

ПОЛТАВСЬКА ДЕРЖАВНА АГРАРНА АКАДЕМІЯ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра «Технології та обладнання переробних і харчових виробництв»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття ступеня вищої освіти *«магістр»*

на тему: **«ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОБОТИ ЛІНІЇ ПЕРЕРОБКИ
ЗЕРНА З ВИКОРИСТАННЯМ АКУСТИЧНОГО ІНДУКТОРА»**

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «магістр» групи
Авраменко Д.О.

Керівник: Дмитриков В.П.

Рецензент: Яхін С.В.

ВСТУП

Останнім часом гостро стоїть проблема забезпечення населення якісними продуктами харчування, рішення якої покладене на переробну галузь АПК.

Одним з найперспективніших напрямків у розвитку харчової галузі є борошномельна промисловість. Борошномельна промисловість України - високорозвинута галузь агропромислового комплексу країни, яка використовує найсучасніші методи переробки зернової сировини.

Важливим завданням, поставленим перед працівниками борошномельної промисловості, є підвищення продуктивності і якості готової продукції. Рішення її не можливе без застосування нових і вдосконалення відомих способів як зволоження, так і відволоження зерна перед помелом.

Прикладом такої технології при виробництві борошна, крупів та комбікормів є метод гідротермічної обробки (ГО) зернової сировини, важливість якого важко переоцінити.

Основна ціль ГО на борошномельних і круп'яних заводах – це направлена зміна вихідних технологічних властивостей зерна в заданому розмірі для стабілізації їх технологічних параметрів на оптимальному рівні.

Зерно, що поступає на переробку звичайно має більшу вологість, а структурно-механічні властивості ендосперму і оболонок відрізняються незначно. Внаслідок цього розділити їх важко, результати переробки такого зерна є невисокими.

При проведенні ГО намагаються перш за все збільшити різницю властивостей оболонок і ендосперму. При цьому на борошномельних заводах процес ведуть так, щоб зменшити міцність ендосперму і збільшити міцність оболонок, а на круп'яних заводах – навпаки: збільшити міцність ядра і зменшити міцність оболонок.

Чим більш інтенсивно пройдуть ці зміни, тим вище буде ефективність переробки зерна на борошно або крупу. ГО на комбікормових заводах проводять для збільшення засвоюваності і харчової цінності зернових компонентів комбікормів.

Ступінь зміни технологічних властивостей зерна визначається конкретним способом ГО (методом і режимом процесу) і перш за все особливостями взаємодії зерна з водою.

Направлена зміна технологічних властивостей зерна і споживчих властивостей (переваг) готової продукції забезпечується за допомогою зміни вологості і температури зерна при атмосферному тиску.

Стадія ГО зерна пшениці, в технології борошна є пасивною і досить тривалою, що зумовлено анатомічною будовою та властивостями зерна.

Вона потребує наявності на підприємстві великих ємностей і характеризується складністю виправлення технологічних властивостей зерна через великі об'єми партій і значну тривалість стадії. Тому вирішення питання скорочення тривалості даної підготовчої операції є актуальним.

Мета роботи - встановити раціональні режими обробки зерна в імпульсній установці з використанням акустичного індуктора для досягнення максимального зниження міцності ендосперму зерна і максимального виходу борошна найвищої якості.

Об'єкт дослідження - переробка зерна пшениці на борошно.

Предмет дослідження – вплив акустичної обробки зерна на борошномельні і хлібопекарські властивості отриманого борошна.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Найтривалішою та досить пасивною стадією підготовки зерна до помелу є гідротермічна обробка зернової сировини (ГО), внаслідок чого змінюються в першу чергу структурно-механічні властивості зерна [19].

Але стадія ГО потребує наявності на підприємстві великих ємностей і характеризується складністю виправлення технологічних властивостей зерна через великі об'єми партій і значну тривалість стадії. Так як сучасний стан борошномельної галузі в Україні характеризується появою та збільшенням кількості малих підприємств, для яких особливо гостро стоять питання підвищення якості борошна, зниження енергоємності виробництва, інтенсифікації окремих стадій та усього технологічного процесу виготовлення борошна, питання скорочення тривалості даної підготовчої операції є досить актуальним.

Використання пневмоімпульсної установки на стадії ГО дозволяє в першу чергу скоротити тривалість стадії з 20 – 24 годин до лічених хвилин. При цьому скорочуються виробничі площі за рахунок того, що оброблене зерно не потребує процесу відволоження.

Завдяки цьому відпадає необхідність встановлення великої кількості бункерів на виробництві: зерно в пневмоімпульсній установці обробляється невеликими партіями, що попереджає можливість втрати великої кількості зерна при неправильному встановленні режимів обробки. Вплив імпульсів на зерно також носить позитивний ефект [25].

1 Аналіз методу гідротермічної обробки зерна

1.1 Механізм проникнення вологи в зерно

Існують деякі значення вологості при яких різко змінюється характер взаємодії зерна з водою.

Аналізами встановлено, що *перша критична область* розміщується при 7...9% вологовмісту; вона відповідає такому стану, коли біля кожного активного центра біополімерів утримується одна молекула води («мономолекулярний шар»). *Друга критична область* знаходиться при 15...19% вологовмісту (вологості на суху масу зерна 13...16% вологості).

Це критичні області вологовмісту, так як тут спостерігаються суттєві зміни всіх властивостей зерна, особливо структурно-механічних і технологічних. Процес вологопереносу в зерні при зволоженні, фізикоїдні та біохімічні процеси, що протікають при цьому, розвиваються за 3 етапами:

- *початковий*, при якому виникає (на протязі декількох секунд) насичення оболонок зерна до повної вологоємності. Характеризується концентрацією поглинутої води в поверхневих шарах зерна, алейроновому шарі та зародку;

- *основний*, характеризується тим, що напруга, що виникла в зернівці, досягає критичних значень, тому цей етап зв'язаний з виникненням мережі мікротріщин, в результаті чого розпушується ендосперм. Тривалість цього етапу 8-12 год;

- *заключний*, при якому вода мікротріщинами інтенсивно проникає в ендосперм і зволожує його. В цей час розвиваються релаксаційні явища, виникає поступове зменшення напруги, і розподіл води по анатомічним частинам зернівки стає більш рівноважним. Його тривалість 12-24 год [29].

Доведено науковцями, що всі фізико-хімічні процеси в зерні протікають взаємозв'язано і завершуються одночасно, при чому тривалість їх розвитку не залежить від режиму зволоження при постійній температурі, а визначається індивідуальними властивостями зерна.

Переніс води в середину зерна може проходити в різних напрямках і з різною інтенсивністю в залежності від параметрів конкретного процесу. Вивчення його особливостей має велике практичне значення, оскільки з ним зв'язана зміна структури і технологічних властивостей зерна [].

Сучасна теорія встановлює, що в ролі термодинамічного потенціалу вологопереносу в зерні виступає енергія зв'язку вологи, її рівень для анатомічних частин не однаковий і залежить від параметрів процесу, а значення енергії зв'язку вологи співпадають в області 15...17% вологовмісту.

Експериментально доведено, що рушійною силою, яка зумовлює проникнення води у зернівку, традиційно вважається градієнт концентрації вологи на поверхні (100%) і всередині зерна. Також має місце осмомолекулярна дифузія.

Відомо, що пройшовши кілька шарів оболонки, вода поглинається колоїдами ядра, просочуючи всі клітини. Розподіл води в зерні суттєво нерівномірний. Найбільше її проникає через мікрокапіляри у зародок (до 75%), тоді як в інших частинах зернівки волога не перевищує 50%. При самому нетривалому контакті зерна з водою, вологість його швидко (скачком) підвищується на 3–5%. «Захоплення» води здійснюється насамперед плодовою оболонкою, що має велику кількість капілярів, пір і пустот, які слугують резервуаром для первинного накопичення вологи [9].

Подальше переміщення води направлене в середину ендосперму. При цьому зволоження ендосперму здійснюється не відразу, а з деякою затримкою. Встановлено, що вода з'являється в ендоспермі тільки через 0,5 год., цьому передують утворення в ендоспермі мікротріщин.

Доведено, що щільність зерна при підвищенні вологості знижується. Це відображає розпушення структури ендосперму зерна. В результаті змінюється міцність ендосперму, зменшується витрата електроенергії на подрібнення, якість проміжних і кінцевих продуктів помелу.

Різкий перепад вологості призводить до виникнення величезного градієнту вологовмісту і небезпечних напружень в тілі зернівки; поступово напруження перевищує міцність ендосперму і він розтріскується. Утворення мікротріщин продовжується на протязі 6-8 год, що супроводжує внутрішній перенос вологи і є основним процесом, котрий визначає швидкість процесу розпушення ендосперму [10].

Встановлено, що при зволоженні зерна перші тріщини направлені перпендикулярно головній вісі зерна, вони розколюють його в поперечному напрямі. Уздовж зерна, а також під деяким кутом до його вісі тріщини розвиваються лише через декілька годин (при холодному кондиціонуванні), тобто при достатній гідратації біополімерів зерна.

Практичне значення розпушення ендосперму заключається не тільки в зменшенні міцності зернівки. В результаті виникнення тріщин ендосперм розділяється ними на частинки при роздробленні зерна очікується підвищення виходу крупок і дунстів [11].

1.2 Вплив методу на технологічні властивості зерна

ГО зерна є початковою технологічною стадією при виробництві борошна або крупи при якій змінюється мікроструктура зерна, біохімічні, структурно – механічні та технологічні властивості (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 Вплив ГО зерна на його властивості

Зміна мікроструктури зерна

Під впливом ГО мікроструктура анатомічних частин зерна зазнає незворотних змін, які посилюються при підвищенні температури процесу, а

також при застосуванні пари, НВЧ-обробки, вібраційних процесів, використання інфрачервоного опромінювання (ІЧО)... [30].

Експериментами доведено, що при пропарюванні зерна спостерігається зміна тільки білкових матриць у зв'язку з денатурацією білка. ІЧО істотно впливає на крохмальні гранули і на білкові прошарки, але особливо різко змінюється мікроструктура при спільному впливі ІЧО та пропарювання.

У цьому випадку спостерігається значна клейстеризація крохмальних гранул, повна їх деградація. Біохімічний аналіз встановлює підвищення вмісту декстринів, а фізіологічні випробування - підвищення засвоюваності продуктів живими істотами.

Зміна фізико-хімічних властивостей зерна

Встановлено, що під впливом ГО змінюються всі фізико-хімічні властивості зерна, що обумовлено набуханням зерна при зволоженні, незворотною зміною його структури, розпушення ендосперму у борошномельному або консолідацією структури в круп'яному виробництві.

При холодному кондиціонуванні зерно пшениці набухає так, що обсяг зерна дрібної фракції зростає сильніше, ніж крупної. У зв'язку з цим підвищується вирівняність партії зерна, що позитивно впливає на результати всіх подальших технологічних операцій.

Досліджено, що натура зерна при відволоженні спочатку різко знижується, а потім дещо зростає. Це пов'язано не тільки з набуханням зерна, але й зі зміною вологості оболонок [8].

Відомо, що склоподібність зерна в умовах борошномельного виробництва знижується в залежності від вологості, температури процесу і його тривалості.

Коефіцієнт об'ємного розширення зволоженого зерна пшениці під впливом температури змінюється по складній кривій, з максимумом в області 35...45°C. Очевидно, ця область визначає найбільш інтенсивний розвиток у зерні фізико-хімічних процесів.

Зміна біохімічних властивостей зерна

ГО зерна суттєво впливає на біохімічні властивості зерна і готової продукції. При зміні вологості і температури в зерні поглиблюються біохімічні процеси, що продукують перерозподіл хімічних речовин за анатомічними частинами зернівки, з'являються продукти гідролізу біополімерів тощо.

Певне значення для характеристики борошна має вміст механічно пошкоджених при розмелі крохмальних гранул. Встановлено, що при вологості зерна пшениці I типу 14,5 - 15,5% крохмальні гранули найбільшою мірою схильні до пошкодження, а при підвищенні вологості до 16...16,5% ця здатність їх різко знижується. Під впливом ГО змінюється вміст біологічно активних сполук в зерні та мінеральних речовин у борошні.

Зростання їх вмісту вказує на частковий гідроліз крохмалю. Помітно зростає у вівсяній крупі вміст слизових речовин при підвищенні тиску пари. При 0,1 МПа їх кількість становила 0,7, при 0,3 МПа-2, 4%. [14].

Зміна структурно-механічних властивостей зерна

Відомо, що однією з основних завдань ГО є спрямована зміна структурно-механічних властивостей анатомічних частин зерна. Це впливає з технологічної мети переробки зерна в борошно і крупу; необхідно забезпечити поділ ендосперму (ядра) зерна й інших анатомічних частин, так як борошно і крупи повинні виходити переважно з ендосперму.

Досліджено, що у початковому стані структурно-механічні властивості ендосперму зерна і оболонки (або квіткових плівок) помітно відрізняються. Але відмінність не настільки велика, тому при переробці сухого зерна неможливо досягти високих технологічних результатів.

На структурно-механічні властивості зерна також істотно впливають вологість, температура, тривалість відволоження.

При підвищенні вологості зростає пластичність зерна, внаслідок чого збільшується пластична і загальна деформація зерна при стисненні, а пружність знижується, різкі зміни наступають при вологості 15 ... 16% [16].

Тривалість відволоження при холодному кондиціонуванні також впливає на структурно-механічні властивості зерна. Для пшениці I типу при температурі 20 ° С, вологості 15,1% і деформації стиснення встановлено, що відносна деформація зростає протягом 12 год., потім залишається постійною. Це вказує на завершення в основному до цього моменту перетворення структури та пов'язаних з нею властивостей зерна.

При правильно підібраних режимах ГО структурно-механічні властивості зерна змінюються в необхідному напрямку.

Зміна технологічних властивостей зерна

Перетворення вихідних технологічних властивостей зерна, їх оптимізація - головна мета ГО. Доведено, що вологість зерна при холодному кондиціонуванні - один з вирішальних факторів оптимізації його технологічних властивостей.

Велике значення має не тільки ступінь зволоження зерна, але й величина зміни початкової вологості. Досліди показують, що найкращі результати виходять при підвищенні вологості зерна на 4,5 ... 5,5% не за один прийом, а в два етапи. Для забезпечення такої зміни вологості необхідно, щоб вихідне значення вологості було 11 ... 12%.

Таблиця 1.1 Вихід борошна (%) та його зольність (%) при трьох сортному помелі пшениці I типу

Кондиціонування	Сорт борошна			Загальний вихід борошна
	вищий	перший	разом	
Холодне	24,0	34,2	58,2	77,2
	0,49	0,65	0,58	0,72
Швидкісне	26,6	32,4	59,0	78,0
	0,41	0,58	0,50	0,67

Різні способи ГО різною мірою впливають на властивості зерна. Зазвичай застосування тепла добре позначається на технологічних

властивостях зерна. Для прикладу в табл. 1.1 наведені дані по пшениці I типу отримані при лабораторному помелі [24].

На практиці встановлено, що результати помелу зерна, що пройшло швидкісне кондиціонування, помітно вищі, ніж при холодному кондиціонуванні. Підвищився загальний вихід борошна за рахунок борошна вищого сорту, помітно знизилася зольність борошна.

Вплив температури при холодному кондиціонуванні на борошномельні властивості зерна наочно демонструють дані, наведені в табл. 1.2.

Якщо зерно надходить в охолодженому (нижче 0°C) стані, то оболонки його стають крихкими і при розмелі подрібнюються, в результаті чого погіршується якість борошна. При зниженні температури зерна помітно зростає зольність отриманого борошна, а вихід високих сортів борошна зменшується [22].

Таблиця 1.2 Вплив температури на вихід (%) і зольність (%) борошна при холодному кондиціонуванні зерна пшениці I типу.

Борошно	Температура зерна перед зволоженням, °C					
	20	0	-5	-10	-15	-20
Вищий сорт	19,8	19,0	18,0	18,1	18,3	18,0
	0,53	0,55	0,56	0,55	0,55	0,55
	33,6	32,6	32,4	33,4	33,2	34,0
	0,68	0,68	0,68	0,69	0,72	0,75
	53,4	51,6	50,4	51,5	51,5	52,0
	0,63	0,63	0,64	0,64	0,66	0,68
	21,5	23,4	24,7	23,7	23,4	23,0
	1,10	1,08	1,09	1,12	1,16	1,20
	74,9	75,0	75,1	72,2	74,9	75,0
	0,76	0,76	0,78	0,79	0,80	0,84

ГО зерна придбало важливе значення і на комбікормових заводах. Зерно пропарюють перед плющенням у поєднанні з підсмажуванням, екструдують, обробляють ІЧ променями.

В результаті такої обробки відбувається денатурація білків, часткова клейстеризація крохмалю, утворення декстринів та ін низькомолекулярних продуктів гідролізу крохмалю. Завдяки цьому істотно зростає поживна цінність комбікормів, засвоюваність азоту, знижуються витрати корму на одиницю приросту ваги тварин. Крім того, жорсткі режими викликають практично повну загибель мікроорганізмів, тобто забезпечують санітарну чистоту комбікормів. Частково руйнуються при цьому і афлатоксини.

Встановлено, що найбільш помітно відбувається зміна властивостей білків і крохмалю ячменю при швидкому нагріванні зволоженого до 16% зерна в киплячому шарі при температурі 300 ° С. Протягом 2 хв. зерно нагрівається до 180 ... 200 ° С, спучується і розтріскується. Якщо перед таким нагріванням зерно було пропарено, то вміст декстринів в ньому зростає до 36%, переварюємість крохмалю збільшується в 3,0 ... 3,3 рази [17].

ГО дозволяє забезпечити істотне підвищення технологічних переваг зерна при виробництві борошна, крупи і комбікормів, але необхідно при веденні процесу суворо дотримуватися існуючих рекомендацій.

1.3 Фактори впливу на процес обробки зерна

Основними факторами впливу ГО на зерно є: температура; вологість; тривалість обробки.

При використанні підвищених температур капіляри в оболонках зерна розширюються, що полегшує проникнення води в середину і прискорює процес ГО. Тепло підсилює процес набухання, що виникає під впливом зволоження, товщина оболонок може бути реально збільшена більше ніж в 2 рази [14].

Не менш важливими є біохімічні процеси, що протікають при ГО. Зерно має потужну систему ферментів, активність яких різко підвищується при зволоженні і підігріві.

Підвищення температури в допустимих межах прискорює розвиток біохімічних процесів в зерні, що позитивно відображається на хлібопекарських достоїнствах виробленого з нього борошна.

Наступним впливовим фактором є *вологість зерна*. При її підвищенні збільшується здатність ендосперму до розпушення, швидше протікає процес утворення мікротріщин. *Час відволоження* залежить від типу пшениці, скловидності і вологості. Тверда пшениця потребує більш тривалого (до 24 год) відволоження, тоді як для м'якої буває достатньо 4-8 год. В результаті ГО повинна бути забезпечена подача зерна в розмельне відділення з оптимальною технологічною вологістю (від 14% до 16,5%).

Сполучення температури, вологості і тривалості визначає метод ГО і особливо оптимальний режим ГО. Він представляє собою таке сполучення параметрів, яке забезпечує отримання максимального технологічного і економічного ефекту при переробці даної партії зерна[18].

1.4 Традиційні способи обробки зерна перед помелом

Холодне кондиціонування

Найбільш розповсюдженим методом ГО зерна є холодне кондиціонування. В цьому випадку зерно зволожують тільки водою кімнатної температури, або ж спеціально підігрітою (до 30-35°) та відволожують в бункерах. Зерно зволожують в процесі мийки, або ж при додаванні до зернової маси необхідної кількості води в крапельному або розпиленому стані, за допомогою різноманітних зволожуючих машин, таких як ЗЗМ-2, ЗУМ-2, та ін.

Звичайно для рівномірного зволоження зернової маси встановлюють два шнека – один над другим, виходячи з розрахунку, що шлях змішування до випуску зерна в бункер для відволоження повинен бути від 3 м.

Доведено, що за цим способом можна підвищити вологість зерна на 2,5%. Рекомендується для рівномірного зволоження зерна за один раз додавати не більше 1 – 1,5% вологи. Якщо необхідно збільшити вологість зерна у великому розмірі, застосовують 2-3 етапи з обов'язковим відволоженням після кожного зволоження.

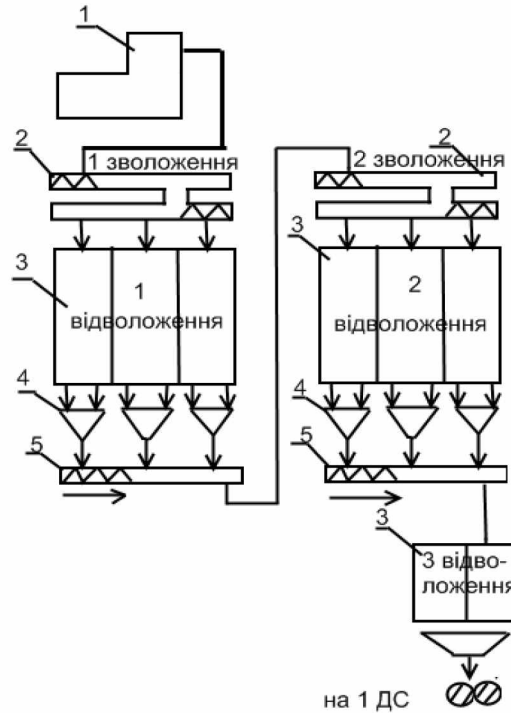
Тривалість відволоження зерна в бункерах визначають за скловидністю, характеристиці клейковини, структурно-механічними властивостям зерна, іншим фактором і приймають в межах 6 – 24 год.

Відомо, що процес відволоження є основним та найбільш тривалим етапом холодного кондиціонування, так як саме тут змінюються всі властивості зерна. Процес триває 16-24 год. Дуже важливо забезпечити однакову тривалість відволоження всієї партії зерна. Для цього кількість бункерів для відволоження приймають не менше трьох [7].

Щоб ендосперм залишався крихким, оболонки і зародок стали пластичними і при подрібненні зерна не подрібнювалися, зерно, перед 1 драною системою повторно зволожують на 0,3–0,5% і піддають короткочасному відволоженню (20-30 хв.): вода ще не проникає глибоко в ендосперм, зволожуються тільки оболонки, алейроновий шар, зародок.

Встановлено, що холодне кондиціонування покращує технологічні властивості зерна. Але цей спосіб ГО має суттєві недоліки. По-перше – це занадто велика тривалість процесу і залежність результатів ГО від атмосферних умов. По-друге, необхідно мати велику ємність бункерів для відволоження. Процес холодного кондиціонування складно регулювати і помилка при зволоженні зерна практично не може бути виправлена.

На рис. 1.2 представлена технологічна схема холодного способу гідротермічної обробки.



1 – мийна машина; 2 - шнек-змішувач; 3 – бункери для відволоження;
4 – дозатори; 5 – розподільний шнек

Рисунок 1.2 Технологічна схема холодного способу ГО

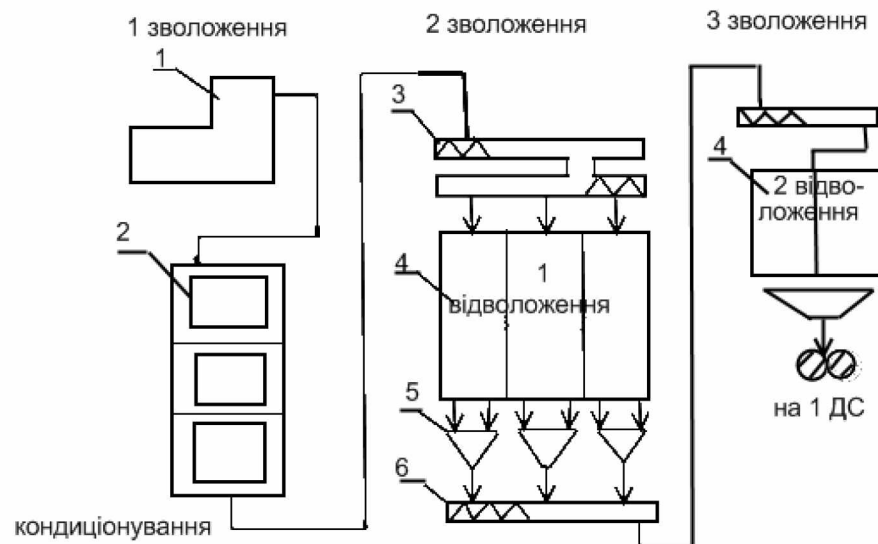
Гаряче кондиціонування

При ньому зволожене зерно проходить теплову обробку в кондиціонері (ЗК–10, ЗКУ–6) при температурі 45-57°C в залежності від властивостей клейковини вихідного зерна, скловидності, інших показників. Проведення ГО при підвищеній температурі прискорює проходження усіх процесів всередині зерна. При підвищенні температури прискорюється процес переносу вологи, набухання тканин, біохімічних перетворень.... Крім того, ступінь нагріву піддається регулюванню, і можна впливати на зміну властивостей клейковини [20].

В результаті прогріву зволоженого зерна внутрішній перенос вологи в ньому різко прискорюється. Швидше проходить розподіл вологи по анатомічним частинам і хімічним речовинам зерна. Інтенсивніше протікає і процес розпушення ендосперму внаслідок виникнення величезної кількості

мікротріщин. Збільшується ступінь біохімічних змін, так як підвищення температури прискорює хімічні реакції.

Технологічна схема гарячого кондиціонування, що зображена на рис. 1.3 відрізняється від попередньої меншою кількістю бункерів для відволоження, але в ній присутній кондиціонер (1), в який зерно потрапляє після мийної машини (2). За цією схемою зерно після попередньої очистки направляють на мийку. Промите й зволене на 2-3,5% зерно поступає для теплової обробки в повітряно-водяний кондиціонер.



1 – мийна машина, 2 – кондиціонер, 3 – шнек-змішувач, 4 – бункери для відволоження, 5 – дозатори, 6 – розподільний шнек

Рисунок 1.3 Технологічна схема гарячого кондиціонування зерна

Відомо, що в першому відділенні кондиціонера основна задача процесу полягає в прискоренні руху вологи в середину зерна. В другому, сушильному відділенні, волога переноситься в зворотному напрямі, це викликає додаткове розпушення ендосперму. Всі основні процеси завершуються в третьому – основному підігрівному відділенні. Напрямок переносу вологи – з середини на поверхню зерна, як і в сушильному відділенні. Завдяки цьому оболонки зберігають достатньо високу вологість і еластичність.

Весь комплекс операцій в кондиціонері розроблений таким чином, щоб забезпечити розпушення ендосперму, диференційований розподіл вологи між анатомічними частинами зерна і покращення властивостей клейковини [32].

Однак процес розподілу вологи в зерні і зв'язані з цим зміни властивостей зерна продовжуються і після виходу його з кондиціонера. Тому зерно направляють в бункери для відволоження, яке продовжується від 2 до 8 год в залежності від типу і скловидності зерна.

Процес гарячого кондиціонування завершується повторним зволоженням м'якої пшениці на 0,3 – 0,6%, а твердої на 0,5 – 0,7% і відволоженням від 20 до 40 хв. Вологість м'якої пшениці після цього повинна складати 14 – 16,5%, а твердої – 15,5 – 16,5%. Доведено, що гаряче кондиціонування сприяє укріпленню клейковини, так як клейковинні білки піддаються частковій денатурації при температурі 50-60°C [23].

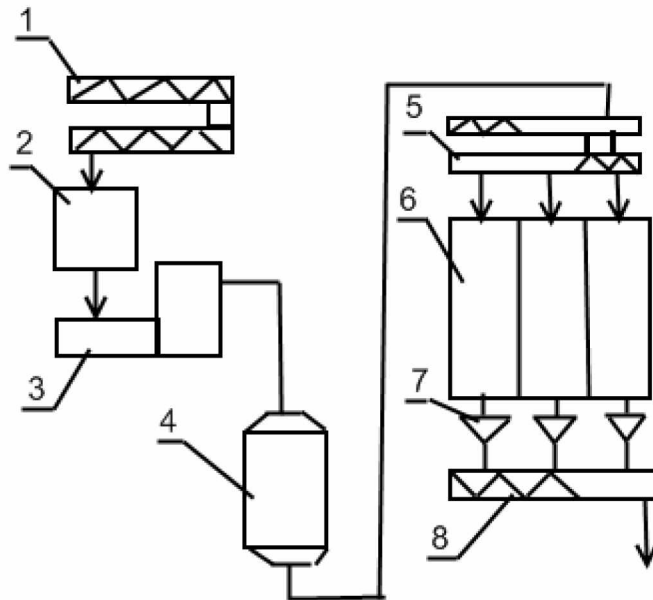
Швидкісне кондиціонування

Для зерна з слабкою клейковиною також застосовують метод швидкісного кондиціонування; при цьому ГО проводять парою. Це дозволяє значно підвищити інтенсивність внутрішнього переносу вологи і максимально скоротити час, на протязі якого проходять зміни технологічних властивостей зерна.

Після обробки на апараті АСК зерно поступає в спеціальний теплоізолюваний бункер, де витримується в нагрітому стані до 10 хв. Цей процес теплообробки (темперування) необхідний для покращення властивостей клейковини, особливо слабкої.

Молекули води при температурі 100°C безперешкодно проникають по всій товщині зерна і слабо зв'язуються з активними центрами біополімерів. Нагрів знижує також енергію зв'язку молекул води, що вже міститься в зерні. Це призводить до того, що майже вся вода виявляється слабозв'язаною, що разом із високою температурою зерна викликає пластифікацію його біополімерів.

При обробці парою всі процеси переносу вологи проходять з більшою швидкістю. Швидше розвиваються і біохімічні перетворення, внаслідок чого на процес теплообробки потрібно не більше 10 хв., навіть для зерна зі слабкою клейковиною [12].



1 – апарат АСК; 2 – бункер для темперування; 3 – мийна машина; 4 – вологознімач; 5 – зволожувач; 6 – бункери для відволоження; 7 – дозатори;
8 - змішувач

Рисунок 1.4 Схема технологічного процесу «швидкісного» кондиціонування зерна

За технологічною схемою (рис. 1.4), пшеницю з температурою 45-60 °С, із закрому для темперування (2) направляють в ванну мийної машини (3), де на протязі декількох секунд зерно охолоджується мийною водою до 25-30°С, що різко скорочує тканини зерна. Відмінність в будові і структурно-механічних властивостях анатомічних частин призводить до того, що вони змінюють об'єм в неоднаковому ступені.

Завдяки цьому виникає напруга зсуву, проходить деформація і руйнування первісної структури зерна. Це проявляється сильніше всього на

межі між ендоспермом і оболонками. Тому поверхневі шари ендосперму стають розпушеними, і зв'язок оболонок з ендоспермом різко знижується.

Після мийної машини зерно для видалення надлишку поверхневої вологи направляють до вологознімача, де його продувають прогрітим до 40 - 50° повітрям декілька хвилин.

На завершальному етапі пшениця проходить відволоження на протязі 3 – 4 год. За необхідністю можна додатково зволожити зерно. Це необхідно для зниження напруги, що виникла в зерні і приведення його структури в стабільний стан: ендосперм знову стає крихким і легко подрібнюється [13].

1.5 Сучасні методи обробки зернового матеріалу

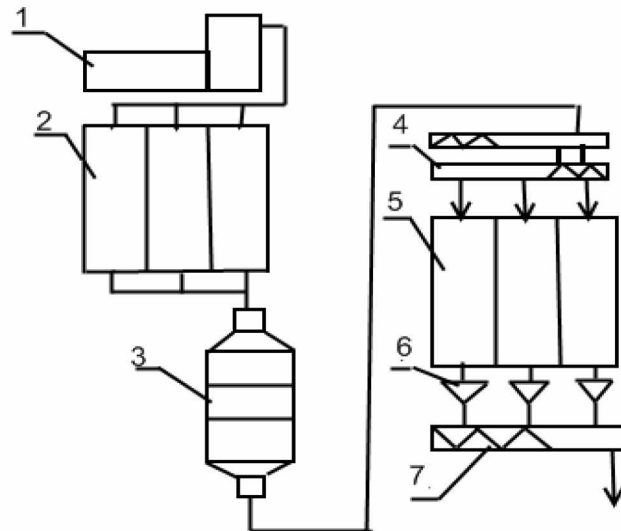
Вакуумне кондиціонування

За цим методом штучно зволожене в процесі мийки зерно піддають сушінню і тепловій обробці в умовах вакууму. Доведено, що при зниженні атмосферного тиску знижується і температура кипіння води. Так, при 0,05 атм $t_{\text{кип}} = 33^{\circ}\text{C}$ в цих умовах забезпечується інтенсивний внутрішній перенос вологи, без денатурації білків; ендосперм розпушується дуже сильно. Значно знижується щільність, так як об'єм його при зневодненні в вакуумі майже не зменшується. При обробці пшениці в вакуумному кондиціонері її вологість можна знизити від 6 % , що недосяжно при інших способах ГО [22].

Обробка зерна в вакуумі при помірних температурах не знижує схожості зерна і ферментативний комплекс його зберігає високу активність, що забезпечує необхідні зміни біохімічних властивостей зерна. Крім того, у вакуумі більшість комах-шкідників гине навіть в стадії личинки, а побічні запахи зерна ліквідуються, підіймається рівномірність обробки усіх зерен.

Вакуумне кондиціонування має обмежене використання. Це зв'язано з високою вартістю обладнання і підвищеною складністю його експлуатації.

Технологічна схема вакуумного кондиціонування зерна зображена на рис. 1.5.



1 – мийна машина; 2 – бункери для відволоження; 3 – вакуумний кондиціонер; 4 – зволожувач; 6 – дозатор; 7 - змішувач

Рисунок 1.5 Схема технологічного процесу вакуумного кондиювання зерна

Одним з напрямків модифікації методу вакуумного кондиювання є зволоження зерна під вакуумом. Відмінність його від попереднього полягає в тому, що вакуум використовують не при сушці зерна, а безпосередньо при замочуванні, що дозволяє скоротити технологічний цикл виробництва борошна за рахунок зменшення часу відволоження.

Дослідженнями встановлено, що при різних способах зволоження в зерні протікають аналогічні процеси, але з різною інтенсивністю.

При зволоженні зерна під вакуумом загальний вихід борошна також збільшується на 2 %: при зволоженні під вакуумом волога інтенсивніше проникає всередину зернівки, краще розпушує периферійні шари ендосперму, в результаті чого вони краще вимолюються.

Застосування досліджуваного способу гідротермічної обробки пшениці з зволоженням під вакуумом дозволяє скоротити час відволоження і підвищити ефективність розмелу зерна в порівнянні з традиційним способом ГО [5].

Використання електрохімічно активованої води

Можлива також інтенсифікація методу холодного кондиціонування дистильованою водою, активованою електрохімічним або мікрохвильовим способом[28].

Доведено, що рН води здійснює суттєвий вплив на швидкість поглинання вологи. Однак цей вплив проявляється не відразу і зміна геометричних характеристик зерна та інших показників в початковий момент часу незначна.

За рахунок оптимізації рН водного середовища можна покращити протікання біохімічних процесів і скоротити технологічний цикл.

Автоматичне зволоження зерна.

Сучасним способом ГО, який не передбачає впливу фізичних або хімічних факторів, а лише чітко контролює процес ГО є автоматичне зволоження зерна. Відомо, що зволоження зерна є дуже важливою операцією: треба не тільки ввести в зернову масу певну кількість води, але й забезпечити рівномірний розподіл її по всій масі всіх зерен.

Найбільш ефективно зерно зволожується в машинах БШУ - шнеках інтенсивного зволоження. У них вологість зерна за один прохід через машину може бути підвищена на 3-5%, а за рахунок особливої конструкції шнека вода рівномірно розподіляється по всіх зернах і ними вбирається. Гідродинамічна стійкість підкоряється нелінійним законам масопередачі [26].

В процесі зволоження зерно надходить самопливом в шнек інтенсивного зволоження, потоково вимірюється вологість і витрата зерна. Отримані дані надходять в мікроконтроллер, що розраховує кількість води, необхідної для зволоження, і залежно від цього регулює подачу води в шнек.

Встановлено, що застосування автоматизованої системи зволоження з використанням високоточних вимірювачів вологості зерна і витрати води дозволить стабілізувати вихідну вологість зерна. Це, у свою чергу, сприятиме збільшенню виходу кінцевої продукції вищого сорту, що дасть суттєвий економічний ефект і можливість швидкої окупності витрачених коштів.

1.5.1 Метод обробки зерна у пневмоімпульсній установці

Для прискорення стадії ГО використовують також пневмоімпульсну установку (рис. 2.2), котра представляє собою дослідно промисловий зразок. Ключовим елементом обладнання є імпульсний пневмоакустичний випромінювач, функціональним призначенням якого є інжекція стиснутого газу в газоподібні/рідкі середовища для збурювання акустичних коливань.

Установка розроблена ХФТІ для застосування у різних галузях виробництва і знайшла застосування в переробній галузі в якості пристрою для прискорення гідротермічної обробки зерна.

Зерно поміщають у воду, яка під дією акустичних коливань з силою «втискується» в нього. Цей процес викликає в зернівіці різке зростання напруги і ендосперм розтріскується за лічені хвилини.

В зерні, обробленому в пневмоімпульсній установці різко знижується міцність, і розвиток мікротріщин в ендоспермі проходить з великою швидкістю та інтенсивністю, тому таке зерно краще піддається подальшому розмелу на борошномельних підприємствах.

Дія імпульсу на зерно викликає механічну денатурацію клейковинних білків і в результаті такої обробки знижується показник ВДК клейковини і покращуються її технологічні властивості. Але при використанні занадто високої сили імпульсів структура клейковини може зруйнуватися, тому необхідно встановити оптимальні параметри обробки зерна.

Позитивною стороною використання установки є відсутність необхідності тривалого відвололоження зерна, так як внутрішній вологопереніс під впливом сили імпульсів здійснюється швидко і не потребує великої кількості часу, необхідність встановлення бункерів відпадає [19].

Зерно опромінюють у широкому діапазоні хвиль. Отримання зерна з необхідними для мелення технологічними властивостями за менш короткий

час дозволить збільшити продуктивність і зменшити кількість виробничих ємностей, необхідних для проведення ГО.

1.5.2 Перспективні методи інтенсифікації подрібнення зерна

Метод обробки зерна в пневмоімпульсній установці значно впливає на вихід крупо-дунстових продуктів, отже, можливе використання цієї установки для попереднього подрібнення сировини у борошномельній та комбікормовій галузі.

Відомо, що подрібнення – одна з найбільш важливих операцій при виробництві комбікормів, так як близько 70% сировини, що входить до складу комбікормів необхідно подрібнювати. Подрібнення дозволяє не тільки отримати однорідну суміш, але і створити фракції по крупності, придатні для згодовування визначеній групі тварин, підвищити засвоюваність продуктів.

Відомо, що сучасна технологія виробництва комбікормів передбачає подрібнення зернових і зернобобових культур, гранульованої та кускової сировини на молоткових дробарках. Тому, оптимізуючи процес подрібнення, можна вплинути на якість готової продукції.

Існує багато способів інтенсифікації процесу подрібнення. Так, можна виділити наступні десять факторів інтенсифікації процесу подрібнення [7].

1. Додавання рідкого або порошкоподібного розділового засобу, при якому поверхні, що знову утворюються в процесі подрібнення, відразу змочуються або покриваються цією речовиною, перешкоджаючи тим самим агломерації часток (подрібнення каучуку або м'якої гуми з додаванням каоліну, тальку і т. п., подрібнення безводного простого ефіру целюлози з додаванням ментолу).

2. Подрібнення з охолодженням подрібнюємого матеріалу і самої машини (дуже в'язкі матеріали; речовини з низькою температурою

плавлення; фармакологічні продукти добре подрібнюються з додаванням вуглекислого снігу, рідкого повітря або сніжинок).

3. Подрібнення в атмосфері захисного інертного газу (подрібнення сірки, антибіотиків, вибухових речовин, кави та ін.),

4. Підвищення температури при подрібненні, наприклад, шляхом подавання пари.

5. Видалення подрібненого матеріалу з машини за допомогою потужного вентилятора.

6. Додавання поверхнево-активних речовин, особливо при тонкому і найтоншому подрібненні (мокре подрібнення матеріалів мінерального походження).

7. Розробка спеціальних конструкцій машин для подрібнення матеріалів, особливо конструкцій, що передбачають видалення подрібненого продукту (для матеріалів з явно вираженою схильністю до агломерації).

8. Подрібнення у вакуумній установці.

9. Подрібнення з додаванням речовин, що викликають набухання, розм'якшення (попереднє занурення гуми в трихлоретилен).

10. Охолодження подрібнюючих елементів охолоджувальною рідиною, що пропускається між двома частинами корпусу. Спосіб застосовується для матеріалів з високим опором подрібненню.

Крім перерахованих, є дані по інтенсифікації процесу за допомогою короткохвильових випромінювань; подрібнення вибухом; термодинамічного подрібнення [27]. Встановлено, що на міцність зразка впливає як стан поверхні зразка, так і середовище, в якому відбувається розрив.

Отже процес подрібнення сировини в комбікормовому та борошномельному виробництві підлягає різним методам його інтенсифікації. Це можуть бути удосконалені стандартні машини для подрібнення, або ж принципово нові методи. Тому використання пневмоімпульсної установки при подрібненні є можливим і актуальним для подальших досліджень.

Висновки до розділу 1

Розглянуто і проаналізовано метод гідротермічної обробки зернового матеріалу, його вплив на технологічні властивості, механізм проникнення вологи в зерно для подальшого вдосконалення технологічного процесу переробки зерна на борошно.

Надано оцінку традиційним способам обробки зерна методом гідротермічної обробки зернового матеріалу у порівнянні із сучасними методами обробки зерна.

Визначено переваги метода обробки зернового матеріалу з використанням акустичної установки. Надано характеристику перспективним способам інтенсифікації подрібнення зерна.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В основі розробки нових технологій і технічних засобів, здійснення оптимізації їх експлуатаційних характеристик лежить науковий підхід до ключових параметрів впливу, виявлення взаємозалежностей між ними, їх впливу на кінцевий результат – якість і продуктивність технологічного процесу переробки аграрної продукції.

Теоретичні дослідження базувалися на положеннях і методах дослідження біохімії зерна, гідромеханіки, фізики, теорії вірогідності і сучасних комп'ютерних методів ведення і планування експериментів з оцінкою достовірності результатів дослідження, розроблених приватних методик [20, 22].

Експериментальні дослідження виконувалися за методиками, встановленими діючими нормативними документами на зернову продукцію, котра оброблена на діючому макетному оснащенні в лабораторних і реальних виробничих умовах.

Для оцінювання результатів експериментів і надання рекомендацій щодо оптимізації процесу переробки зерна пшениці на борошно методом ГО використовували метод математичної статистики з побудовою і подальшим використанням математичної моделі [4].

Отримані результати обробляли методами математичної статистики з використанням стандартних програм (EXCEL, STATISTICA 7,0).

При проведенні експериментальних досліджень гідротермічної обробки (ГО) зерна пшениці використовували стандартні методи, рекомендовані нормативними документами, а також сучасні методики аналізу [6].

Дослідження ГО зерна проводили при застосовуванні пневмоімпульсної установки при різних параметрах впливу, таких як сила імпульсів, кількість імпульсів та тиск. Дослідні зразки порівнювали з зразками обробленими традиційно. Додатково вивчали міцність зернової оболонки.

Зерно пшениці Миронівська 808 з натурою 788 г/л мало показники якості: вологість 12,5 - 12,7%, склоподібність 38 - 50%, вміст сирової клейковини 17,6 - 18,0%.

Дослідні зразки зерна пшениці піддавали імпульсній обробці при силі 3 од.пр. в умовах тиску 9 – 103 кПа, кількістю імпульсних коливань від 100 до 150 од., після чого оцінювали її борошномельні і хлібопекарські властивості.

Для сортового помелу зерна використовували лабораторний млин МЛЮ - 202 фірми Buller (рис. 2.1).

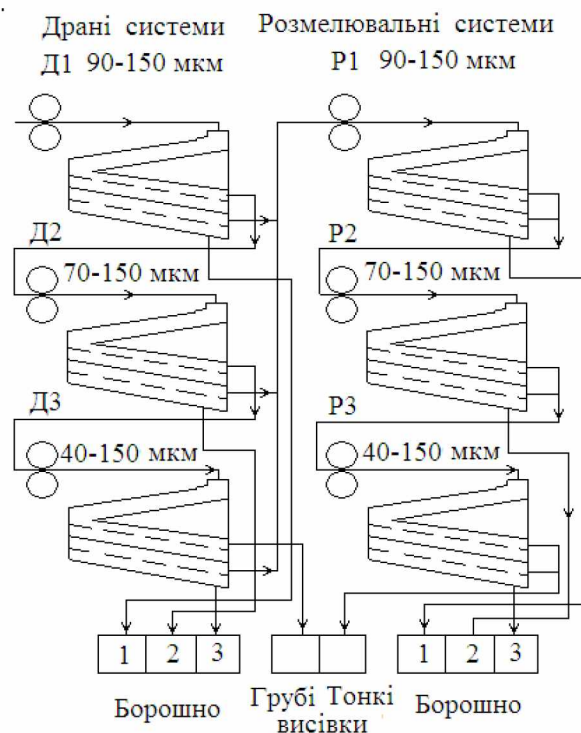


Рисунок 2.1 Схема сортового помелу зерна на млині МЛЮ - 202

Зважували напівпродукти і продукти розмелювання зерна на вагах Satran (Швеція). Пневмоімпульсну установку, на котрій виконували дослідження, показано на рис.2.2.

Оскільки вибір методів дослідження диктується характером фактичного матеріалу, умовами і метою конкретного дослідження для цього використовували реологічний метод, за яким оцінювали властивості отриманого пшеничного борошна при випікання хліба.



Рисунок 2.2 Пневмоімпульсна установка ГО обробки зерна пшениці

Для визначення якості продукту після ГО зерна у пневмоімпульсній установці керувались наступними методами і методиками дослідження:

- вихід борошна;
- визначення якості та кількості клейковини;
- оцінка реологічних властивостей тіста з отриманого борошна.

Реологічні властивості тіста з отриманого борошна (пружна і загальна деформація тіста, питома робота спільної деформації тіста, еластичність) визначали на альвеографі AlveoPC.

Отримували борошно односортним та обойним помелом при різних параметрах пневмоімпульсної обробки та досліджували його хлібопекарські властивості.

Висновки до розділу 2

Дослідження процесу гідротермічної обробки зерна пшениці з використанням пневмоімпульсної установки потребує комплексного підходу з використанням різнопланових методів і методик, нормативних документів, використання математичної статистики для отримання і оцінки ступеню достовірності експериментальних результатів.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Організація досліджень

Експериментальні дослідження процесу гідротермічної обробки (ГО) зерна пшениці виконували згідно методики виконання магістерських робіт з опрацюванням результатів досліджень методом математичної статистики.

Схему організації досліджень наведено на рис.3.1.

В дослідженнях використовували спосіб гідротермічної обробки (ГО) зерна пшениці у пневмоімпульсній установці акустичними хвилями.

ГО зерна у пневмоімпульсній установці дозволяє значно скоротити тривалість технологічної операції від 18-24 годин до декількох хвилин.

Застосування вказаного способу є більш доцільним за умови вологої обробки зерна, або в умовах борошномельних підприємств відносно невеликої потужності, котрі мають розширений асортимент продуктів переробки борошна різних типів.

Такий підхід дозволить уникнути будівництва потужних ємностей для ГО зерна, скоротивши тривалість технологічного процесу й виробничі площі разом із одночасним підвищенням якості продуктів і напівпродуктів переробки зерна на борошно.

Важливим технологічним показником зерна при переробці його у борошно є зменшення його міцності під час ГО, яке відображує ступінь утворення тріщин і розпушування ендосперму зерна [13].

Як відомо, процес кондиціювання супроводжується поглинанням зерном води і відбувається зміна його лінійних розмірів зарахунок процесу набухання. Набухання зволоженого зерна приводить до збільшення його початкового об'єму і зниження густини (питомої ваги).

Під впливом дифузійно-осмотичних сил вода, потрапляючи у клітину, змінює не тільки свої властивості, але й стає складовою частиною клітин колоїдного тіла зерна. Відбувається поглинання води його гідрофільними

колоїдами, наприклад, білковими речовинами, а також проникнення води у простір між міцелами зерна.

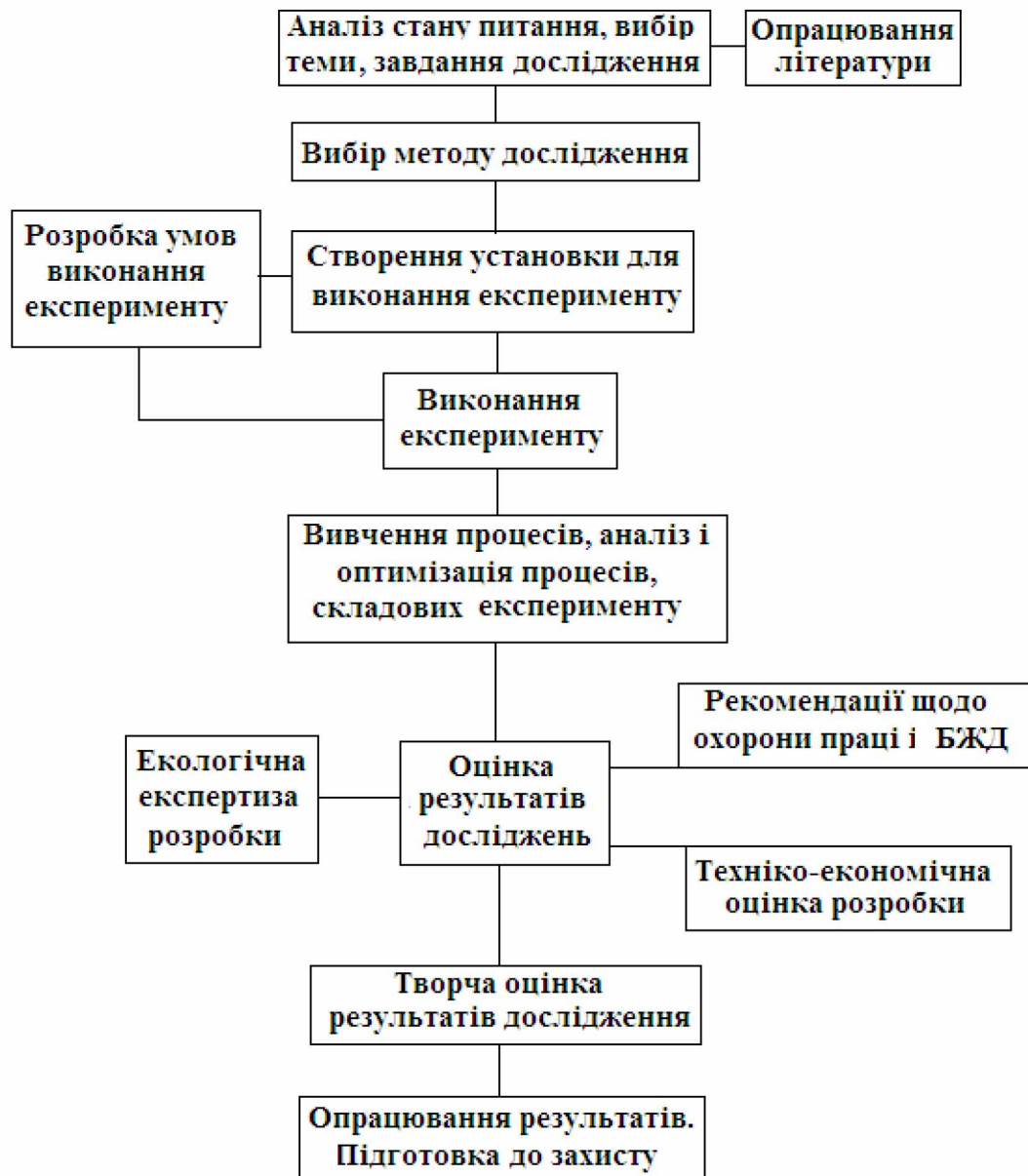


Рисунок 3.1 Схема організації досліджень процесу ГО

Інтенсивність поглинання колоїдної води і ступінь зміни об'єму зерна обумовлюють виникнення значного тиску набухання. При цьому, набухання окремих частин зерна відбувається нерівномірно, що викликає у зерні внутрішні зсуви і деформації, що у свою чергу відображається на його структурно-механічних властивостях.

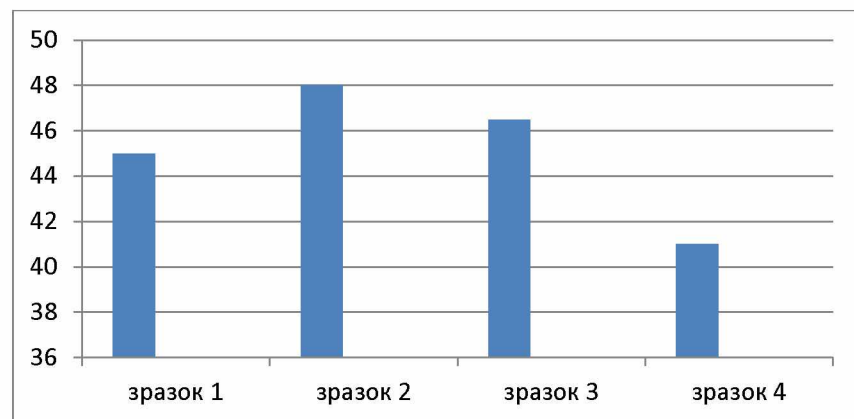
У набуханні головну роль відіграє осмотичне всмоктування води. Чим менше вологи у вихідному зерні, тим буде вищим тиск набухання. Інтегральний ефект набухання складається з набухання окремих клітин колоїдної системи і взаємодії набухання системи між собою.

3.2 Пневмоімпульсна обробка зернового матеріалу

Запропонований спосіб проведення ГО зерна пшениці перед сортовим хлібопекарським помелом здійснювали у пневмоімпульсній установці, де факторами варіювання впливу на зерно були сила імпульсів, тиск у камері установки та кількість імпульсів.

Як свідчать отримані дані, об'єм зерна збільшується при зростанні кількості імпульсних коливань. Збільшення сили імпульсів викликає більш інтенсивний процес набухання зерна, на що вказує показник седиментації в оцтовій кислоті отриманого борошна.

Результати седиментації пшеничного борошна в оцтовій кислоті за різних умов ГО показано на рис.3.2.



1 – холодне кондиціонування, 2 – 3 од.пр., 9 кПа, 100 імпульсів,
3 - 3 од.пр., 25 кПа, 150 імпульсів, 4 – без ГО

Рисунок 3.2 Показники седиментації (мл) пшеничного борошна, отриманого за різних умов пневмоімпульсної обробки, в оцтовій кислоті

За даними рис. 3.1 найменшою є величина показника у зразка 4 (без ГО), а із зразків, що пройшли обробку – у зразка 1 (холодне кондиціонування).

Зразки 2 і 3 мають більші значення, при чому збільшення кількості імпульсів і величини руйнуючого зусилля при однаковій силі пружності збільшують показники седиментації, а значить і силу борошна порівняно з контрольним зразком.

Зменшення тиску над поверхнею зерна також посилює цей процес. Таким чином, чим інтенсивніша і триваліша дія імпульсної обробки, тим більше і швидше зростає об'єм зерна.

Таким чином, процеси проникнення води у глибинні шари ендосперму, утворення тріщин, розпушення і набухання зернівки відбуваються з більшою швидкістю, порівняно з традиційними способами ГО.

Можливо під дією акустичних коливань відбувається примусове втискання молекул води у пори та тріщини зерна і подальше їх просування в глибину зернівки. При цьому, закономірно, що чим більшою буде сила коливань, тим швидше буде відбуватися процес відволоження зерна.

Але збільшувати силу імпульсних коливань можна до певної межі, після якої виникають негативні зміни у зерні, і погіршуються його характеристики.

Припускається, що роль тиску в камері установки полягає у тому, що, як відомо, на поверхні зерна є пори, капіляри та тріщини, які заповнені повітрям. Під час обробки повітря діє як буфер і перешкоджає проникненню води в середину зернівки.

Разом із тим, під час ГО у зерні відбуваються складні процеси, які розвиваються комплексно і взаємопов'язано. У результаті докорінно змінюються усі властивості зерна, у тому числі й борошномельні.

На борошномельні властивості зерна основний вплив здійснює розпушення ендосперму, що відбувається внаслідок сумарного впливу фізико- колоїдо- і біохімічних процесів, котрі супроводжують внутрішнє перенесення вологи.

На борошномельні властивості суттєво впливає також міцність і еластичність оболонок та ступінь їх зв'язку з ендоспермом.

Зазвичай ці властивості визначають такими технологічними показниками: виходом і якістю круподунстових продуктів у драному процесі, виходом і якістю готової продукції, а також питомими витратами енергії, витраченої на помел.

Таблиця 3.1 Величини руйнуючого зусилля, Н, при пневмоімпульсній обробці зерна пшениці при силі 3 од.пр.

Тривалість обробки, с							
30	60	90	120	150	180	210	240
9 кПа							
45,1	42,1	38,2	36,3	-	-	-	-
25 кПа							
46,0	44,1	41,0	39,2	37,2	36,3	-	-
42 кПа							
46,5	45,0	43,5	42,0	40,5	39,0	37,5	36,0
57 кПа							
47,4	46,1	45,1	44,1	43,1	42,1	40,2	39,2
90 кПа							
48,0	47,9	46,1	45,1	45,0	44,2	44,0	43,1
103 кПа							
48,1	47,8	47,0	46,9	46,8	46,1	46,0	45,1

За цих значень параметрів проводили обробку зерна перед помелом.

Нами встановлено, що за допомогою інтенсивної імпульсної гідротермічної обробки зерна при певних її параметрах, можна досягти необхідних технологічних властивостей зерна пшениці перед сортовим хлібопекарським помелом.

Ефективність пневмоімпульсної обробки акустичним індуктором зростає при збільшенні сили імпульсів і зниженні тиску. Тривалість обробки зерна пшениці також впливає на ефективність обробки (табл. 3.1).

Відповідно до інтенсивності обробки скловидність зерна пшениці зменшується та ступінь набрякання зерна зростає (при більшій величині сили та тривалості і за умов зниження тиску в камері).

Дослідження структурних змін у зерні пшениці після пневмоімпульсної обробки засвідчило про утворення тріщин в ендоспермі, що характерно для холодного кондиціонування; разом із тим відбувається руйнування цілісності оболонки зерна.

3.3 Хлібопекарські властивості борошна після спецобробки

На наступному етапі досліджували хлібопекарські властивості тіста з отриманого борошна. Властивості визначали за кількістю та якістю клейковини на фаринографі (Додатки Б, В).

Дані експерименту з визначення у обробленому пшеничному борошні клейковини занесені до табл. 3.2.

Збільшення пружності клейковини можливо виникає внаслідок механічної денатурації білків. При збільшенні кількості імпульсів до 150, імовірно йде руйнування структури клейковинних білків та спостерігається незначне послаблення. Існує припущення фахівців, що подальша інтенсифікація обробки призведе до руйнування структури клейковини.

Аналіз даних табл. 3.2 вказує на те, що найкращі показники якості клейковини пшеничного борошна спостерігаються при тиску 103 кПа і кількості імпульсів – 120.

При більшому розрідженні середовища цей процес протікає інтенсивніше, але при прикладенні великої кількості імпульсів починають подрібнюватися оболонки, що зменшує вихід борошна.

Укріплення клейковини можливо виникає внаслідок механічної денатурації білків, а при збільшенні кількості імпульсів до 150 ймовірно йде руйнування структури клейковинних білків борошна та спостерігається незначне послаблення.

Таблиця 3.2 Показники якості клейковини борошна, отриманого пневмоімпульсною обробкою пшеничного зерна

Показники	Зразки борошна				
	Вихідний зразок (без ГО)	Контроль*	A**	B***	B****
Кількість клейковини, %	20,2	23,1	20	22,4	20,3
Показник пружності ІДК, д.пр.	89	94	90	87	81
Розтяжність, мм	15,5	18,4	15,6	13,5	13,1
Розплив клейковини через 0,5 год., мм	17,6	18,1	17,3	16,8	17
Гідратаційна здатність клейковини, %	330,4	280,4	280,7	294,5	333,9

* Традиційна холодна обробка зерна,

A** Сила 3 бали, тиск 57 кПа, кількість імпульсів 100,

B*** Сила 3 бали, тиск 103 кПа, кількість імпульсів 150,

B**** Сила 3 бали, тиск 103 кПа, кількість імпульсів 120.

3.4 Моделювання процесу і математична обробка результатів

До початку експерименту вибрали вхідні і вихідні змінні параметри, області експериментування. Для цього розглянули широке число вхідних

чинників, які впливають на процес ГО зерна, та вихідних параметрів, які свідчать про зміни у протіканні цього процесу під дією вхідних чинників [1].

Побудова параметричної моделі або моделі типу «чорна шухляда» (рис. 3.3) заснована на виділенні системи із середовища разом із зображенням входів і виходів системи.



Рисунок 3.3 Параметрична модель процесу ГО зерна

В даній моделі детально не розглядається її внутрішня структура. Досліджуючи відомі параметри, за допомогою моделі отримують уявлення про її внутрішній устрій.

Рангове оцінювання вхідних і вихідних параметрів технологічного процесу містить табл. 3.3.

Таблиця 3.3 Вхідні і вихідні параметри технологічного процесу за рангами

Найменування параметру	Вид параметру	Ранг
Вхідні		
Вологість	Вхідний	6
Скловидність	Вхідний	2
Геометричні характеристики зерна	Вхідний	7
Зараженість	Вхідний	12
Засміченість	Вхідний	11

Продовження табл.3.3

Керуючі		
Температура	Керуючий	10
Тривалість обробки	Керуючий	8
Тиск	Керуючий	1
Кількість імпульсів	Керуючий	4
Сила імпульсів	Керуючий	5
Збурювальні		
Кваліфікація робітників, рівень організації праці	Збурювальний	9
Технічний стан обладнання	Збурювальний	3
Вихідні		
Твердість зерна	Вихідний	1
Витрати енергії на подрібнення	Вихідний	3
Вологість	Вихідний	4
Якість і кількість клейковини	Вхідний	2

Визначимо комплексну оцінку якості зерна обробленого за традиційною технологією (контрольний зразок) та обробленого в пневмоімпульсній установці з використанням акустичного індуктора (дослідний зразок).

Першу групу показників складають органолептичні показники з оцінкою в балах (базовий показник становить 20 балів).

До другої групи прираховуємо структурно-механічні властивості зерна за 100-бальною шкалою.

Третя група відображає технологічні властивості зерна. За базове значення візьмемо оптимальне значення кожного показника.

Показники комплексної оцінки якості зерна пшениці, обробленого за традиційною технологією та обробленого в установці з використанням акустичного індуктора містить табл. 3.4.

Таблиця 3.4 Показники комплексної оцінки якості зерна пшениці

Показники якості	Значення	Контрольний зразок		Дослідний зразок	
		Абс.	Відн.	Абс.	Відн.
Група А. Органолептичні показники, M_a					
Запах, m_a^1	20	18	0,9	18	0,9
Колір, m_a^2	20	17	0,85	18	0,9
Вирівняність поверхні зерен, m_a^3	20	18	0,9	19	0,95
Смак, m_a^4	20	20	1,0	20	1,0
Група Б. Структурно-механічні властивості, M_b					
Щільність, m_b^1	100	50	0,5	70	0,7
Різниця структурно-механічних властивостей ендосперму та оболонки, m_b^2	100	65	0,65	80	0,8
Група В. Технологічні властивості, M_b					
Кількість клейковини, m_b^1	25	23	0,93	22	0,91
Якість клейковини, m_b^2	75	95	0,7	88	
Вихід борошна, m_b^3	80	73,2	0,92	69,7	0,88
Білизна борошна, m_b^4	60	54,2	0,9	58,6	0,98

У табл. 3.5 внесемо значення міжгрупових та внутрішньогрупових коефіцієнтів.

Комплексний критерій оцінки якості зерна розраховуємо за формулою:

$$K = \sum M_i \sum m_i^j k_i^j \quad (3.2)$$

Обчислимо комплексний критерій якості для зерна обробленого за традиційною технологією та з використанням пневмоімпульсної технології і порівняємо їх.

$$K_{\text{трад}} = 0,75$$

$$K_{\text{досл}} = 0,83$$

Результати розрахунків вказують на те, що дослідний зразок має більш високий критерій якості, тобто пневмоімпульснв обробка підвищує якість зернового матеріалу.

Таблиця 3.5 Значення групових коефіцієнтів

M_a				M_b		M_B			
0,15				0,40		0,45			
m_a^1	m_a^2	m_a^3	m_a^4	m_b^1	m_b^2	m_B^1	m_B^2	m_B^3	m_B^4
0,1	0,2	0,5	0,2	0,4	0,6	0,25	0,4	0,15	0,2

Математичну обробку зерна (дисперсійний аналіз) використали для оцінки впливу скловидності зерна на його твердість. Його використовують якщо необхідно встановити, чи суттєво впливає фактор X на досліджувану величину Y.

Основна ідея цього методу полягає в порівнянні факторної дисперсії, яку викликає дія фактору X, і залишкової дисперсії, обумовленої випадковими причинами.

Якщо розходження між цими дисперсіями значиме, то фактор X суттєво впливає на вхідну величину Y, і в цьому випадку середні значення Y, що спостерігаються при різних значеннях X, відрізняються також значимо.

Дисперсійний аналіз представляє собою перевірку гіпотез, пов'язаних з оцінкою вибіркової дисперсії. Можна виділити 3 основні види гіпотез:

1. $S_1^2 = S_2^2$ (чи значиме розходження між двома дисперсіями).
2. $S_1^2 > S_2^2$ (чи є одна дисперсія більш значима за інші).
3. $S_1^2 = S_2^2 = \dots = S_n^2$ (чи значиме розходження між декількома дисперсіями).

Дисперсія обчислюється з випадкових величин, і тому сама дисперсія теж є випадковою величиною. Перші дві гіпотези дисперсійного аналізу перевіряються за допомогою критерію Фішера. Причому перша гіпотеза – за допомогою двостороннього критерію, а друга – за допомогою одностороннього.

Середнє значення Y_i визначають за формулою:

$$Y_{сер} = \frac{\sum_{i,j=1}^n y_{ij}}{n} \quad (3.3)$$

Визначимо загальну дисперсію:

$$D_y = \frac{S_y}{Nm-1} \quad (3.4)$$

$$S_y = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^N (y_{ij} - y)^2 \quad (3.5)$$

Обчислимо факторну дисперсію за формулою:

$$D_{y\phi} = \frac{S_{y\phi}}{N-1} \quad (3.6)$$

$$S_{y\phi} = m \sum_{i=1}^N (y_i - y)^2 \quad (3.7)$$

Визначимо залишкову дисперсію:

$$D_{y\sigma} = \frac{S_{y\sigma}}{N(m-1)} \quad (3.8)$$

$$S_{y\sigma} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (y_{ij} - y_i)^2 \quad (3.9)$$

Визначимо розрахункове значення критерію Фішера за формулою:

$$F = \frac{D_{y\phi}}{D_{y\sigma}} \quad (3.10)$$

Для визначення однорідності дисперсій порівнюють розрахункове значення критерію Фішера з табличним.

Розрахунок дисперсійного аналізу впливу скловидності борошна на твердість зерна представлений у додатку А.

За формулою 3.3 визначимо середнє значення Y_i :

$$Y_{сер1} = 0,473$$

$$Y_{сер2} = 0,89$$

$$Y_{сер3} = 1,403$$

$$Y_{сер} = \frac{0,473 + 0,89 + 1,403}{3} = 0,92$$

Підставивши значення в формули 3.4 і 3.5 отримаємо загальну дисперсію:

$$S_y = 21,907$$

$$D_y = \frac{21,907}{50 \times 3 - 1} = 0,147$$

Факторну дисперсію обчислимо за формулами 3.6 і 3.7:

$$S_{y\phi} = 21,68$$

$$D_{y\phi} = \frac{21,68}{3 - 1} = 10,84$$

Залишкова дисперсія визначається за формулами 3.8 та 3.9:

$$S_{y\sigma} = 0,35$$

$$D_{y\sigma} = \frac{0,35}{3(50 - 1)} = 0,0024$$

Розрахункове значення критерію Фішера визначимо за формулою 3.10:

$$F = 4516,7$$

Розрахункове значення критерію Фішера значно більше за табличне, дисперсії не однорідні і досліджуваний фактор суттєво впливає на процес.

Таблиця 3.6 Матриця експерименту для побудови графіку

	X	Y	Z
1	30	9	45,1
2	60	25	44,2
3	90	42	43,5
4	120	57	44
5	150	90	45
6	180	103	46

Для визначення однорідності дисперсій порівняємо розрахункове значення критерію Фішера з табличним $F_{табл} < F_{розр}$. $F_{табл} = 3,49$

$$4516,7 > 3,49$$

Результати експерименту обробляли методом математичної статистики з використанням програм STATISTICA 7.0, EXCEL;

Матриця експерименту з пневмоімпульсної обробки зерна пшениці за даними табл.3.1 має вигляд (табл.3.6); графік показано на рис. 3.4.

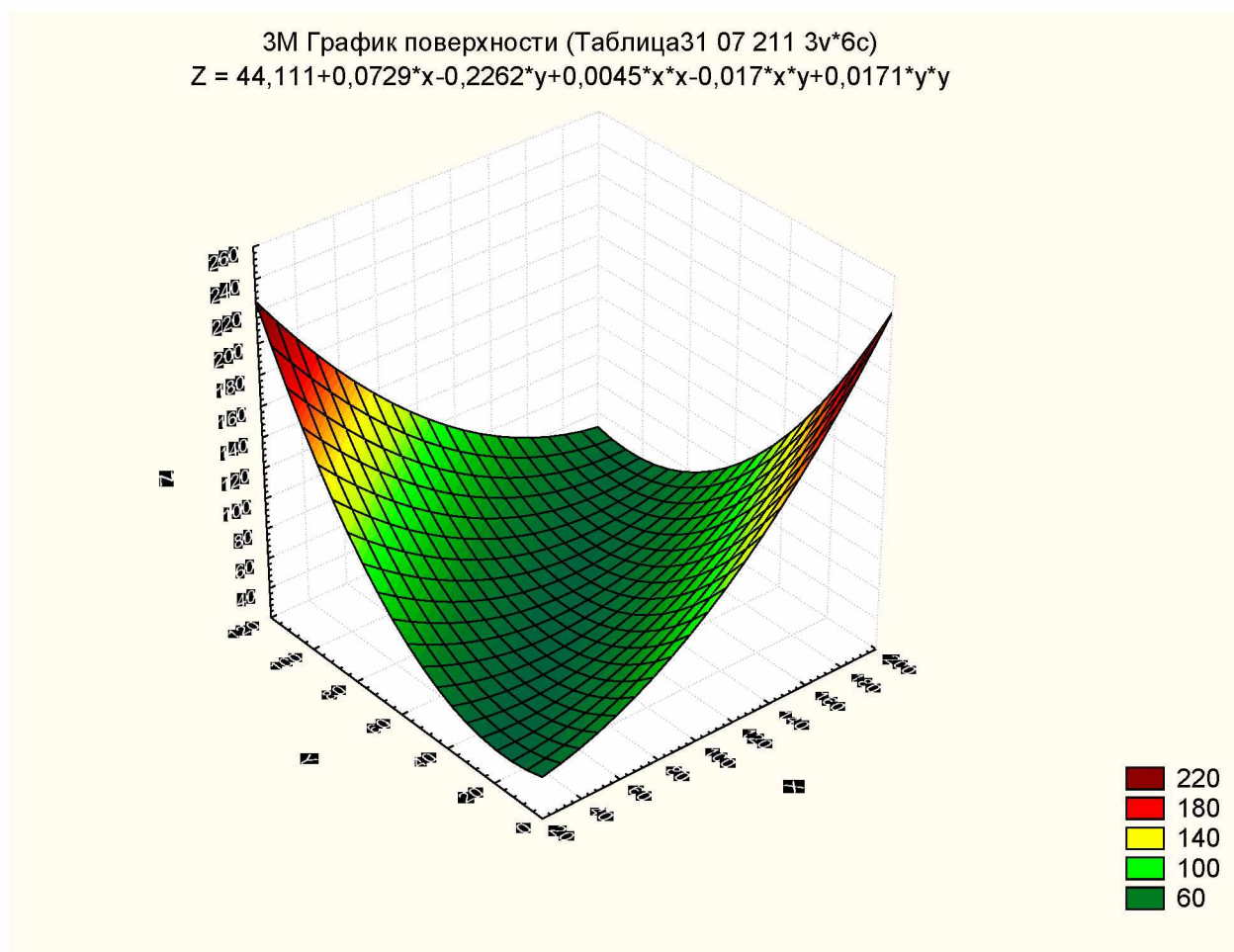


Рисунок 3.4 Залежність величини руйнуючого зусилля Z від тривалості обробки зерна X і тиску Y

Кореляційні співвідношення, котрі вказують на зв'язок між змінними, показано в табл. 3.7.

Як видно з представлених даних і математичної моделі, залежності у досліджуваному діапазоні руйнуючого зусилля Z від тривалості обробки

зерна X і тиску Y мають нелінійний характер, що свідчить про приналежність зерна пшениці до не ньютонівських систем. Математична модель процесу переробки зерна також не має екстремуму, тобто критичної точки.

Таблиця 3.7 Кореляційна матриця змінних величин

Корреляции (Таблица 31 07 211) Отмеченные корреляции значимы на уровне p до 0,5			
	X	Y	Z
X	1,00	0,99	0,44
Y	0,99	1,00	0,50
Z	0,44	0,50	1,00

Характер отриманих залежностей вказує на прояв зерном пшениці виражених псевдо пластичних властивостей. Аналіз реологічних кривих вказує також на наявність межі текучості, оскільки як криві не проходять через початок координат [2].

Висновки до розділу 3

Запропоновано схему організації досліджень з гідротермічної обробки зерна пшениці з використанням пневмоімпульсної установки.

Доведено, що внаслідок інтенсивної гідротермічної обробки у пневмоімпульсній установці перед сортовим помелом для борошна відбувається поліпшення його хлібопекарських властивостей: посилення борошна та покращання фізичних характеристик тіста.

Надано аналітичну оцінку органолептичним показникам, структурно-механічним і технологічним властивостям.

Отримано рівняння множинної регресії залежності величини руйнуючого зусилля Z від тривалості обробки зерна X і тиску Y , проаналізовано кореляційні співвідношення між змінними величинами.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

На прикладі зерна пшениці Миронівська 808 показано необхідність подальшого вдосконалення процесу гідротермічної обробки зернового матеріалу з метою отримання якісного продукту – борошна вищого гатунку – за рахунок використання пневмоімпульсної установки обробки зерна пшениці з використанням акустичного індуктора.

Лабораторно-технічні випробування показали, що створена для експериментальних досліджень установка є працездатною.

При її використанні отримуємо цінну інформацію про перебіг процесів, котрі відбуваються в процесі обробки зерна пшениці акустичним методом.

В результаті досліджень визначено раціональні параметри обробки зернового матеріалу, котрі рекомендовано до застосування при розробці технологічних процесів і апаратно-технологічних схем переробки зерна з використанням акустичних індукторів.

Для зниження енерго- і трудовитрат при підготовці зернового матеріалу до простого помелу рекомендується застосовувати розроблену технологію і ультразвукову установку для

- нормування кондиційних показників, що забезпечують отримання пшеничного борошна високої якості,
- підвищення кількісних показників процесу переробки зерна.

4.1 Екологічна експертиза

Виконання екологічної експертизи є обов'язковим у процесі реалізації різних видів діяльності, котрі здатні впливати на стан довкілля.

Екологічна експертиза являє собою систему комплексної оцінки всіх можливих екологічних і соціально-економічних наслідків здійснення проекту, функціонування господарських об'єктів, прийняття рішень спрямованих на запобігання їхньому негативному впливу на довкілля і на вирішення намічених завдань з мінімальними втратою ресурсів і небажаними наслідками.

В Україні чиняться державна, громадська, ін. екологічні експертизи.

Метою екологічної експертизи є:

- забезпечення науково-обґрунтованого визначення відповідності проектних рішень сучасним екологічним вимогам перед їх затвердженням у компетентних державних органах;
- запобігання можливим негативним впливам об'єктів, що проектуються і функціонують у процесі їх реалізації на екосистему;
- підтримання динамічної природної рівноваги і сприятливого стану довкілля при реалізації народногосподарських планів.

Завдання екологічної експертизи полягають у здійсненні:

- перевірки й оцінювання відповідності проектних матеріалів до вимог Конституції, аграрного, земельного та екологічного законодавства;
- здійснення експертизи з позиції державної екологічної політики;
- встановлення екологічних властивостей природних матеріалів і сировини із визначенням ступеню обліку і відображення в них взаємодії антропогенних і екологічних підсистем у системі «Суспільство-природа».

Еколого-експертний процес складається з трьох основних етапів: підготовчого, основного і заключного.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- об'єктивність і незалежність, наукова обґрунтованість, комплексність, гласність, превентивність;
- гарантування безпечного довкілля для життя та здоров'я людей;
- екологічна безпека, територіально-галузева доцільність використання еколого-економічних вимог експертизи, запланованої чи здійснюваної діяльності.

Об'єктами екологічної експертизи є проекти законодавчих, ін. нормативно-правових актів, передпроектні і проектні матеріали, документація із впровадження нової техніки, технологій, матеріалів, продукції, реалізація яких спроможна призвести до порушення екологічних нормативів, негативного впливу на стан довкілля [15].

Зернопереробні підприємства не відносяться до основних забруднювачів довкілля у зв'язку з малою кількістю забруднень і їх низькою категорією токсичності.

Зерно, як об'єкт зберігання і переробки, принципово відрізняється від іншої сільськогосподарської продукції. Після підготовки до зберігання, зерно містить 85-90% сухих речовин і лише 10-15% вологи, при цьому вся вона знаходиться в зв'язаному стані і недоступна для активних процесів життєдіяльності.

Технологічна довговічність більшості зернових культур, коли без істотних змін зберігаються харчові якості зерна, числяться роками. У той же час основна частина насінного, продовольчого, фуражного фондів країни зберігається в межах одного року.

Високе якість збереження зерна забезпечується тільки в тому випадку, якщо воно своєчасно і правильно очищене. При незадовільній очистці зерна не можливо забезпечити його добре збереження навіть в самих бездоганних сховищах. Іншою серйозною причиною можливих втрат зерна при зберіганні є недостатній контроль за цим процесом, невчасне проведення практичних і оздоровчих заходів. Одним із шляхів її розв'язання є включення до технології післязбиральної обробки продовольчого зерна додаткового сортування за

ознаками розділення, які забезпечують відокремлення в окремі фракції зерна з підвищеними показниками, що характеризують харчову цінність.

Для підвищення ефективності процесу сепарації зернового матеріалу необхідно більш раціонально використовувати у спеціалізованих господарствах технологічні зерноочисні лінії промислового виробництва, а для фермерських господарств - удосконалювати прості зерноочисні машини. До них в першу чергу відносять пневматичні сепаратори. Повітряні канали широко застосовують для очищення зернових сумішей. Але сортування за допомогою дії повітряного каналу здійснюється у досить обмеженому обсязі.

Загальне завдання збереження зерна полягає в тому, щоб забезпечити якнайповніше кількісно-якісні показники складованої продукції при мінімальних витратах праці і засобів.

Тільки при раціональній організації післяжнивної обробки і зберігання, господарство може мати добротний насінний матеріал до моменту посіву або повноцінне фуражне зерно.

Підприємство з переробки зернового матеріалу, зокрема пшениці, в борошно, може чинити шкідливий вплив на довкілля, але для цього встановлюють захисні споруди (вказано в дужках)[31]:

1. Забруднення повітря вентиляційними викидами витяжних систем вентиляції, аспірації та теплогенераторних димових труб (установка циклонів системи ЛІОТ марки ЦОЛ; ефективність вловлювання пилу до 86,5 %).

2. Утворення надмірного шуму від роботи норії, обертання валків, рухів сит, цепів, двигунів та хлопання повітряних рукавів (укриття шумних вузлів технологічного обладнання звукоізоляційними кожухами; розміщення припливної вентиляційної камери в звукоізолюваному приміщенні; встановлення вентиляційних агрегатів на віброізолюваних основах; з'єднання вентиляторів з повітропроводами гнучкими вставками).

3. Забруднення води відходами виробництва (передбачена оборотна система водопостачання з охолодженням води у градирні та відведення господарських стоків в міську систему каналізації).

4. Утилізація зернового пилу, що утворюється при роботі технологічного обладнання (вловлений пил по мірі накопичення разом з не кормовими відходами вивозять на звалище).

Механічне очищення (гідроциклонами, сепараторами, відстійниками) застосовують для вилучення із стічної води нерозчинених, частково розчинних колоїдних забруднень; ефективність роботи відстійників складає 40-70% від теоретично можливої, що пояснюється неповнотою фізико-хімічних процесів, які відбуваються при обробці води реагентами, гідродинамічними умовами водоймищ, нерівномірністю надходження стічних вод, зміною температури води тощо.

В процесі біологічного очищення органічні речовини стічних вод окиснюються мікроорганізмами. Склад споруд біологічної очистки вибирають в залежності від: необхідного рівня очищення, складу забруднень стічної рідини, ґрунтових умов, потужності водоймища. Відрізняють біологічну очистку в умовах близьких до природних і штучно створених (біологічні фільтри, аеротенки).

При очищенні в біофільтрах на поверхні зерен завантаження фільтру сорбуються нерозчинні і колоїдні забруднення, що утворюють біологічну плівку, заселену мікроорганізмами, де розчинені забруднення стічних вод окиснюються мікроорганізмами. Ці принципи покладено також в основу процесів очищення стічних вод в аеротенках. Основну роль тут відіграють аеробні мікроорганізми, колонії яких утворюють активний мул. Відмерша біоплівка і активний мул із споруди біологічної очистки разом з очищеною стічною рідиною надходять до вторинних відстійників для остаточного очищення.

Запропоновані і розроблені заходи при ГО зерна пшениці з використанням пневмоімпульсної установки дозволяють зберегти екологічну рівновагу в районі розміщення технологічного об'єкту, зменшують до мінімуму вплив негативних факторів на довкілля.

4.2 Охорона праці

Охорона праці тісно пов'язана з умовами праці і охоплює заходи з подальшого полегшення умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкого впровадження сучасних засобів охорони праці, усуненню негативних причин.

Перед початком виконання експериментальних досліджень магістрант проходить первинний інструктаж з охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, з правил поведінки та дій у разі виникнення аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих.

Вступний і первинний інструктаж проводить завідувач лабораторією із відповідним записом у журналі реєстрації вступного інструктажу. Позаплановий інструктаж проводиться при порушенні вимог безпеки, змінах при виконанні досліджень, нормативних і законодавчих актах з охорони праці.

На помітному і доступному місці вивішено інструкцію з безпечного технічного обслуговування та догляду за діючим обладнанням, інструкцію з надання першої допомоги при нещасних випадках.

Лабораторію кафедри відносять до приміщень з незначним тепловиділенням і оптимальною температурою повітря 19- 23 °С. Відносна вологість складає 30 - 70%, що відповідає нормам мікроклімату виробничих приміщень.

У приміщенні лабораторії відсутні водяні пари, продукти термічного розкладання матеріалів і отруйні речовини. Провітрювання у випадку необхідності здійснюється шляхом природної вентиляції через вікна. У приміщенні передбачена місцева витяжна вентиляція.

Холодна вода постачається у приміщення від загальної мережі водогону, каналізаційні води через трубопроводи потрапляє в загальну каналізацію.

Сезонне опалювання здійснюється власною котельнею і передбачено для підтримання температури повітря у приміщенні лабораторії в межах оптимальної.

Рівень шуму і вібрації у приміщенні відповідає санітарним нормам СН 245-71. Вібрація на робочих місцях виробничих приміщень не повинна перевищувати гранично допустимий рівень відповідно до нормативних вимог. Показники вібрації у приміщенні лабораторії знаходяться в межах норм.

У приміщенні застосовується загальне освітлення відповідно існуючих нормативів, яке створює рівномірне освітлення у приміщеннях у темний період доби. Передбачено також природне бокове освітлення через вікна та фонарі у зовнішніх стінах.

На робочому місці повинна бути аптечка та засоби захисту пожежогасіння. Дослідницька лабораторія обладнана двома вогнегасниками ОХП-10 і одним вогнегасником ОУ-8, який підвішений на висоті 1,5 м від рівня підлоги.

Перед початком дослідницьких робіт магістрант знайомиться з будовою, роботою та технічним обслуговуванням пневмоімпульсної установки гідротермічної обробки зерна (ПГУ).

Безпосередньо перед початком роботи працівник повинен оглянути та перевірити робоче місце, прибрати всі непотрібні предмети, переконатися у справності основних вузлів обладнання, перевірити його роботу на холостому ході. Залишати без нагляду працююче обладнання не дозволяється.

Відбір проб зерна магістрантом і подальші наукові дослідження на пенетрометрі магістрант виконує у спеціальному одязі - комбінезоні або халаті із фартухом, захисних окулярах, рукавицях, уважно стежачі за ходом процесу.

Магістрант при виконанні дослідницьких робіт має виконувати тільки доручену йому роботу, бути уважним, не відволікатися і не відволікати інших від роботи, не допускати до роботи сторонніх осіб.

Пуск ПУ виконують, переконавшись у відсутності небезпеки для оточуючих, а при виявленні несправності в його роботі слід зупинити його та повідомити керівника, учбового майстра або завідувача лабораторією.

Про всі зауваження у роботі ПУ і/або персонального комп'ютера магістрант повідомляє науковому керівнику і ні в якому разі самостійно не виконує ремонт вказаного устаткування, навіть при простих несправностях.

Досліднику необхідно стежити за чистотою на робочому місці. Чищення, миття забруднених місць ПУ проводять тільки при повній його зупинці і після повного відключення електроструму.

Після закінчення робіт ПУ і персональний комп'ютер переводяться у положення, що виключає можливість їх пуску сторонніми особами.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо при роботі з борошномельним і/або просіювальним агрегатом показав, що їх можна поділити на групи, які [3]:

- характеризують стан або рівень безпеки обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності контролю за дотриманням правил з охорони праці тощо;
- низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;

При виконанні досліджень, роботі на виробництві слід приділяти певну увагу аналізу формування умов виникнення і розвитку аварій (рис.4.2).

Всяке порушення аналітичної цілості організму, його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма.

Процес виробництва борошна - це послідовне очищення і обробка зерна на машинах зерноочисного, розмелювального, просіювального та вибійного відділень пов'язаних між собою комунікаціями пневматичного та самотічного транспортерів.

Кожен з цих процесів містить свої небезпечні чинники, які можуть негативно вплинути на життя та здоров'я працівників при недотриманні правил техніки безпеки.



Рисунок 4.2 Логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку

Під час роботи млина і ПШУ виникають такі небезпечні чинники як механічний, враження електричним струмом та вибуховий. Чинник вибуху виникає в результаті запиленості в приміщенні вище граничних норм (ГДК

мучного пилу – 6 гр/м³). Для запобігання вибуху використовують вентиляційні установки.

Перед пуском у роботу борошномельних машин необхідно переконатися в їх справності, міцності кріплення болтових з'єднань, захисних кожухів на зубчатих, ланцюгових, шарнірних і ремінних передачах. До механічних чинників виникнення небезпечних ситуацій належать машини та механізми, що передають крутний момент, а також ланцюгові, стрічкові та пасивні передачі. Ці небезпечні зони повинні бути огорожені спеціальними пристроями.

Враження електричним струмом виникає в результаті неполадок в електричній системі млина і ПУ або при неправильній експлуатації електричних пристроїв. Для запобігання цьому необхідно вчасно проводити перевірки стану електрообладнання та заземлення.

Причинами виникнення пожежі або вибуху у вентиляційних системах можуть бути іскри, які попадають у повітропровід, самозагоряння відкладень на внутрішніх стінках повітропроводів і кожуха вентилятора, а також іскри утворених зарядів статичної електрики.

У процесі розробки профілактичних заходів запобігання пожежам враховують протипожежний стан приміщення, в якому виготовляється борошно. Ефективність заходів запобігання пожежам може бути досягнуто лише шляхом точного прогнозування можливості загорянь.

Особливу увагу при експлуатації млина або просіювального агрегата необхідно звернути на привідний і живильний механізми, активні робочі органи, які обертаються з великою частотою, їх аварійна ситуація може стати причиною травмування обслуговуючого персоналу.

Для боротьби з вогнем при виготовленні борошна на території повинен знаходитись резервуар з водою та при пожежі крани розташовані поблизу млина або просіювального агрегата.

Поряд з приміщенням мають бути встановлені ящик з піском та щит, на якому розміщенні два відра, дві лопати, кирка, сокира, два багри та лом.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Для обґрунтування доцільності впровадження у виробництво запропонованої вище пневмоімпульсної установки для гідротермічної обробки зерна пшениці визначаємо витрати на придбання і встановлення акустичного індуктора, витрати на виготовлення окремих деталей, витрати електроенергії, витрати на заробітну плату виробничих робітників, вартість закупівельних одиниць, річний економічний ефект, які складають основні техніко-економічні показники [21].

Визначення витрат на придбання і налагоджування роботи акустичного індуктора

Загальні витрати на придбання і встановлення акустичного індуктора:

$$B = B_{од} + B_{зд} + B_{ск.к} + B_{з.в}, \quad (4.3.1)$$

де $B_{од}$ – витрати на виготовлення оригінальних деталей, грн.;

$B_{зд}$ – ціна деталей які купуються, грн.;

$B_{ск.к}$ – заробітна плата виробничих працівників, задіяних при складанні нової конструкції;

$B_{з.в}$ – загальні виробничі накладні витрати на виготовлення нової конструкції, грн.

Витрати на виготовлення оригінальних деталей пневмоімпульсної установки визначаємо за виразом:

$$B_{од} = B_{вр.н} + B_{м}, \quad (4.3.2)$$

де $B_{вр.н}$ – заробітна плата виробничих робітників, заданих на виготовленні оригінальних запасних частин з урахуванням допоміжної заробітної плати і нарахуваннями по соціальному страхуванні, грн;

$B_{м}$ – вартість матеріалів заготовок, для виготовлення оригінальних деталей, грн.

Основна заробітна плата працівників, задіяних при складанні нової конструкції визначаємо за формулою:

$$B_{\text{сп.н}} = t_1 \cdot B_z \cdot K_t, \quad (4.3.3)$$

де t_1 - середня трудомісткість на виготовлення окремих оригінальних деталей, $t_1 = 20$ год;

B_z - годинна ставка робітників, яка вираховується по середньому розряду, $B_z = 36,1$ грн/год (за даними статуправління на 2021 рік);

K_t - коефіцієнт, враховуючий доплати до основної заробітної плати, $K_t = 1,03$. Тоді:

$$\hat{A}_{\text{ад.і}} = 20 \cdot 1,03 \cdot 36,1 = 743,7 \text{ грн.}$$

Допоміжну заробітну плату визначаємо за формулою:

$$\hat{A}_{\text{а.1}} = 10 \cdot \hat{A}_{\text{ад.і}} / 100, \quad (4.3.4)$$

$$\hat{A}_{\text{а.1}} = 10 \cdot 743,7 / 100 = 74,4 \text{ грн.}$$

Нарахування в фонд соціального страхування, в фонд безробіття і в пенсійний фонд визначаємо із виразу:

$$B_{\text{соц}} = \kappa(B_{\text{д.1}} + B_{\text{сп.н}}) / 100, \quad (4.3.5)$$

де κ – сумарний коефіцієнт нарахування на соціальне страхування,

Враховуючи нарахування у пенсійний фонд і фонд безробіття отримуємо:

$$\hat{A}_{\text{ніз}} = 37(74,4 + 743,7) / 100 = 302,7 \text{ грн.}$$

Тоді заробітна плата виробничих робітників, задіяних на виготовленні окремих оригінальних деталей до акустичного індуктора пневмоімпульсної установки становитиме:

$$B_{\text{сп.н}} = B_{\text{сп1}} + B_{\text{д.1}} + B_{\text{соц}}, \quad (4.3.6)$$

$$\hat{A}_{\text{ад.і}} = 743,7 + 74,4 + 302,7 = 1120,8 \text{ грн.}$$

Вартість матеріалу заготовок, використаного для виготовлення оригінальних деталей буде дорівнювати:

$$\hat{A}_{i_1} = \hat{A}_1 Q_3, \quad (4.3.7)$$

де B_1 – вартість одного кілограму заготовок, 48,5 грн;

Q_3 - маса заготовки, $Q_3 = 24$ кг.

$$\hat{A}_{i_1} = 48,5 \cdot 24 = 1164 \text{ грн.}$$

Витрати на виготовлення оригінальних деталей, необхідних для роботи пневмоімпульсної установки, становлять:

$$\hat{A}_{i\ddot{a}} = 1120,8 + 1164 = 2284,8 \text{ грн.}$$

Закупівельним для пневмоімпульсної установки є блок з акустичним індуктором AIS-44/9 (Чехія), вартість якого становить 182700 грн.

Закупівельними деталями для нашої установки є також кріплення, підшипники тощо. Витрати на їх закупівлю становлять 1640 грн.

Основну заробітну плату виробничих робітників, задіяних на складанні конструкції розраховуємо за формулою:

$$B_{ск} = T_{ск} \cdot B_r \cdot K_t, \quad (4.3.8)$$

де $T_{ск}$ – нормативна трудомісткість на складання конструкції, год, яку знаходимо з виразу:

$$T_{ск} = K_c \cdot \sum t_{ск}, \quad (4.3.9)$$

де K_c – коефіцієнт, який враховує співвідношення між повним і оперативним часом складання, $K_c = 1,08$;

$t_{ск}$ - трудомісткість складання окремих елементів пристрою, год.

$$\dot{O}_{\tilde{e}} = 1,08 \cdot (8 + 15) = 24,8 \text{ год,}$$

B_2 – годинна ставка робітників, яка вираховується по середньому розряду, $B_2 = 36,1$ грн/год.;

K_t – коефіцієнт, враховуючий доплати до основної заробітної плати, $K_t = 1,03$.

Тоді:

$$\hat{A}_{\tilde{e}} = 24,8 \cdot 36,1 \cdot 1,03 = 922,1 \text{ грн.}$$

Додаткову заробітну плату обчислюємо за формулою:

$$\hat{A}_{a.\tilde{n}\tilde{e}} = (10 \cdot 922,1) / 100 = 92,2 \text{ грн.}$$

Нарахування на соціальне страхування, в фонд безробіття і пенсійний фонд визначаємо з виразу (6.5):

$$\hat{A}_{\tilde{n}\tilde{o}.\tilde{n}\tilde{e}} = 37 \cdot (922,1 + 92,2) / 100 = 375,3 \text{ грн.}$$

З урахуванням вищевикладеного формула для розрахунку заробітної плати виробничих робітників, задіяних на складанні нової конструкції з урахуванням допоміжної заробітної плати і нарахувань по соціальному страхуванню прийме вигляд:

$$B_{ск.к} = B_{д.ск} + B_{ск} + B_{соц.ск}, \quad (4.3.10)$$

$$\hat{A}_{\tilde{n}\tilde{e}.\tilde{e}} = 922,1 + 92,2 + 375,3 = 1389,6 \text{ грн.}$$

Витрати на виготовлення деталей до пневмоімпульсної установки визначаємо за формулою:

$$B_{зв} = B_{вр} \cdot R_{зв} / 100. \quad (4.3.11)$$

де $B_{вр}$ – основна заробітна плата виробничих робітників, задіяних на виготовленні пристрою, грн;

$R_{зв}$ - процент загально виробничих витрат, $R_{зв} = 10,5\%$.

Визначаємо основну заробітну плату виробничників, задіяних на виготовленні деталей до нового пристрою:

$$B_{вр} = B_{вр.н} + B_{ск}, \quad (4.3.12)$$

$$\hat{A}_{\tilde{a}\tilde{d}} = 922,1 + 1389,6 = 3701,3 \text{ грн.}$$

Тоді загально-виробничі накладні витрати на виготовлення деталей до нового пристрою становитимуть:

$$\hat{A}_{\tilde{z}\tilde{a}} = 3701,3 \cdot 10,05 / 100 = 372,0 \text{ грн.}$$

Витрати на виготовлення і запуск нового пристрою:

$$\hat{A} = 2284,8 + 1389,6 + 372,0 = 4046,4 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію при роботі пневмоімпульсної установки становлять:

$$E = C \cdot T, \quad (4.3.13)$$

де C – кількість використаної електроенергії на період експериментів, кВт-год;

T – тариф на оплату електроенергії, грн/кВт-год (2021 рік).

$$E = 2400 \cdot 1,68 = 4032 \text{ грн}$$

Додаткові витрати з урахуванням вартості акустичного індуктора, виготовлення і монтажу додаткових деталей становлять 184340 грн.

Визначення економічної ефективності від впровадження індуктора

Річну економію від зниження собівартості при впровадженні пневмоімпульсної установки розраховуємо за формулою:

$$E_p = B \cdot \Delta \cdot P, \quad (4.3.14)$$

де B – середня ринкова ціна в Україні на 2021 рік пшеничного борошна вищого гатунку - 17800 грн/т,

Δ - коефіцієнт, що враховує підвищення виходу пшеничного борошна на 6 % з 1 тони внаслідок впровадження нового пристрою,

P – продуктивність агрегату, т.

$$E_p = 17800 \cdot 0,06 \cdot 135 = 144180 \text{ грн.}$$

Термін окупності конструкції визначаємо із виразу:

$$T_o = B / E_p, \quad (4.3.15)$$

тобто

$$T_o = 192418,4 / 144180 = 1,33 \text{ років}$$

Основні техніко-економічні показники впровадження акустичного індуктора заносимо до табл. 4.3.

Як видно з табл. 4.3 річна економія при застосуванні розробленого пристрою - пневмоімпульсної установки - вказує на необхідність застосування його у процесі підготовки борошна до помелу.

Отримано значний економічний ефект 144180 грн/рік, термін окупності пристрою складає 1,33 років, тому дану розробку пневмоімпульсної

установки з акустичним індуктором для переробки зерна пшениці слід рекомендувати до впровадження.

Таблиця 4.3 Основні техніко-економічні показники впровадження нового пристрою

Показники	Значення показників
Витрати на виготовлення і запуск нового пристрою, грн	4046,4
Вартість акустичного індуктора, грн	182700
Витрати на монтаж акустичного індуктора, грн	1640,0
Витрати на електроенергію, грн	4032,0
Сума витрат на пневмоімпульсну установку, грн	192418,4
Річний економічний ефект, грн.	144180
Термін окупності, років	1,33

Висновки до розділу 4

Розглінуто і проаналізовано принципи екологічної експертизи, методи вирішення проблем, пов'язаних з охороною праці на підприємствах з переробки зерна на борошно.

Надано техніко-економічне обґрунтування виконаним дослідженням гідротермічної обробки зерна пшениці із використанням пневмоімпульсного модуля з акустичним індуктором і вакуумною камерою, доцільність широкого впровадження нового пристрою.

З метою можливості використання технологічного процесу на підприємствах різної потужності слід розробити промислові зразки модульних ультразвукових установок очищення і зволоження зерна.

Загальні висновки

1. Надано оцінку традиційним і сучасним способам обробки зернового матеріалу перед помелом на борошно, зокрема методу гідротермічної обробки зерна.

2. Розглянуто механізм різних шляхів проникнення вологи в зерно при технологічній переробці зерна на борошно, впливом цього процесу на кількісно-якісні показники виробництва.

3. Визначено переваги метода обробки зернового матеріалу з використанням акустичної установки. Створено установку і запропоновано схему організації експериментів.

4. Досліджено процес обробки зерна пшениці із застосуванням пневмоімпульсної установки з акустичним індуктором і вакуумною камерою: зерно зволожується та обробляється імпульсами, кількість і сила яких залежить від типу помелу та вихідних показників якості зерна.

5. Доведено, що внаслідок інтенсивної акустичної обробки зерна перед сортовим помелом відбувається поліпшення хлібопекарських властивостей отриманого борошна.

6. Показано необхідність використання методу математичної статистики для отримання і оцінювання ступеню достовірності експериментальних результатів.

7. Надано математичну модель процесу акустичної обробки зерна з аналізом факторів впливу на процес обробки зернового матеріалу.

8. Розглянуто і проаналізовано принципи екологічної експертизи, методи вирішення проблем, пов'язаних з охороною праці на підприємствах з переробки зерна.

9. Надано техніко-економічне обґрунтування виконаним дослідженням обробки зерна пшениці із використанням пневмоімпульсного модуля з акустичним індуктором, доцільність широкого впровадження нового пристрою. Термін окупності пристрою 1,33 року.

10.3 метою поширення експериментальних результатів на підприємствах різної потужності слід розробити промислові зразки модульних ультразвукових установок очищення і зволоження зерна.

Потрібні також додаткові дослідження, пов'язані із розширенням акустичного діапазону обробки, терміну впливу, інтенсивності впливу тощо на зерновий матеріал.