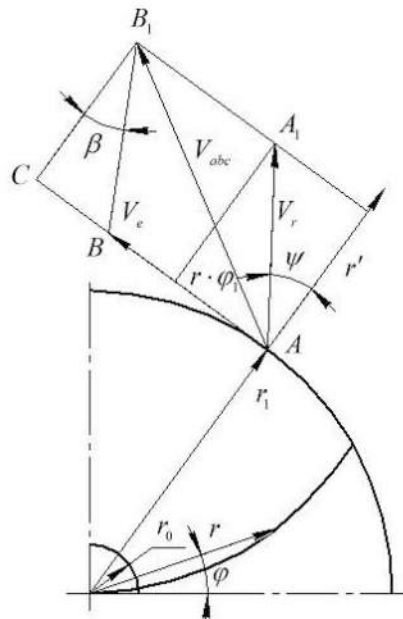


Рисунок 2.4 – До визначення швидкості руху зернівки по криволінійній лопасті видального вентилятора

$$\sin \psi = \frac{r \cdot \varphi'}{V_r}, \quad \text{але} \quad \text{знаючи, що } V_r = 2 \cdot r_1 \cdot \varphi' \quad \text{і} \quad r = 2 \cdot r_1 \cdot \sin \beta \quad \text{можна}$$

записати:

$$\sin \psi = \frac{2 \cdot r_1 \cdot \sin \beta \cdot \varphi'}{2 \cdot r_1 \cdot \varphi'} = \sin \beta \quad \text{або} \quad \psi = \beta.$$

Абсолютну швидкість руху зернівки знаходимо за формулою

$$V_{abc}^2 = A \cdot C^2 + B_1 \cdot C^2. \quad (2.27)$$

Але, знаючи що $B_1 C = V_r \cdot \cos \beta$, $AC = AB + BC$, $BC = V_r \cdot \sin \beta$, $AC = V_e + V_r \cdot \sin \beta$ рівняння 2.27 можна записати

$$\begin{aligned} V_{abc}^2 &= (V_e + V_r \cdot \sin \beta)^2 + (V_r \cdot \cos \beta)^2, \\ V_{abc}^2 &= V_e^2 + 2 \cdot \sin \beta \cdot V_e \cdot V_r + V_r^2 \cdot \sin^2 \beta + V_r^2 \cdot \cos^2 \beta, \\ V_{abc}^2 &= V_e^2 + 2 \cdot \sin \beta \cdot V_e \cdot V_r + V_r^2 \cdot (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) \end{aligned}$$

$$V_{abc}^2 = V_e^2 + 2 \cdot \sin \beta \cdot V_e \cdot V_r + V_r^2. \quad (2.28)$$

Підставимо це рівняння рівності 2.24 і 2.25 отримаємо

$$V_{abc}^2 = \omega^2 \cdot r^2 + 4 \cdot \sin \beta \cdot \omega \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot K \cdot \omega + 4 \cdot r_1^2 \cdot \varphi'^2.$$

Враховуючи рівність 2.26 можна записати

$$V_{abc}^2 = \omega^2 \cdot r^2 + 4 \cdot \sin \beta \cdot \omega \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot K \cdot \omega + 4 \cdot r_1^2 \cdot K^2 \cdot \omega^2,$$

$$V_{abc}^2 = \omega^2 \cdot (r^2 + 4 \cdot \sin \beta \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot K + 4 \cdot r_1^2 \cdot K^2). \quad (2.29)$$

В момент зриву зернівки з диска, тому рівняння 2.29 можна записати

$$V_{abc}^2 = \omega^2 \cdot \left(r_1^2 + 4 \cdot r_1^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot K + 4 \cdot r_1^2 \cdot K^2 \right),$$

$$V_{abc}^2 = \omega^2 \cdot r_1^2 \cdot (1 + 2 \cdot K + 4 \cdot K^2). \quad (2.30)$$

Для подальшого розв'язання поставленої задачі запишемо формулу визначення енергії руйнування зерна E_1

$$E_1 = \frac{m \cdot V_{abc}^2}{2},$$

$$E_1 = \frac{m}{2} \cdot \omega^2 \cdot r_1^2 \cdot (1 + 2 \cdot K + 4 \cdot K^2). \quad (2.31)$$

Знайдемо частоту обертання лопатевого диска кидкового вентилятора, необхідну для надання зернівці оптимальної енергії для якісного лушення

$$n = 13,5 \sqrt{\frac{E_1}{r_1^2 \cdot m \cdot (1 + 2 \cdot K + 4 \cdot K^2)}} \quad (2.32)$$

За рівнянням (2.32) побудована графічна залежність (рис. 2.5) зміни енергії сполученої зернівці від частоти обертання лопатевого диска кидкового вентилятора при постійному значенні його радіусу ($r = 0,25\text{м}$), шорсткості та формі лопаті.

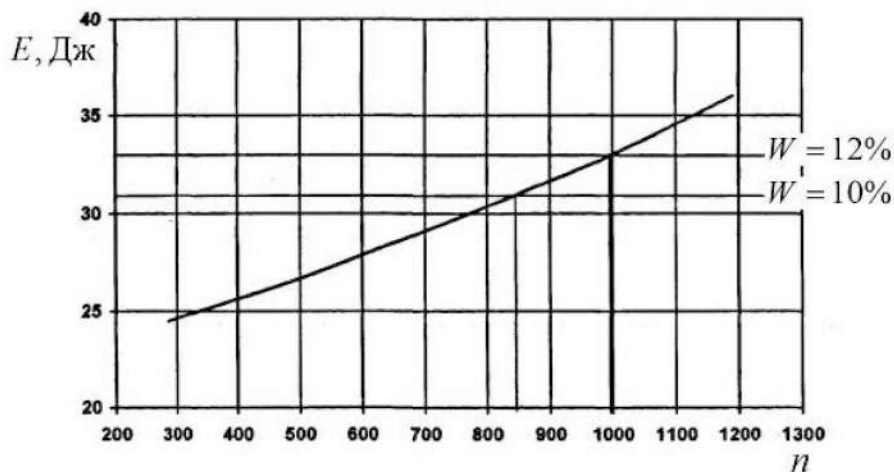


Рисунок 2.5 – Графік зміни енергії повідомленої зернівці від частоти обертання лопатевого диска кидкового вентилятора

Знаючи величини енергій руйнування ядриці та оболонки зерна гречки при різних вологості (визначаються експериментальним шляхом) можна обґрунтувати частоту обертання лопатевого диска, при якій зерно отримує необхідну енергію для якісного лушення.

2.2 Дослідження руху частинки у вертикальній лущильній камері пневмомеханічного лушення

Лущильна камера пневмомеханічного лушення є порожнистим циліндром з патрубками для входу і виходу зернового матеріалу, «встановленої всередині гвинтоподібної поверхнею (рис 2.2). Для оптимізації процесу лушення можлива зміна гвинтоподібної поверхні на іншу, виготовлену з іншого матеріалу або з іншим кроком витків.

При виході з кидкового вентилятора зерно має певну швидкість і вдаряється об гвинтоподібну поверхню (рис 2.5, 2.6). Удар відбувається під поверхню, а після удару зерно падає на неї і продовжує рух до виходу з камери. При цьому треба помітити, що маса гвинтоподібної поверхні у багато разів більша за масу зерна.

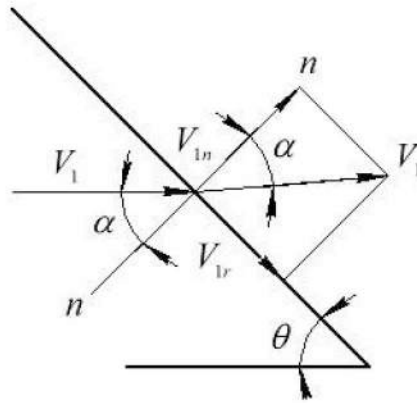


Рисунок 2.6 – Схема швидкостей зерна діють у момент удару його робочу поверхню

З рисунку можна записати

$$V_{1n} = V_1 \cdot \cos \alpha, \quad (2.33)$$

$$V_{1r} = V_1 \cdot \sin \alpha. \quad (2.34)$$

V_1 – швидкість польоту зерна до удару;

V_{1r} – складова швидкості зерна вздовж робочої поверхні;

V_{1n} – складова швидкості зерна нормалі до робочої поверхні;

α – кут між нормаллю та вектором швидкості;

θ – кут нахилу робочої поверхні.

Проекція на вісь n загальної швидкості зерна і похилої площини у випадку непружного удару обчислюється за формулою:

$$U = \frac{m_1 \cdot V_{1n} + m_2 \cdot V_{2n}}{m_1 + m_2},$$

$$U = \frac{\frac{m_1}{m_2} \cdot V_{1n} + V_{2n}}{\frac{m_1}{m_2} + 1}, \quad (2.35)$$

Маса нерухомої робочої поверхні досить велика, а її швидкість рівно нулю, тобто $m_2 = \infty, V_2 = 0$. Тоді: $U_n = 0$.

Проекція швидкості центра тяжіння зерна на вісь τ на початку і в кінці удару рівні, тобто

$$U_{1r} = V_{1r} = V_1 \cdot \sin \alpha . \quad (2.36)$$

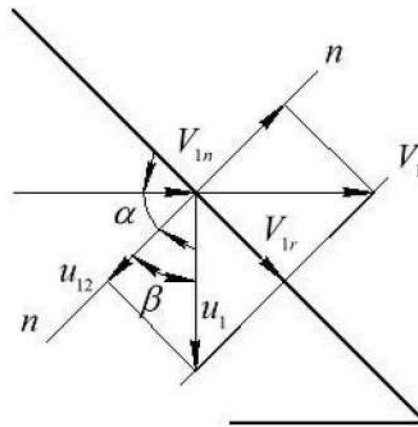


Рисунок 2.7 – Схема швидкостей зерна діючих після першого удару його об робочу поверхню

Проекція швидкості центра тяжіння зерна на вісь n в кінці удару визначається рівнянням:

$$U_{1n} = U_n + k \cdot (U_n - V_{1n}) . \quad (2.37)$$

де k – коефіцієнт відновлення.

Так як $U_n = 0$, то $U_{1n} = -k \cdot V_{1n}$. Ця складова направлена в протилежну сторону, ніж (рис.2.6).

Швидкість зерна U_1 після удару рівна

$$\begin{aligned} U_1 &= \sqrt{U_{1r}^2 + U_{1n}^2} , \\ U_1 &= \sqrt{V_1^2 \cdot \sin^2 \alpha + k^2 \cdot V_{1n}^2} , \\ U_1 &= \sqrt{V_1^2 \cdot \sin^2 \alpha + k^2 \cdot V_1^2 \cdot \cos^2 \alpha} , \\ U_1 &= V_1^2 \cdot \sqrt{\sin^2 \alpha + k^2 \cdot \cos^2 \alpha} . \end{aligned} \quad (2.38)$$

Кінетична енергія зерна після удару рівна

$$E_2 = \frac{m}{2} \cdot (\sin^2 \alpha + k^2 \cdot \cos^2 \alpha) \cdot V_1^2 . \quad (2.39)$$

Величина E_2 показує кількість кінетичної енергії, що залишається у зерні після удару об робочу поверхню. Величина цієї енергії менше E_2 – енергії, якою володіло зерно до початку зіткнення. Втрати кінетичної енергії при ударі показують енергію витрачену на лушення і вона буде рівною

$$\Delta E = E_1 - E_2. \quad (2.40)$$

$$\Delta E = \frac{m \cdot V_1^2}{2} \cdot (1 - k) \cdot \cos^2 \alpha. \quad (2.41)$$

Припустимо, що ця енергія розташовано перпендикулярно до першої, відповідно $U_2 = -k \cdot V \cdot \sin \alpha$.

Звідси

$$U_2 = k \cdot V. \quad (2.42)$$

Залишкова кінетична енергія після падіння зерна буде рівною

$$E_3 = \frac{U_2^2}{2} = k^2 \cdot \frac{m \cdot V^2}{2},$$

$$E_3 = k^2 \cdot E_1. \quad (2.43)$$

При цьому енергія витрачена на лушення буде рівною

$$\Delta E_1 = E_2 - E_3. \quad (2.44)$$

Після падіння швидкість зерна буде спрямована проти швидкості повітряного потоку, створюваного лопатями вентилятора. Отже швидкість зерна падає, і зерно починає підкорятися повітряному потоку. Потік обертається в камері навколо осі гвинтової поверхні, з'являється відцентрова сила, яка відносить зерно до стін камери. На цій ділянці пневмомеханічного лушення відбувається лушення зерна. При русі зерна по гвинтоподібній поверхні на нього діятимуть наступні сили:

- центробіжна сила $F = \frac{m \cdot V_3^1}{R},$

де V_3 – швидкість зерна;

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

R – радіус гвинтоподібної поверхні.

- проекція сили тяжіння зерна на нормаль до гвинтоподібної поверхні P (рис.2.7).

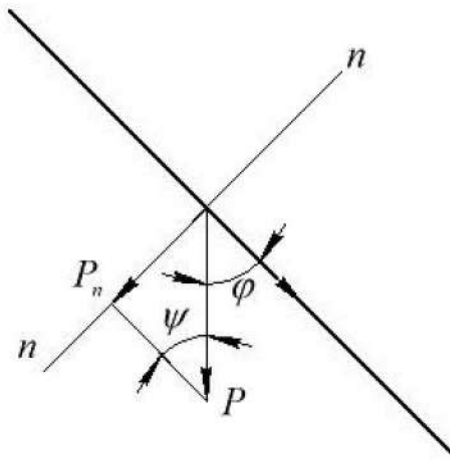


Рисунок 2.8 – Визначення проекційних сили тяжіння зерна

Робота лущення буде відбуватися на ділянці довжини S гвинтоподібної поверхні:

$$E_4 = (F \cdot f_1 + P \cdot f_2) \cdot S, \quad (2.45)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя зерна об стінку камери;

f_2 – коефіцієнт тертя зерна про гвинтову поверхню.

Зауважимо, що $\operatorname{tg} \psi = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{t}$ (рис. 2.7),

де t – крок гвинтоподібної поверхності.

Позначимо $\frac{2 \cdot \pi \cdot R}{t} = a$, тоді

$$\operatorname{tg} \psi = a, \quad \operatorname{tg}^2 \psi = a^2,$$

$$\frac{\sin^2 \psi}{\cos^2 \psi} = a^2,$$

$$1 - \cos^2 \psi = a^2 \cdot \cos^2 \psi,$$

$$\sin \psi = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\sqrt{t^2 + 4 \cdot \pi^2 \cdot R^2}}. \quad (2.46)$$

Відповідно:

$$P = mg \sin \psi = \frac{2mg\pi R}{\sqrt{t^2 + 4\pi^2 R^2}}. \quad (2.47)$$

На шляху гвинтоподібної поверхні виконується робота

$$E_4 = \left(\frac{m \cdot V_0^2}{R} f_1 + \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot m \cdot g \cdot f_2}{\sqrt{t^2 + 4 \cdot \pi^2 \cdot R^2}} \right) \cdot S. \quad (2.48)$$

Довжина даного витка гвинтоподібної лінії, буде рівною:

$$S = \sqrt{t^2 + 4 \cdot \pi^2 \cdot R^2}. \quad (2.49)$$

Тоді робота, що виконується на одному витку, буде рівною:

$$E_4 = m \cdot \left(\frac{f_1 \cdot V_0^2}{R} + f_2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot g}{\sqrt{4 \cdot \pi^2 \cdot R^2 + t^2}} \right) \cdot \sqrt{4 \cdot \pi^2 \cdot R^2 + t^2}. \quad (2.50)$$

$$E_4 = 4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot \frac{m \cdot V_0^2}{2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{t}{2 \cdot \pi \cdot R} \right)^2} + 2 \cdot \pi \cdot R \cdot m \cdot g \cdot f_2. \quad (2.51)$$

Таким чином, були отримані залежності, що дозволяють описати рух зерна в камері пневмомеханічного лушення за робочим поверхнею. Знаючи енергію необхідну для якісного лушення зерна надавши необхідне прискорення кидковим вентилятором можна знайти енергію витрачену на лушення при ударі робочу поверхню AE (2.41). Після удару зерно падає на гвинтову поверхню і відбувається другий удар. Знаючи енергію, що володіє зерном після першого удару ΔE і кількість енергії, що володіє зерном після другого удару (падіння) E_3 можна знайти кількість енергії витраченої на лушення при падінні ΔE_1 (2.44). Не вся енергія отримана зерном при виході з вентилятора буде витрачена на роботу лушення. Це компенсується рухом зерна по гвинтоподібній поверхні, де зерно отримує додаткову енергію лушення E_4 , при цьому вона повинна дорівнювати енергії недоотриманої при ударі і падінні, тобто $E_1 - (\Delta E + \Delta E_1)$. Знаючи величину E_4 можна визначити діаметр лущильної камери, крок гвинта робочого органу, шорсткість робочих поверхонь.

2.3 Дослідження руху зерна у пневмосепараторі

Визначення закономірностей руху зерна в пневмосепараторі можливе тільки на підставі дослідження процесу взаємодії сепаруючих продуктів з повітряним потоком. Поведінка зерна в повітряному потоці залежить від безлічі факторів, таких як швидкість повітряного потоку, конструкція сепаратора, форма, розміри продукту, що розділяється і т.д. [].

На думку М.Є. Гинзбурга, під час руху зерна повітряному потоці нього діє комплекс сил, які залежить від швидкості повітряного потоку V , прискорення вільного падіння g , коефіцієнта парусності частки k_n . Розглянемо рух зерна повітряному потоці (рис. 2.8), де R – опір повітряному потоку.

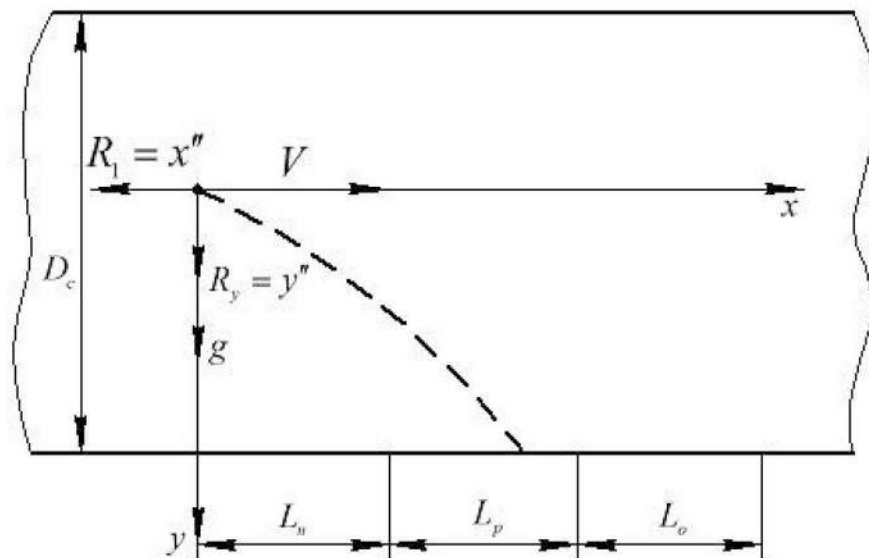


Рисунок 2.9 – До моделювання процесу пневмосепарації

Диференціальне рівняння руху зерна запишеться так

$$x'' = k_n \cdot (V - x)^2, \quad (2.52)$$

$$y'' = g. \quad (2.53)$$

Рівняння 2.53 після перетворення є

$$y = \frac{g \cdot t^2}{2} + C_3 \cdot t + C_4. \quad (2.55)$$

У початковий момент часу $t=0$, $x=0$, $y=0$, тому $C_4=0$. Відтак

$$y = \frac{g \cdot t^2}{2} + C_3 \cdot t,$$

$$y' = g \cdot t + C_3. \quad (2.56)$$

У початковий час $t = 0$ і швидкість зерна $y' = 0$, тому $C_3 = 0$, $y = \frac{g \cdot t^2}{2}$.

Звідси можна записати

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot y}{g}}. \quad (2.57)$$

Розглянемо рівняння 2.52, яке після перетворення можна записати так

$$(-(V - x'))' = k_n \cdot (V - x')^2. \quad (2.58)$$

$$\frac{((V - x'))'}{(V - x')^2} = -k_n. \quad (2.59)$$

Інтегруючи отримаємо

$$-\frac{1}{V - x'} = -k_n \cdot t + C_1. \quad (2.60)$$

У початковий час $t = 0$ власна швидкість зерна дорівнює нулю, тобто, $x' = 0$.
Виходячи з цього, вираз 2.60 запишеться у вигляді

$$-\frac{1}{V - x'} = -k_n \cdot t - \frac{1}{V}. \quad (2.61)$$

Після перетворень отримуємо

$$x' = \frac{V \cdot k_n \cdot t}{1 + k_n \cdot t}. \quad (2.62)$$

$$dx = V \cdot d \cdot t - \frac{V}{k_n} \cdot \frac{d \cdot (1 + k_n \cdot t)}{1 + k_n \cdot t}. \quad (2.63)$$

Вирішуючи рівняння 2.63 отримуємо:

$$x = V \cdot t - \frac{V}{k_n} \cdot \ln(1 + k_n \cdot t), \quad (2.64)$$

$$x = V \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot y}{g}} - \frac{V}{k_n} \cdot \ln \left(1 + k_n \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot y}{g}} \right). \quad (2.65)$$

Таким чином, ми знайшли рівняння, що характеризує поведінку частинки у рівномірному повітряному потоці

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Загальний план досліджень

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Програма проведення лабораторних та лабораторно-виробничих експериментів передбачала:

1. Визначення деяких фізико-механічних та технологічних властивостей зерна гречки;
2. Визначення максимальної різниці між енергіями руйнування оболонки та ядриці залежно від вологості зерна гречки.
3. Дослідження залежностей зусилля руйнування оболонки зерна гречки від її деформації при різних значеннях вологості.
4. Дослідження впливу режимів роботи пневмомеханічного лушення з вертикальною лущильною камерою, оснащеною спіралі-образної робочої поверхнею на ефективність лушення.
5. Визначення енергетичних показників робочого процесу лушення здійснюваного на запропонованій установці.
6. Визначення ефективності використання пневмомеханічної лущильної установки.

3.2 Методика лабораторних досліджень

3.2.1 Методика визначення деяких фізико-механічних та технологічних властивостей зерна гречки

Методика визначення плівчастості зерна гречки.

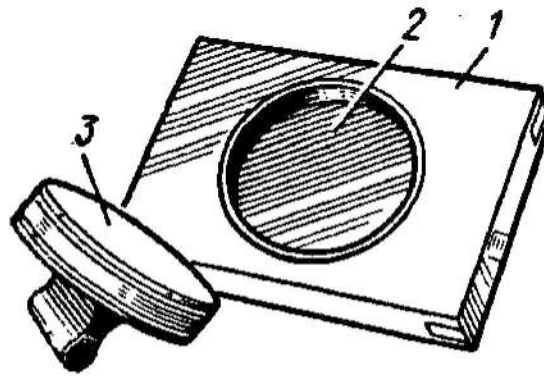
Визначення плівчастості зерна гречки зерна гречки проводилося по ГОСТ 10843-76. Для цього із середньої проби гречки виділялася навішення масою 25 грам. Далі гречка була звільнена від оболонок за допомогою лущильника Городецького (рис. 3.1).

$$P = \frac{M_0}{M} \times 100, \quad (3.1)$$

де M_0 – маса плодових оболонок, гр;

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

M – маса вихідної навішування, г.



1 – корпус; 2 – гніздо; 3 – тертка

Рисунок 3.1 – Луцильник Городецького

Показник плівчастості виражають у відсотках, обчислюючи з точністю до сотих часток, а кінцевий результат (середнє арифметичне за двома наважками) - до десятих часток відсотка. Розбіжність між результатами двох паралельних визначень допускається трохи більше 1% [].

Методика визначення аеродинамічних властивостей зерна гречки.

Визначення критичних швидкостей зерна гречки, ядриці, січки, лушпиння проводилися на лабораторному парусному класифікаторі з використанням тягонапометра ТНЖ-М, Підготовка зерна до дослідження здійснювалася за методикою встановленою в ГОСТ 10839-6.

У ході експерименту необхідно було визначити основні аеродинамічні властивості зерна гречки, що характеризують її поведінку в повітряному потоці []:

- критична швидкість

$$V_{KP} = 4 \cdot \sqrt{h_o}, \quad (3.2)$$

де h_o – динамічний натиск, кг/см²;

- коефіцієнт парусності:

$$K_n = \frac{9,8}{V_{kp}^2}, \quad (3.3)$$

- коефіцієнт аеродинамічного опору

$$\kappa = \frac{\kappa_n \cdot G}{9,8 \cdot \gamma \cdot F}, \quad (3.4)$$

де G – маса зерна, кг;

γ – щільність повітря, кг/м³;

F – міделевий переріз, м².

Методика визначення вологості зерна гречки.

Вологість зерна гречки визначалася шляхом висушування наважок в електричних сушильних шафах. Для визначення вологості зерна гречки використовувався шафа сушильна стерилізаційна ШСС - 80п, термометр ТПК-М, ваги ВЛКТ-500г/10 (рис .3.2)



Рисунок 3.2 – Шафа сушильна стерилізаційна ШСС – 80п, термометр ТПК-М, ваги ВЛКТ – 500г/10

Вологість зерна визначається у такому порядку. Беруться 5 бюкс та зважуються на терезах з точністю до 0,01 г. Близько 30 г досліджуваного зразка розмелюється і поміщається в окрему ємність з добре притертою кришкою. З цієї ємності за допомогою совочка відбираються порції вагою 5 г і поміщається у бюкси.

Попередньо нагріваємо сушильну шафу до температури 140 °С. Після цього поміщаємо бюкси у шафу, попередньо відкривши їх. Бюкси витримуємо в сушильній шафі протягом 40 хвилин при температурі 130±2°С. Після закінчення часу дістаємо бюкси з шафи, закриваємо кришками і охолоджуємо протягом 15...20 хвилин.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після охолодження бюкси з наважками та кришками зважуємо на терезах. По різниці в масі до і після висушування встановлюємо масу води, що випарувалася, яку виражаємо у відсотках до навішування масою 5 г.

Вологість розраховуємо за формулою []

$$W = \frac{(b - c) \cdot 100}{b - c}, \quad (3.5)$$

де a – маса бюкси з кришкою, г;

b – маса бюкси з кришкою і наважкою розмеленого зерна до висушування, г;

c – маса бюкси з кришкою і навішуванням розмеленого зерна після висушування, г.

Для кожної проби проводять два визначення вологості. Вологість досліджуваної проби виводять як середнє арифметичне цих двох визначень. Розбіжність між двома визначеннями допускається трохи більше $\pm 0,5\%$.

Методика визначення товщини оболонки зерна гречки.

Визначення товщини оболонки зерна гречки визначалося з допомогою мікрометра МК 0-25. Для цього було взято 100 зернин зерна гречки вологістю 14,33%. У кожного зерна було знято частину оболонки, яка і була виміряна мікрометром. За підсумками вимірів були побудовані раціональна таблиця і варіаційна крива, що характеризує розподіл товщини оболонки. Для зіставлення варіаційного ряду було знайдено середньоарифметичну величину t і середньоквадратичне відхилення σ []

$$t_{cp} = \frac{\sum m_i \cdot t_{cpi}}{\sum m_i}, \quad (3.6)$$

де m_i – вміст зерна в класовому проміжку (частота за кількістю), шт;

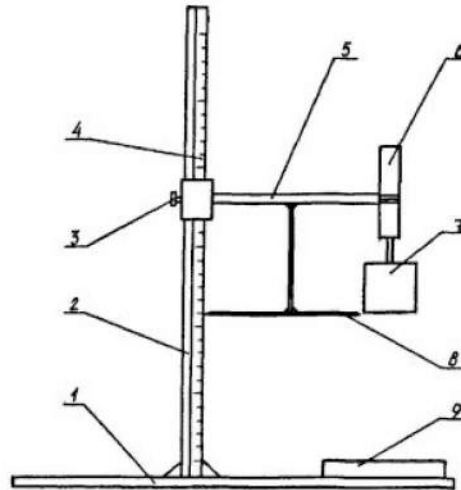
t_{cpi} – середнє значення товщини оболонки в класі, мкм.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (t_{cp} - t_{cpi})^2 \cdot m_i}{\sum m_i}}. \quad (3.7)$$

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Методика визначення максимальної різниці між енергіями руйнування оболонки та ядриці залежно від вологості зерна.

Згідно з програмою досліджень щодо визначення оптимальної вологості зерна гречки, для якісного лушення, була виготовлена лабораторна установка, що дозволяє визначити енергію руйнування як ядриці, так і гречки в цілому (рис 3.3).



1 – настановний майданчик; 2 - стійка; 3 – стопорний гвинт; 4 – лінійка; 5 – кронштейн; 6-тримач; 7 – вантаж; 8 – показчик; 9 – робоча площадка

Рисунок 3.3 – Схема лабораторної установки для визначення енергії руйнування

Лабораторна установка працює за наступним принципом: затискач підвішується вантаж певною масою m , і встановлюється на висоту h за допомогою переміщення кронштейна по стійці. Висота вантажу над робочим майданчиком контролюється показчиком за допомогою лінійки закріпленої на стійці. На робочу площадку встановлюється випробуваний об'єкт і нього виробляється скидання вантажу.

Після цього випробувань об'єкт візуально розглядається на наявність ознак руйнування, і за позитивного результату огляду записується висота падіння вантажу h . Так як об'єктом дослідження є визначення різниці між енергіями руйнування оболонки та ядриці зерна гречки, а не точного значення енергії, то припустимо, що вся енергія, що передається падаючим вантажем, випробуваному зразку витрачається на руйнування.

$$E = m \cdot g \cdot h, \quad (3.8)$$

де E – енергія руйнування, кДж;

m – маса вантажу, кг;

g – прискорення вільного падіння вантажу, м/с²;

h – висота підвішування вантажу, м.

За кожним значенням вологості випробування проходили 100 зернин гречки. При цьому визначалася мінімальна енергія руйнування оболонки та мінімальна енергія руйнування зерна. Відстань змінювалася від 35 до 100 мм.

Статистична оцінка експерименту проводилася за такими формулами []

$$E_{cp} = \frac{\sum E_i}{n}, \quad (3.9)$$

де E_{cp} – середнє значення енергії руйнування, кДж;

E_i – енергія руйнування окремого зерна, кДж;

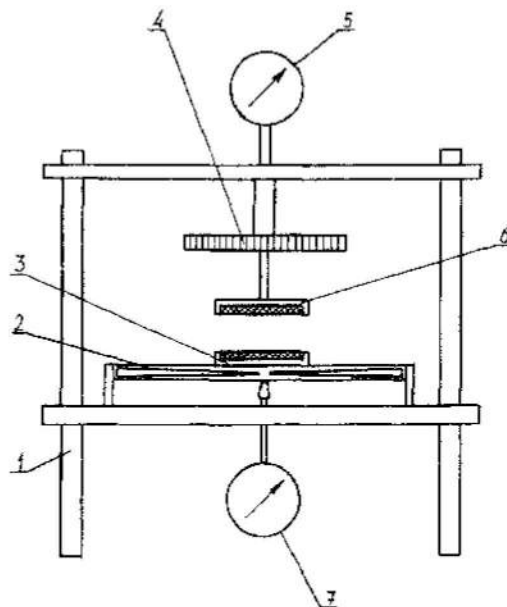
n – кількість зернин в експерименті, шт.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (E_i - E_{cp})^2}{n - 1}}, \quad (3.10)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення.

Методика дослідження залежностей зусилля руйнування структурних елементів зерна гречки від деформації при різних значеннях вологості.

Важливим фактором при вивченні закономірностей лущення зерна гречки є визначення зусиль необхідних для руйнування оболонок гречки або її зернівки при різних вологості. Для цих досліджень модифіковано лабораторний класифікатор руйнування, виготовлений на базі приладу типу ІДЦ-ЗМ (рис. 3.4, 3.5).



1 – стійка; 2 – пружина; 3 – нижня платформа; 4 – регулятор; 5 – верхній індикатор; 6 – верхня платформа; 7 – нижній індикатор

Рисунок 3.4 – Схема лабораторного класифікатора руйнування

Працює класифікатор в такий спосіб. Між робочими плат-формами, виготовленими зі сталі, укладається зернівка. Верхня платформа опускаючись на зернівку, за допомогою обертання регулятора, тисне на неї і надає руйнівну дію. Це зусилля відбивається на нижню форму, яка у свою чергу впливає на пружину прогинаючи її.

Переміщення верхньої платформи і прогин пружини фіксуються індикаторами годинного типу. Верхній індикатор показує деформацію, нижній зусилля стиснення. Досліди проводилися при п'яти значеннях вологості ($W = 9,85; 10,4; 11,8; 12,7; 13,9$) із зерном, що не пройшов гідротермічну обробку. Спочатку деформації-стиску піддавалася п'ятдесят зернин гречки в оболонці, а потім стільки ж ядриці. Мінімальне зусилля, у якому починається руйнація оболонки зерна гречки чи ядра є вихідним показником руйнування досліджуваного продукту. Дослідження мали своїм завданням визначити закономірності руйнування ядриці та оболонки та дати оптимальні області вологості з точки зору пошуку максимальної різниці між руйнівними зусиллями оболонки та зернівки насіння гречки.

Для обробки показань нижнього індикатора був побудований тарувальний графік (рис. 3.6). Тарування проводилося шляхом застосування статичного навантаження на нижню платформу (рис. 3.8). Отриманий графік тарування дозволяє визначити дійсне значення зусилля руйнування.

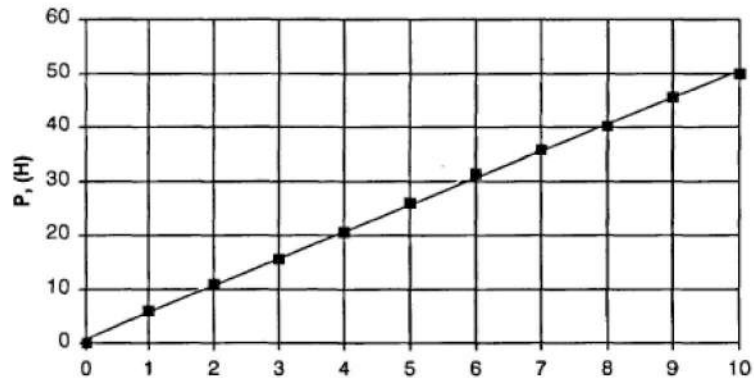


Рисунок 3.5 – Тарувальний графік

3.3 Методика лабораторно-виробничих досліджень

Для дослідження впливу режимів роботи пневмомеханічного лушчення на показники процесу лушчення була виготовлена лабораторно-виробнича установка (рис. 3.6), що складається з вентилятора, бункера для зерна, вертикальної лушильної камери з встановленою в ній гвинтовою поверхнею, електродвигуна, механізму зміни обертання вентилятора.

Установка дозволяє регулювати швидкість удару зерна про робочу поверхню (зміною частоти обертання), подачу зерна (зміною положення засувки в бункері для зерна), кут подачі зерна на лопатевий диск кидкового вентилятора (переміщенням бункера щодо осі вентилятора) робочої поверхні (заміною гвинтової поверхні іншу).

Для вимірювання частоти обертання ротора вентилятора використовувався годинний тахометр ТЧ-10-Р.

Для проведення дослідів були приготовлені партії зерна гречки з різною вологістю. Вологість зерна визначалася за методикою, описаною у пункті 3.2. До

кожного досвіду використовувалася порція зерна масою 1 кг. Сорт гречки – каракитянка.

Технологічні показники ефективності процесу лущення визначалися за формулами (1.1, 1.2, 1.3) описаним у розділі 1.

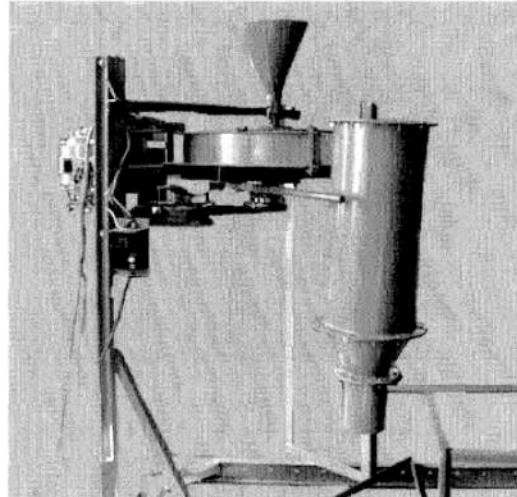


Рисунок 3.6 – Лабораторно-виробнича установка

Планування експериментальних досліджень

Планування експерименту полягає у виборі такої стратегії експериментування, яка дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії дослідів. Воно дозволяє визначити заздалегідь схему крокового процесу проведення експерименту, включити до нього мінімальну кількість дослідів при одночасному варіюванні всіма факторами без зниження кількості та якості одержуваної інформації.

Якщо експерименті одночасному варіюванню підлягають кілька чинників, такий експеримент називається факторним. У складному факторному експерименті рівні одного фактору поєднуються з рівнями всіх інших факторів. Під рівнями факторів розуміють значення їх величин, які приймають при варіюванні в експерименті, а фактори - незалежні змінні величини, які впливають на значення відгуку - результату досвіду залежить від них.

Одними з характерних факторів, що впливають на показники процесу лущення є такі незалежні величини: вологість зерна – W % і частота обертання лопатевого диска кидкового вентилятора – n об/хв. За функції відгуку прийняті:

коефіцієнт луцення – $K_{ш}$, коефіцієнт цілісності ядра – $K_{ц.я}$; ефективність луцення – $E_{шел.}$.

При проведенні дослідів використано загальноприйняту методику математичної теорії планування експериментів [1].

При виборі числа повторностей досвіду поставимо припустиму помилку ϵ , виражену в частках середньоквадратичного відхилення σ .

З класичної теорії помилок вимірів відомо, що результати багаторазових вимірів однієї й тієї величини повинні лежати в межах $\pm 3\sigma$. Тому, для скорочення числа експериментів, можна поставити помилку 3σ . Далі задаємо довірчу ймовірність, яка при звичайних дослідженнях у техніці дорівнює 0,7...0,9. По таблиці 4 вибираємо необхідну кількість повторностей досвіду – 3.

Обґрунтування рівнів та інтервалів варіювання факторів

При проведенні експериментів параметрами, що змінюються, є вологість зернового матеріалу – W %, і частота обертання лопатевого диска кидкового вентилятора – n об/хв.

Вологість зернового матеріалу повинна забезпечувати найбільшу різницю в руйнівних зусиллях ядриці та оболонки. Лабораторні досліді, проведені із зерном, показали, що це забезпечується при вологості зерна гречки від 9 до 14%. Тому при лабораторно-виробничих дослідженнях вологість гречки підтримувалася у вищевказаному діапазоні. Зусилля, що руйнується на оболонку зерна гречки багато в чому залежить від сили удару про робочу поверхню луцильної камери, а це в свою чергу залежить від частоти обертання лопатевого диска кидкового вентилятора. Раніше проведені лабораторні дослідження показали діапазон значень кінетичної енергії, при витрачанні яких відбувається якісне луцення зерна гречки. Теоретично, користуючись формулою 2.32, знайдемо діапазон змін частоти обертання лопатевого диска кидкового вентилятора – 800...1200 об/хв.

Дійсні та кодовані значення рівнів та інтервалів варіювання представлені в таблиці 3.1.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Значення рівнів і інтервал варіювання

Назва	Фактори		
	$W\%$	n об/хв	Код
Початковий рівень	12	1000	0
Інтервал варіювання	1,225	200	
Верхній рівень	14,5	1200	+1
Нижній рівень	9,5	800	-1

Для загального плану експерименту складаємо матрицю планування двохфакторного експерименту

Таблиця 3.2 – Матриця планування експерименту

№ досліду	Кодове позначення	Фактори та їх взаємодія		
		$W\%$	n об/хв	Код
1	(1)	-1	-1	+
2	W	+1	-1	-
3	N	-1	+1	-
4	Wn	+1	+1	+

Методика оцінки енергетичних витрат.

У процесі дослідження роботи пневмомеханічного лушчика необхідно визначити енергетичні витрати процесу отримання крупи, причому не тільки самої установки, але і всієї технологічної лінії. Для аналізу було розглянуто існуючі технології отримання крупи, як із гідротермічної обробкою зерна, і без неї. Показники потужності технологічного обладнання було взято з технічних характеристик [].

Визначення сумарної енергоємності процесу проводилося за формулою

$$E = \frac{\sum N_e}{P_q}, \quad (3.11)$$

де $\sum N_e$ – сумарна потужність технологічної лінії, кВт;

P_q – годинна продуктивність технологічної лінії, т/год.

Методика обробки результатів експериментів.

Однією із завдань статистичної обробки експериментальних даних – відшукування деяких величин, що характеризують виборну статистичну сукупність. Достатню інформацію про експеримент можна отримати за такими характеристикам: середнє значення – $\bar{x}$; стандартне відхилення (середнє

квадратичне відхилення) – S ; стандартна помилка (помилка середньої) $S_{\bar{x}}$; коефіцієнт варіації – v [].

Найбільш широко використовуваною характеристикою є середня арифметична, що є приватною від поділу суми значень всіх варіант на їх число:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum N_x}{n}. \quad (3.12)$$

Один із найважливіших статистичних показників – середнє квадратичне відхилення, характеризує розсіювання значень варіант стосовно середини розподілу, тобто. до середньої арифметичної

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (3.13)$$

де x – значення окремих варіантів;

$\bar{x}$ – середня арифметична;

n – число варіантів.

Середньоквадратичне відхилення – іменоване число і виявляється у тих самих одиницях, як і дані виміру. Це ускладнює порівняння різнорозмірних ознак з метою оцінки ступеня їх варіювання. Відносний показник мінливості досліджуваного матеріалу може бути обчислений у вигляді коефіцієнта варіації

$$v = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (3.14)$$

Одне з основних завдань статистичного аналізу – встановлення ступеня наближення оцінок (середньої арифметичної, середнього квадратичного відхилення та інших), обчислених для вибірки, до таких параметрів генеральної сукупності. Пряма перевірка цього, як правило, неможлива, проте теорія математичної статистики дає можливість з певною ймовірністю встановити межі, в яких знаходиться середня генеральна сукупність. Для цього обчислюється помилка середньої

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (3.15)$$

Ця величина, виражена у тих самих одиницях виміру, як і середня арифметична, характеризує помилку, яка допускається розглядаючи $\bar{x}$, як середньої генеральної сукупності. Враховуючи це, середню арифметичну записують зазвичай з її помилкою – $\bar{x} = \pm S_x$.

Межі, у яких перебуває генеральна сукупність, визначаються співвідношенням:

$$\bar{x} - t \cdot S_x \leq \mu \leq \bar{x} + t \cdot S_x, \quad (3.16)$$

де μ – середня генеральна сукупність,

t – критерій Стюдента (вибирається за таблицею).

Отримані значення експериментальних даних відображаються у вигляді графіків побудованих на ЕОМ в операційному середовищі MS Windows 98 SE за допомогою програми Microsoft Excel 2002 (10.4302.4219) SP-2. Рівняння регресії отримані у цій же програмі за допомогою поліноміальної функції другого ступеня «додати лінію тренду (апроксимація та згладжування)».

На закінчення можна відзначити, що описані методики дозволили достатньо всебічно дослідити і випробувати пропоновану луцильну установку пневмомеханічного типу і вирішити питання про доцільність застосування її в сільськогосподарському виробництві.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1 Визначення фізико-механічних та технологічних властивостей зерна гречки

Для обґрунтування технологічних та конструктивних параметрів пневмомеханічного лушчика необхідне знання та вивчення фізики механічних та технологічних властивостей зерна гречки.

Це дає можливість оптимізувати конструкцію установки та технологію лушчення для якісної роботи. Знання фізико-механічних та технологічних властивостей зерна гречки дозволяє порівняти досліджуваній об'єкт із стандартним за базисними кондиціями.

Визначення фізико-механічних та технологічних властивостей зерна гречки проводилося згідно з викладеною методикою. Для досліджень, як було зазначено, застосовувалися такі районовані сорти гречки, як «Каракитянка», «Казанська крупнозерна», «Черемшанка», «Кама», «Саулик».

Визначення плівчастості за п'ятьма сортами гречки проводилося при вологості об'єкта дослідження 13,9% (ГОСТ 135862-81 допускає не більше 14%).

Як видно з таблиці, плівчастість зерна гречки становить не більше 28%, що відповідає ГОСТу 10843-76, який передбачає плівчастість не більше 28%. Результати дослідження було зведено до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Плівчастість зерна гречки

№ п/п	Сорт гречки	Дослідні дані, %	Вимоги до стандарту, %	Відповідність вимозі
1.	Каракитянка	26,96	Не більше 28%	Відповідає
2.	Крупнозернова	27,84		Відповідає
3.	Черемшанка	27,75		Відповідає
4.	Кама	23,11		Відповідає
5.	Саулік	25,5		Відповідає

Визначення товщини оболонки зерна гречки проводилося при стандартній вологості досліджуваного об'єкта. Експеримент проводився за участю одного

сорту гречки – «Каракитянка», оскільки попередні дослідження показали мізерну різницю товщини оболонки між різними сортами. За підсумками вимірів було побудовано варіаційну таблицю 4.2. і варіаційна крива, що характеризують розподіл товщини оболонки (рис. 4.1).

Таблиця 4.2 – Варіаційна таблиця розподілу товщини оболонки гречаного зерна

Клас	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Всього
Границя класу	0,10 - 0,11	0,11 - 0,012	0,12 - 0,13	0,13 - 0,14	0,14 - 0,15	0,15 - 0,16	0,16 - 0,17	0,17 - 0,18	0,18 - 0,19	0,19 - 0,20	-
Середнє значення границі класу	0,105	0,115	0,125	0,135	0,145	0,155	0,165	0,175	0,185	0,195	-
Частота по кількості	10	27	20	9	9	8	7	4	4	2	100
Частота у відсотках	20	27	20	9	9	8	7	4	4	2	100

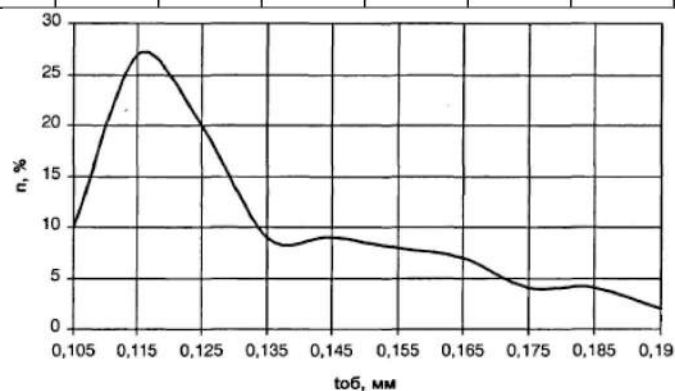


Рисунок 4.1 – Варіаційна крива розподілу товщини оболонки гречаного зерна
Аналізуючи отримані дані за описаною методикою, та обчислюючи формули (3.6, 3.7) отримуємо такі результати:

– середньоквадратична величина товщини оболонки зерна гречки:

$$t_{об} = 0,134 \text{ мм};$$

– середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = 0,021 \text{ мм}.$$

Визначення аеродинамічних властивостей (АДС) зерна гречки проводилось за відомими методиками. Для експериментів використовувалось осташення,

описане в третьому розділі, вологість досліджуваного матеріалу не перевищувала 14%. У ході досліджень було визначено властивості п'яти вище перерахованих сортів гречки. При дослідженні АДС січки, до цієї категорії відносилися частинки зерна, маса яких була не менше 50% від маси цілого зерна. Результати експериментів зведено до таблиці 4.3. Отримані дані дозволяють оцінити можливість сепарування продукту лушення після виходу з робочої зони пневмомеханічного лушення.

Таблиця 4.3 – Аеродинамічні властивості зерна гречки.

№ п/п	Сорт гречки		Швидкість вітання, м/с	Коефіцієнт парусності
1	Каракитянка	зерно	5,77...6,59	0,224...0,294
		ядриця	7,08...8,36	0,139...0,195
		січка	4,42...7,26	0,156...0,514
		лушпиння	1,50...2,74	0,804...4,820
2	Крупнозернова	зерно	5,09...6,73	0,211...0,375
		ядриця	6,61...8,75	0,169...0,179
		січка	4,40...6,91	0,192...0,518
		лушпиння	1,50...2,74	0,804...4,820
3	Черемшанка	зерно	4,44...6,30	0,230...0,490
		ядриця	6,40...7,74	0,160...0,232
		січка	5,18...6,76	0,207...0,365
		лушпиння	1,50...2,74	0,804...4,820
4	Кама	зерно	6,35...6,95	0,200...0,240
		ядриця	8,35...9,21	0,115...0,137
		січка	5,23...7,27	0,170...0,362
		лушпиння	1,48...2,98	0,600...4,800
5	Саулик	зерно	5,03...6,67	0,215...0,373
		ядриця	7,17...8,75	0,126...0,190
		січка	5,23...6,99	0,184...0,356
		лушпиння	1,61...3,07	0,352...4,612

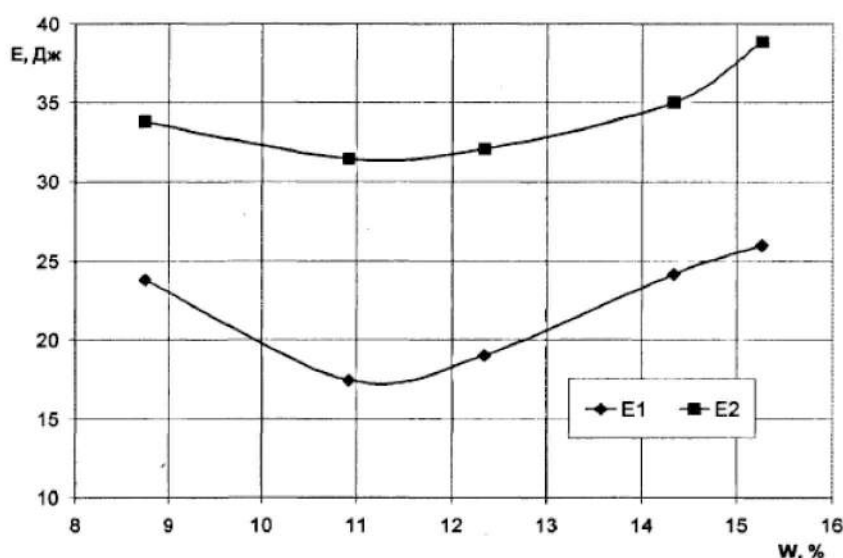
Як видно з результатів експериментів, досліджувана партія зерна відповідає базисним кондиціям для отримання крупи і, отже, може бути застосована для подальших експериментів.

4.2 Визначення максимальної різниці між енергіями руйнування оболонки та ядриці залежно від вологості зерна

У процесі розробки конструктивних параметрів пневмомеханічного лушчика важливо знати, за яких умов проводитиметься якісне відділення оболонки зерна від ядра. Також це дасть можливість визначити технологічний режим роботи розроблюваної установки. Для визначення таких умов знайдемо різницю між енергією затрачуваної на лушення зерна гречки і енергією затрачуваної на руйнування ядра при різних вологості.

Для знаходження різниці між енергіями руйнування оболонки та ядра були проведені експерименти, методика яких була описана у третій главі. Однак треба зауважити, що за описаною методикою знаходиться лише різниця між енергіями руйнування, а не дійсне її значення.

Експеримент проводився за п'ятьма значеннями вологості гречки



$E1$ – мінімальна енергія руйнування оболонки; $E2$ – мінімальна енергія руйнування ядра

Рисунок 4.2 – Графік залежності енергії руйнування зерна гречки від вологості

Визначивши вологість при якій різниця цих енергій найбільша, можна припустити, що проводячи лушення при даній вологості з визначеним технологічним режимом (зерно при ударі отримує енергію не більше чим енергія руйнування ядра) можна досягти оптимальної технологічної ефективності роботи пневмомеханічного лушення. За підсумками дослідження можна зробити

висновок, що лушення доцільно проводити при вологості зерна 10... 13%, однак слід мати враховувати те, що найбільша різниця між мінімальною енергією руйнування оболонки та мінімальною енергією руйнування ядра виникає при вологості 11...12%.

4.3 Дослідження залежностей зусилля руйнування оболонки та ядриці гречки від її деформації при різних значеннях вологості

Одним із важливих показників, що характеризують фізико-механічні та технологічні властивості зерна, є вологість, що впливає на різницю у величинах руйнівних зусиль оболонки та ядра зерна гречки. Чим більша ця різниця, тим ефективніший процес лушення з точки зору докладання необхідного зусилля для руйнування оболонки і при цьому збереження ядра в цілісності. Для лушення зерна гречки на існуючих машинах оптимальна вологість її після гідротермічної обробки вважається 12...13,5 %. Експерименти проводилися із зерном, що не пройшов гідротермічну обробку з вологістю 9,85; 10,4; 11,8; 12,7; 13,9%. Тип поверхні навантажувальних платформ - сталеві. Такий вибір був зроблений виходячи з того, що з обраного матеріалу виготовлені основні елементи пневмомеханічного лушення, в тому числі робочі поверхні. Зусилля, у якому починається руйнування продукту, прийнятий як вихідний показник лушення даного зразка, наступне зусилля, у якому відбувається стрибок деформації, є вихідним показником подрібненості даного зразка.

Результати проведених досліджень, опрацьовані в комп'ютерній програмі Microsoft Excel за допомогою функції "додати лінію тренда (ап-проксимація та згладжування)", показані на графіках 4.3, 4.4.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

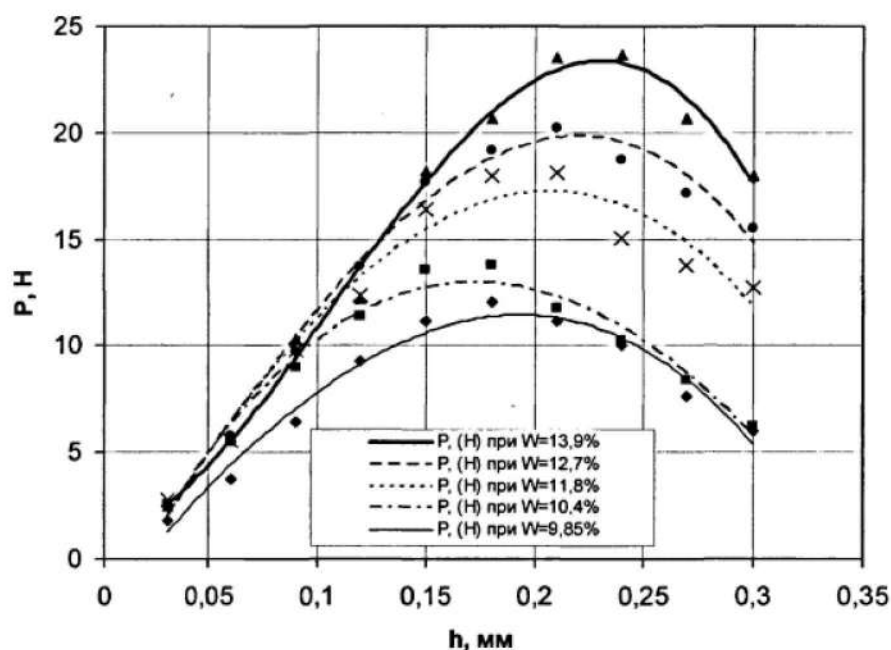


Рисунок 4.3 – Графік залежності руйнівного зусилля P від величини деформації ядриці зерна гречки при різних вологості

Внаслідок обробки дослідних даних графіка 4.3. у Microsoft Excel отримані такі рівняння регресії:

$$y_1 = 3135,3 \cdot x^4 - 4962,4 \cdot x^3 + 1374,3 \cdot x^2 + 3,8254 \cdot x + 1,384, \quad (4.1)$$

$$y_2 = -1090,3 \cdot x^3 + 18,704 \cdot x^2 + 150,17 \cdot x - 2,5097, \quad (4.2)$$

$$y_3 = -538,75 \cdot x^3 + 245,18 \cdot x^2 + 170,96 \cdot x - 2,816 \quad (4.3)$$

$$y_4 = 353,66 \cdot x^3 - 671,53 \cdot x^2 + 200,36 \cdot x - 3,4346, \quad (4.4)$$

$$y_5 = -548,04 \cdot x^3 - 153,66 \cdot x^2 + 120,77 \cdot x - 2,1898. \quad (4.5)$$

Внаслідок обробки дослідних даних графіка 4.4. отримані наступні рівняння регресії:

$$y_1 = 45,801 \cdot x^3 - 123,7 \cdot x^2 + 99,959 \cdot x - 3,1818, \quad (4.6)$$

$$y_2 = 46,321 \cdot x^3 - 130,89 \cdot x^2 + 105,53 \cdot x - 3,8163, \quad (4.7)$$

$$y_3 = -28,215 \cdot x^3 - 0,213 \cdot x^2 + 44,444 \cdot x + 1,0828, \quad (4.8)$$

$$y_4 = -24,264 \cdot x^3 + 1,3906 \cdot x^2 + 29,591 \cdot x + 2,3359, \quad (4.9)$$

$$y_5 = 6,2908 \cdot x^3 - 45,14 \cdot x^2 + 47,383 \cdot x + 0,6916. \quad (4.10)$$

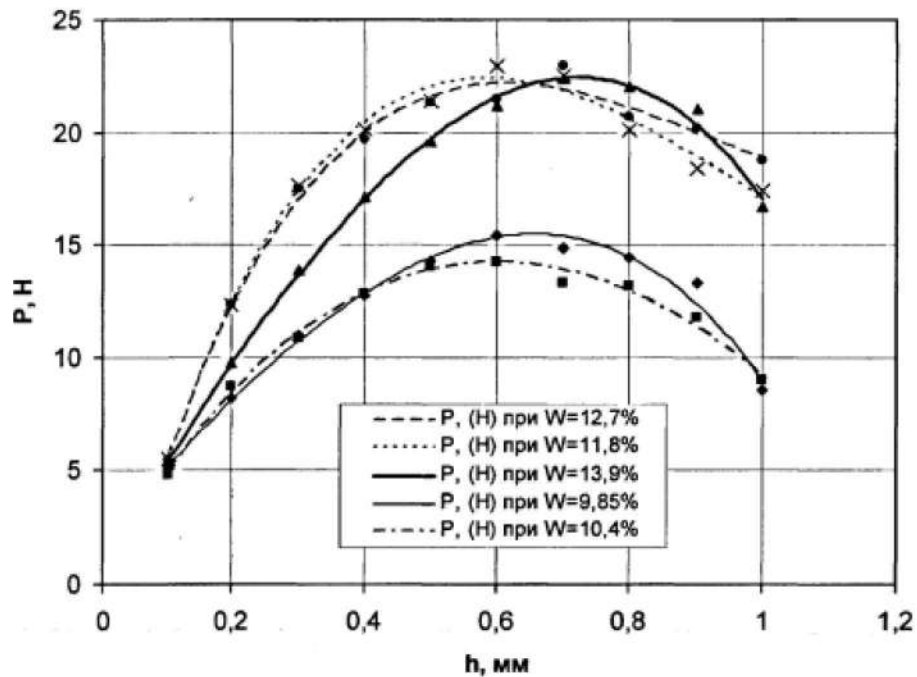


Рисунок 4.4 – Графік залежності руйнівного зусилля P від величини деформації оболонки зерна гречки за різних вологості

Аналізуючи процес виконання експерименту можна назвати, що значення руйнівного зусилля зростало зі збільшенням деформації досліджуваного об'єкта. Однак у певний момент часу руйнівне зусилля переставало збільшуватися і поступово зменшувалося, при цьому досліджуване тіло переставало чинити опір зусилля і руйнувалося. Отже, можна припустити, що максимальне значення зусилля руйнування показане на графіці і є зусилля руйнування тіла при даній вологості.

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Охорона праці

В Україні виникають щорічно тисячі важких надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, в наслідок яких гине велика кількість людей, а матеріальні збитки сягають кількох мільярдів гривень. Нині в багатьох областях України у зв'язку з небезпечними природними явищами, аваріями і катастрофами обстановка характеризується як дуже складна [28].

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільськогосподарського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці [28].

Умови праці – характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства

5.2 Небезпечні та шкідливі виробничі чинники

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В процесі виробництва та змішування сипучих матеріалів в приміщеннях нагромаджується велика кількість пилу, який являє собою значну небезпеку відносно вибухів і пожеж, оскільки пило вітряна суміш в певній концентрації є дуже вибухонебезпечною. Найбільш вибухонебезпечною є суміш із розмірами частинок менше 70 мкм. Верхня межа вибухонебезпечної концентрації пилу, вище якої вибухи через недостатність кисню можливі, складає 2 кг/м^3 нижня межа, в залежності від виду пилу, складає $(7,6 \dots 271) \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ [28, 29].

Тому при виробництві та змішування сипучих матеріалів важливе значення має процес знепилення, що виключає негативний вплив на працюючих. Для забезпечення знепилення при проектуванні виробництва комбікормів необхідно:

- встановити кожухи, що запобігають виходу пилу з простору машин;
- використати на стрічкових конвеєрах глибокі жолобчасті підпори;
- закрити отвори в норіях спеціальними кришками;
- за герметизувати всі тріщини, щілини і отвори в бункерах;
- на вагах, де зерно вивантажується партіями, використати внутрішній перетік, замість аспірації;
- горизонтальні поверхні й виступи в робочих приміщеннях, галереях й навісах, які накопичують пил, слід встановити під нахилом;
- вертикальні грубі стіни, на яких осідає пил, розгладити цементним розчином та пофарбувати емалевою чи епоксидною фарбою;
- підтримувати чистоту на робочому місці (товщина пилу не повинна перевищувати 0,3 мм – при цій товщині добре окреслюються відбитки взуття);
- встановити систему аспірації та інерційні циклони (тканинні фільтри), для вилучення пилу із повітря.

Також при виробництві та змішування сипучих матеріалів не менш негативним фактором для працюючих є шум та вібрація. Для виключення даних факторів, «шумні» машини необхідно:

- встановити на бетонному покритті з амортизованими опорами;
- розташувати на першому поверсі;

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- використати гумові подушки;
- зробити канали мащення підшипників;
- постійно контролювати рівень мастила в редукторах.

При виробництві, в теплу пору року, утворюється значна кількість теплоти та вологи, яку необхідно вилучити із приміщення, для забезпечення необхідних санітарно-гігієнічних умов для працюючих. З цією метою необхідно скомпонувати вентиляційну систему в робочих приміщеннях.

Вібрація - загальнобіологічний шкідливий чинник, що призводить до фахових захворювань - віброзахворювань, лікування котрих можливо тільки на ранніх стадіях. Хвороба супроводжується стійкими порушеннями в організмі людини (опорно-руховий апарат, необоротні зміни в кістках і суглобах, зсуви в черевній порожнині, нервово-психічній сфері). Людина частково або цілком утрачає працездатність. По способі передачі на людину вібрація підрозділяється на загальну і локальну. Загальна - діє через опорні поверхні ніг на весь організм у цілому. Локальна - на окремі ділянки тіла. Загальну поділяють по характері передачі на: транспортну (при прямованні машин); транспортно-технологічну (при виконанні роботи машиною прямовання: кран, бульдозер); технологічну (при роботі механізмів і людина знаходиться поруч) [28, 29].

У автоматичних виробництвах захистом є дистанційне керування (виключає контакт). У неавтоматических виробництвах:

- Зниження вібрації в джерелах їхніх виникнень: підвищення точності опрацювання деталей; оптимізація технологічного процесу; поліпшення балансування.
- Відстрочка від режимів резонансу (збільшення жорсткості системи); вібродемпфірування (пружинні віброізолятори).

Поліпшення організації праці вібронебезпечних процесів: загальна кількість часу в контакті з віброобладнанням не повинно перевищувати зміни; одноразову дію не повинно перевищувати для локальної - 20 хвилин, для загальної - 40 хвилин.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Економічна ефективність використання впровадження даного лушильника

Техніко-економічні показники пневмомеханічної машини для лушення зерна круп'яних культур визначено за відомою методикою . Для порівняння техніко-економічних показників та визначення річного економічного ефекту, показники розробленої машини порівнювалися з показниками лушильника для виробництва гречаної крупи МШТ - 2. Необхідні дані для порівняння вищезгаданих машин представлені у вигляді таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для порівняння техніко-економічних показників

Показники	Одиниця виміру	Пропонована конструкція	МШТ-2
Обсяг річних робіт	Т	2218,0	739,2
Продуктивність	т/год	1,8	0,6
Маса конструкції	Кг	560	140
Встановлена потужність	кВт	1,5	1,1
Річний фонд часу	год	1232	1232

Собівартість лушення за одну годину роботи лушильних машин обчислюється за такою формулою

$$C_{\text{в}} = C_{\text{з}} + C_{\text{е}} + C_{\text{а}} + C_{\text{н}}, \quad (5.1)$$

де $C_{\text{з}}$ – вести виробничих робочих, грн/год;

$C_{\text{е}}$ – витрати на електроенергію, грн/год;

$C_{\text{а}}$ – амортизаційні відрахування, грн/год;

$C_{\text{н}}$ – накладні витрати, грн/год.

Заробітна плата виробничих робітників визначається за формулою:

$$C_{\text{з}} = t \cdot k_{\text{с}} \cdot k_{\text{д}}, \quad (5.2)$$

де t – трудомісткість обслуговування лушильного апарату, чол./год;

k_c – середня тарифна ставка робітників, грн/чол-год;

k_o – коефіцієнт, що враховує доплати до основної зарплати виробничих робітників.

Витрати на електроенергію визначаємо з рівняння:

$$C_e = \frac{N_e \cdot k_N \cdot k_t \cdot k_n \cdot C_e}{\Pi_{\text{ч}} \cdot \eta_{\text{ед}}} \quad (5.3)$$

де N_e – потужність електродвигуна, кВт;

k_N, k_t – середні коефіцієнти завантаження електродвигуна за потужністю та за часом ($k_N = 0,82; k_t = 0,8$);

k_n – коефіцієнт втрат електроенергії в мережах підприємства;

C_e – вартість електроенергії, грн/кВт·год;

$\Pi_{\text{ч}}$ – годинна продуктивність луцення, т/год;

$\eta_{\text{ед}}$ – ккд електродвигуна ($\eta_{\text{ед}} = 0,95$).

Амортизація відрахування визначаються:

$$C_a = \frac{C_o \cdot k_a}{T_r}, \quad (5.4)$$

де C_o – балансова вартість обладнання, грн;

k_a – коефіцієнт амортизаційних відрахувань протягом року;

T_r – дійсний річний фонд часу ($T_r = 1232$ год).

$$C_H = 1,5 \cdot C_a, \quad (5.5)$$

Для визначення собівартості луцення однієї тони гречки використовують залежність

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{\text{м}} = \frac{C_{\text{ч}}}{\Pi_{\text{ч}}}, \quad (5.6)$$

Металоємність процесу, кг/т:

$$M_{\text{е}} = \frac{M}{A \cdot T_{\text{с}}}, \quad (5.7)$$

де M – маса машини, кг;

A – обсяг річних робіт, т;

$T_{\text{с}}$ – термін служби машини ($T_{\text{с}} = 10$ років).

Енергоємність процесу, кВт/год:

$$E_{\text{е}} = \frac{N_{\text{е}}}{\Pi_{\text{ч}}}. \quad (5.8)$$

Трудомісткість процесу

$$T_{\text{е}} = \frac{n_{\text{р}}}{\Pi_{\text{ч}}}. \quad (5.9)$$

Фондомісткість процесу, грн./т:

$$\Phi_{\text{е}} = \frac{C_{\text{б}}}{A \cdot T_{\text{с}}}. \quad (5.10)$$

Питомі капіталовкладень, грн./т:

$$K = \frac{C_{\text{б}}}{A}. \quad (5.11)$$

Величина наведених витрат за 1 тону зерна, грн./т:

$$З_{\text{т}} = C_{\text{т}} + E_{\text{н}} K, \quad (5.12)$$

де $C_{\text{т}}$ – собівартість лушення 1 тони зерна за досліджуваним варіантом, грн./т

$E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень; $E_{\text{н}} = 0,15$;

Річний економічний ефект:

$$E_r = (Z_1 - Z_2) P_q T_r, \quad (5.13)$$

де Z_1 – наведені витрати на лущення 1 тони зерна існуючою машиною, грн./т;

Z_2 – наведені витрати на лущення 1 тони зерна пропонованої машиною, грн./т.

Річна економія складає

$$\epsilon_r = (C'_m - C_m) \cdot P_q \cdot T_r, \quad (5.14)$$

де C'_m – собівартість лущення 1 тони зерна існуючою машиною, грн./т;

C_m – собівартість лущення 1 тони зерна пропонованої машиною, грн./т.

Термін окупності:

$$T_{ok} = \frac{C_o}{\epsilon_r}. \quad (5.15)$$

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень:

$$K_{ef} = \frac{1}{T_{ok}}. \quad (5.16)$$

Певні техніко-економічні показники зведені в таблицю 5.2, з якої видно, що заміна існуючих конструкцій лущильних апаратів на запропоновану дозволить підвищити продуктивність з одночасним зниженням металоємності та енергоємності процесу.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи можна зробити такі висновки:

1. Аналіз технологій і конструкцій машин для лущення зерна круп'яних культур показав, що найбільш доцільним прийомом підвищення ефекту продуктивності лущення зерна гречки та зниження енергоємності технології

ного процесу в умовах сільськогосподарського виробника слідє рахувати лущення пневмомеханічного типу.

2. Розроблено нові типи робочих органів та їх форма ($r_l = 0,5$ м; $\varphi = 30^\circ$; $R = 0,2$ м; $t = 0,4$ м), які забезпечують високу якість лущення (ступінь лущення 72...80%, коефіцієнт цілісності ядра 0,47...0,5).

3. Математичну залежність взаємодії зерна з робочими органами, виражену у вигляді енергії лущення зерна експериментальним шляхом перевірити важко, тому цю залежність перевіряють через показник руйнування оболонки зерна, який у свою чергу визначається експериментальним шляхом через енергію руйнування цієї оболонки.

4. Встановлено, що найбільша різниця між енергіями руйнування ядриці та оболонки зерна гречки без гідротермічної обробки має місце при вологості продукту 10...12 %.

Також виявлено, що енергія руйнування оболонки при даній вологості досягається при частоті обертання лопатевого диска $850...1000 \text{ хв}^{-1}$ при русі зерна у робочих зонах, яка не враховувалася у теоретичних розрахунках.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. У виробничих лініях пневмомеханічний лушення забезпечує високу якість лушення при вологості зерна 10...12%, частот обертання лопатевого диска 900...1100 хв⁻¹, подачі зернового матеріалу 0,5...0,7 кг/с.

					КРМ.133ГМмд_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		