

Фоміна І.М., Гавриш Т.В., Шаніна О.М., Боровікова Н.О.

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА



Харків ДБТУ 2025

Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет переробних і харчових виробництв

Кафедра технології хлібопродуктів і кондитерських виробів

Фоміна І.М., Гавриш Т.В., Шаніна О.М., Боровікова Н.О.

Інноваційні технології зберігання і переробки зерна

Розділ 1.

Інноваційні технології зберігання зерна

Навчально-методичний посібник

для здобувачів спеціальності 181 «Харчові технології»
другого (магістерського) рівня вищої освіти

за освітньою програмою «Технологія зернопродуктів та зернові ресурси»

Затверджено
рішенням Науково-методичної
комісії факультету переробних
і харчових виробництв
Протокол № 6
від «07» лютого 2025 р .

Харків
2025

УДК 664.7:633.1](076)
І-66

Схвалено
на засіданні кафедри технології хлібопродуктів і кондитерських виробів
Протокол №9 від 23.01.2025 р.

Рецензент:

Бредихін Вадим Вікторович, доктор технічних наук, доцент, декан факультету мехатроніки та інжинірингу, професор кафедри надійності та міцності машин і споруд імені В.Я. Аніловича

І-66 «Інноваційні технології зберігання і переробки зерна» розділ 1. «Інноваційні технології зберігання зерна»: навчально-методичний посібник для здобувачів спеціальності 181 «Харчові технології» другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньою програмою «Технологія зернопродуктів та зернові ресурси» / укладачі: І.М.Фоміна, Т.В.Гавриш, О.М.Шаніна, Н.О. Боровікова– Харків: ДБТУ, 2025. – 133 с.

Навчально-методичний посібник з дисципліни «Інноваційні технології зберігання і переробки зерна» розділ 1. «Інноваційні технології зберігання зерна» охоплюють основні аспекти сучасної технології зберігання зернових ресурсів спрямовані на поглиблене розуміння студентами її інноваційних підходів. Студенти ознайомлюються з фундаментальними поняттями інноваційних технологій, їх значенням та впливом на ефективність і якість зберігання зерна.

УДК 664.7:633.1](076)

Відповідальний за випуск: І.М. Фоміна, доцент кафедри технології хлібопродуктів і кондитерських виробів ДБТУ

© І.М. Фоміна,
Т.В. Гавриш
О,М. Шаніна
Н.О. Боровікова, 2025
© ДБТУ, 2025

ЗМІСТ

Передмова.....	4
Сучасні технології очищення зерна.....	6
Ефективні способи сушіння зерна.....	13
Вентиляція зернової маси в сучасних умовах.....	23
Технології та обладнання для підвищення збереження зерна за рахунок зниження травмування.....	32
Нові технології зберігання зерна.....	38
Інновації в знезараженні зерна.....	46
Управління ризиками при зберіганні зерна.....	54
Аналіз зернового ринку України.....	60
Лабораторна робота 1 Вплив параметрів сушіння та режимів мікрохвильового сушіння на зберігання зернової сировини.....	79
Лабораторна робота 2 Вплив озоно-повітряної суміші на інтенсивність дихання зерна під час зберігання.....	90
Лабораторна робота 3 Вивчення параметрів консервування зерна азотом.....	91
Лабораторна робота 4 Вивчення режимів зберігання зерна в охолодженому стані.....	102
Лабораторна робота 5 Вплив озону, інфрачервоних та ультрафіолетових променів на знезараження зерна під час зберігання..	109
Література.....	116
Тестові питання.....	120

Передмова

Сучасне зернове господарство є однією з ключових галузей аграрного сектору, яка забезпечує продовольчу безпеку країни та є важливою складовою експортного потенціалу. Удосконалення технологій зберігання зерна та зернопродуктів є стратегічним завданням, що потребує впровадження інноваційних рішень для збереження якості, зниження втрат і підвищення ефективності виробничих процесів.

Дисципліна "Інноваційні технології зберігання зерна" спрямована на ознайомлення студентів із новітніми досягненнями у галузі зберігання зернової сировини. Особлива увага приділяється методам контролю якості зерна, використанню автоматизованих систем моніторингу, інноваційним способам сушіння та вентиляції, а також підходам до мінімізації втрат продукції під час тривалого зберігання.

Даний навчально-методичний посібник розроблений для формування у студентів теоретичних та практичних навичок у використанні сучасного обладнання та технологій зберігання зерна. У процесі виконання лабораторних робіт студенти опановують методи визначення фізико-хімічних властивостей зернової маси, вивчають вплив технологічних параметрів на її якість та збереженість, а також аналізують ефективність різних способів зберігання в умовах змінного середовища. Матеріали навчально-методичного посібника покликані не лише забезпечити студентів актуальними теоретичними знаннями, а й навчити їх застосовувати отримані навички у реальних виробничих умовах.

Практикум розроблений відповідно до вимог сучасного аграрного виробництва, базується на міжнародних стандартах та враховує останні досягнення науки й техніки у сфері зберігання зернових культур. Виконання лабораторних робіт дозволить студентам не лише оволодіти базовими знаннями з технологій зберігання зерна, але й стати компетентними фахівцями, здатними впроваджувати інноваційні рішення у практичну діяльність.

Сподіваємося, що цей посібник стане для студентів важливим кроком у розумінні сучасних підходів до зберігання зерна та сприятиме формуванню професійних компетенцій.



Академічна доброчесність є основою якісної освіти та наукової діяльності, також і при вивченні дисципліни "Інноваційні технології зберігання зерна". Відсутність плагіату, належне посилання на джерела та дотримання авторських прав є обов'язковими вимогами до виконання наукових робіт, курсових проєктів та аналітичних звітів. Студенти повинні самостійно аналізувати наукові дослідження, узагальнювати отриману інформацію та чітко вказувати авторів та джерела, з яких запозичуються ідеї, методи чи висновки.

Дотримання принципів академічної доброчесності також стосується використання сучасних інформаційних ресурсів, баз даних та публікацій. Використання чужих матеріалів без відповідних посилань не лише суперечить науковій етиці, а й знижує рівень особистої відповідальності студента. Формування навичок правильного цитування та критичного аналізу джерел сприяє розвитку аналітичного мислення та дозволяє глибше зрозуміти інноваційні підходи до зберігання зерна.

Сучасні технології очищення зерна

Очищення зерна є одним із ключових етапів у технологічному ланцюгу післязбиральної обробки, що забезпечує високу якість та безпечність продукції. У процесі збирання зернової маси містять різні види домішок, такі як бур'яни, пил, уламки стебел та насіння інших культур. Наявність таких забруднень знижує товарну якість зерна, ускладнює його подальше зберігання та може спричиняти розвиток мікроорганізмів і шкідників. Тому ефективне очищення відіграє важливу роль у підтриманні високої якості продукції та забезпеченні її конкурентоспроможності на ринку.



Сучасні технології очищення зерна базуються на використанні механічних, повітряних, магнітних, гідродинамічних і оптичних методів видалення домішок. Це дозволяє значно підвищити чистоту зерна, мінімізувати втрати та покращити показники зберігання. Автоматизація процесів, застосування сенсорних систем та штучного інтелекту сприяють більш ефективному сортуванню зернової маси, знижуючи потребу у ручній праці та підвищуючи продуктивність зерноочисних ліній.

Якісне очищення зерна має суттєве економічне значення, оскільки впливає на кінцеву вартість продукції, зменшує ризики її псування та підвищує рентабельність аграрного виробництва. Крім того, застосування сучасних технологій дозволяє знизити енерговитрати та негативний вплив на навколишнє середовище. У підсумку, очищене зерно стає більш придатним для подальшої переробки, що сприяє виробництву якісних харчових продуктів та кормів.

Основні види домішок у зерновій масі

Вид домішок	Характеристика	Вплив на якість зерна
Мінеральні домішки	Пісок, пил, грудки ґрунту, камінці	Підвищують зношування обладнання, погіршують якість продукції
Органічні домішки	Рештки стебел, листя, лушпиння, бур'яни	Знижують товарну якість, ускладнюють обробку та зберігання
Зернові домішки	Насіння інших культур, щупле та недозріле зерно	Впливають на сортність зерна, погіршують хімічний склад продукції
Фузаріозне та уражене зерно	Зерно, уражене грибами, хворобами або шкідниками	Підвищує ризик розвитку мікотоксинів, що є небезпечними для здоров'я

Металеві домішки	Дрібні металеві частинки від техніки	Можуть спричиняти аварійні ситуації та псувати обладнання
Біологічні домішки	Комахи, їхні личинки, кліщі	Погіршують якість зерна, сприяють його псуванню під час зберігання

Якісне очищення зерна є критично важливим етапом, який безпосередньо впливає на його подальше зберігання та переробку. Насамперед, видалення домішок (таких як каміння, пісок, солома, насіння бур'янів та металеві включення) забезпечує збереження технічного стану обладнання для зберігання та переробки. Наприклад, мінеральні та металеві домішки можуть призводити до механічних пошкоджень обладнання, що збільшує витрати на ремонт і простої. Крім того, наявність органічних домішок може спричинити засмічення силосів та інших місць зберігання, що ускладнює процес вентиляції та підвищує ризик псування зерна.

Очищення зерна також відіграє ключову роль у підвищенні його стійкості під час зберігання. Домішки, такі як насіння бур'янів, фрагменти рослин або комахи, часто мають вищу вологість, ніж зерно, що створює сприятливі умови для розвитку грибків, бактерій та шкідників. Це може призвести до появи плісняви, самозігрівання зернової маси та втрати її харчової цінності. Якісно очищене зерно має більш рівномірну вологість, що дозволяє ефективніше контролювати умови зберігання та зменшує ризик біологічного псування.

У процесі переробки зерна якісне очищення також має велике значення. Наприклад, наявність домішок може знизити ефективність подрібнення зерна, що призводить до збільшення витрат енергії та зниження якості готової продукції. Для виробництва борошна, крупи або інших продуктів важливо, щоб зерно було максимально чистим, оскільки домішки можуть вплинути на смакові, поживні та технологічні властивості кінцевої продукції. Наприклад, насіння бур'янів або фрагменти соломи можуть надати продукту неприємного присмаку або знизити його естетичний вигляд.

Крім того, якісне очищення зерна дозволяє зменшити втрати під час переробки. Наприклад, видалення дефектного зерна (пророщеного, пошкодженого або знебарвленого) забезпечує більш високу якість сировини, що особливо важливо для виробництва продуктів високого ґатунку. Таке зерно краще піддається подальшій переробці, що дозволяє отримати більш стабільний результат і зменшити кількість відходів.

Таким чином, якісне очищення зерна є невід'ємною частиною технологічного процесу, яка забезпечує ефективне зберігання, знижує ризики псування та підвищує якість кінцевої продукції. Воно також сприяє економії ресурсів, зменшуючи витрати на ремонт обладнання, енергію та усунення наслідків від низької якості сировини.

Традиційні методи очищення зерна

Метод очищення	Принцип дії	Основні переваги	Недоліки
Ситовий (гратчастий) спосіб	Просіювання зерна через сита з різними розмірами отворів	Висока ефективність видалення домішок за розміром	Не усуває легкі та липкі домішки
Аспіраційний спосіб	Відокремлення легких домішок повітряним потоком	Ефективно видаляє пил, лушпиння та легкі частки	Не очищає від важких домішок
Магнітне очищення	Використання магнітних сепараторів для видалення металевих домішок	Надійне видалення ферромагнітних частинок	Не впливає на неметалеві домішки
Гравітаційне очищення	Відокремлення зерна та домішок за питомою вагою	Ефективне очищення від мінеральних та важких домішок	Не усуває легкі органічні домішки
Трієрне очищення	Відокремлення довгих і коротких домішок у трієрних барабанах	Висока ефективність видалення зернових домішок	Складність налаштування обладнання
Гідравлічне очищення	Використання води для відділення важких і легких домішок	Висока якість очищення, додаткове зволоження зерна	Витрати води, потреба в сушінні після обробки
Вібраційне очищення	Використання вібраційних рухів для відокремлення домішок різної маси та розміру	Підвищена ефективність очищення, можливість обробки великих обсягів	Високий рівень шуму та вібраційне навантаження на конструкцію
Центрифужне очищення	Використання відцентрової сили для розділення зерна та домішок за масою	Висока продуктивність, можливість очищення важких і дрібних домішок	Високе енергоспоживання, потреба у технічному обслуговуванні

Інноваційні технології очищення зерна

Технологія	Принцип дії	Основні переваги	Недоліки
Оптико-електронне сортування (фотосепарація)	Використання камер і лазерів для розпізнавання кольору та форми зерна з подальшим видаленням дефектних часток повітряним потоком	Висока точність очищення, можливість видалення зараженого зерна, швидкість обробки	Висока вартість обладнання, потреба в електроенергії
Ультразвукове очищення	Дія ультразвукових хвиль у водному середовищі для видалення пилу, шкідників і мікроорганізмів	Видаляє мікроорганізми, підвищує якість насіння	Високі енергетичні витрати, потреба в сушінні після очищення
Плазмохімічне очищення	Використання іонізованого газу (плазми) для знищення шкідників і патогенів	Висока екологічність, ефективність проти мікроорганізмів	Складність обладнання, необхідність точного контролю параметрів
Озонування зерна	Обробка зерна озоном для знищення патогенної мікрофлори та шкідників	Безпека для довкілля, знезараження без використання хімікатів	Вимоги до герметичності сховищ, вплив на хімічний склад зерна
Інфрачервоне очищення	Використання ІЧ-променів для термічного знезараження та видалення домішок	Знищення грибків, бактерій, підвищення схожості насіння	Може змінювати вологість зерна, потребує контролю параметрів
Аеродинамічне сортування	Застосування потужного повітряного потоку для відокремлення легких домішок і пилу	Висока швидкість очищення, мінімальний контакт із зерном	Висока енергоємність процесу, не видаляє важкі домішки

Лазерне очищення	Лазерна обробка зерна для видалення патогенів і знищення заражених зерен	Висока ефективність знезараження, відсутність хімікатів	Висока вартість технології, складність впровадження
Електростатичне очищення	Використання електричних полів для видалення пилу, металевих і органічних домішок	Висока ефективність очищення, можливість автоматизації	Потребує складного технічного обслуговування

Автоматизація та цифровізація процесів очищення.

Контроль параметрів очищення зерна є важливою частиною автоматизації та цифровізації процесів на зерноочисних підприємствах. Для цього використовуються датчики, що дозволяють в режимі реального часу моніторити різні аспекти процесу очищення, такі як вологість, температура, рівень забрудненості, вміст пилу та інших шкідливих часток. Найбільш часто застосовуються такі типи датчиків:

- Датчики вологості — вимірюють рівень вологості зерна для визначення оптимальних умов для очищення.
- Температурні датчики — контролюють температуру в робочих камерах для запобігання перегріву чи перевантаження обладнання.
- Датчики забрудненості та пилу — виявляють присутність сторонніх часток, таких як мінеральні домішки чи залишки інших культур.

Використання ШІ та комп'ютерного зору в процесі сортування. Штучний інтелект (ШІ) та комп'ютерний зір є передовими технологіями для автоматизації сортування зерна за різними критеріями. З їх допомогою можна:

- Автоматично класифікувати зерно. ШІ може аналізувати зображення зерен, що надходять на сортувальні лінії, і класифікувати їх за розмірами, кольором, формою та іншими характеристиками.
- Виявляти дефекти. Комп'ютерний зір дозволяє виявляти зерна, які мають дефекти, тріщини або інші проблеми, що впливають на їх якість. Це дозволяє збільшити точність сортування і зменшити кількість відходів.
- Аналізувати дані в реальному часі. Завдяки ШІ можна отримати швидкі та точні дані про стан сортування, а також вносити корективи в процес в реальному часі для досягнення максимальних результатів.

Інтернет речей (IoT) в зерноочисних комплексах забезпечує інтеграцію різних сенсорів і пристроїв через Інтернет, що дає змогу зібрати та аналізувати дані з усіх етапів обробки зерна. IoT дає змогу:

- Моніторити стан обладнання. Сенсори на обладнанні можуть вимірювати показники, такі як вібрація, температура, тиск і рівень заповнення, що дозволяє виявляти несправності та попереджати про необхідність технічного обслуговування.
- Оптимізувати процеси очищення. За допомогою IoT можна автоматично налаштовувати параметри на основі даних, отриманих в реальному часі. Це дозволяє досягти більшої ефективності та зменшити споживання енергії.
- Забезпечувати віддалений контроль. Завдяки IoT системи управління можуть здійснювати моніторинг і керування процесами очищення зерна з будь-якої точки світу через Інтернет, що значно підвищує зручність і ефективність управління.

Перспективи розвитку технологій очищення зерна

Розвиток нанотехнологій у сфері очищення

Нанотехнології мають значний потенціал у розвитку технологій очищення зерна, зокрема в контексті покращення ефективності фільтраційних і сортувальних процесів. Наноматеріали, такі як наночастинки срібла, вуглецю, оксиду титану та інші, вже активно досліджуються для їх здатності до адсорбції шкідливих компонентів, таких як пестициди, мікотоксини та важкі метали. Використання нанофільтрів дозволяє не лише покращити якість зерна, але й значно зменшити потребу в хімічних засобах обробки, що є важливим з екологічної та економічної точок зору. Також перспективними є наночастинки, що застосовуються для покриття зерна, забезпечуючи його захист від шкідливих мікроорганізмів та знижуючи ризики зараження.

Біотехнологічні методи знезараження зерна

Біотехнологічні методи знезараження зерна, в основному, спрямовані на використання природних біологічних процесів для усунення патогенів та шкідливих організмів без використання хімічних засобів. Одним з таких методів є біологічний контроль, що полягає в застосуванні корисних мікроорганізмів для придушення росту шкідливих бактерій, грибків або плісняви на зерні. Використання біологічних агентів, таких як бактерії родів *Bacillus* або грибки родів *Trichoderma*, вже довело свою ефективність у зниженні кількості мікотоксинів та збереженні високої якості зерна під час зберігання. Водночас важливим напрямком є дослідження можливостей біотехнологій для підвищення стійкості зерна до шкідливих умов зберігання, таких як підвищена вологість або температура.

Майбутнє автоматизованих зерноочисних ліній

Перспективи розвитку автоматизованих зерноочисних ліній мають тісний зв'язок з впровадженням новітніх технологій, таких як штучний інтелект (ШІ), інтернет речей (IoT) та великі дані. Завдяки інтеграції цих інновацій автоматизовані лінії будуть здатні не лише виконувати процеси очищення та сортування з максимальною ефективністю, а й забезпечувати постійний моніторинг та оптимізацію параметрів процесу в реальному часі. У

майбутньому лінії очищення зерна будуть оснащені вдосконаленими системами штучного зору для ідентифікації та відсортовування зерна за параметрами, такими як розмір, колір і форма, що значно підвищить точність та швидкість роботи.

Один з ключових аспектів майбутніх розробок — це інтеграція автоматизованих систем з функціями самоконтролю і самовиправлення, що дозволить досягти ще більшої ефективності та мінімізації людського втручання. Крім того, впровадження інтелектуальних систем управління та адаптивних алгоритмів дозволить налаштовувати технологічний процес відповідно до специфічних характеристик зерна, що підлягає обробці. Подальша цифровізація дозволить зібрати велику кількість даних про стан зерна на всіх етапах обробки, що дозволить здійснювати прогностичне обслуговування та знижувати ймовірність збоїв у роботі обладнання.

Таким чином, майбутнє автоматизованих зерноочисних ліній пов'язане з поглибленим використанням цифрових технологій та інтелектуальних систем управління, що призведе до значного підвищення ефективності, зменшення енергоспоживання та зниження людського фактору в процесах очищення зерна.

Ефективні способи сушіння зерна

Актуальність теми та важливість сушіння зерна для збереження якості та збільшення терміну зберігання.

Сушіння зерна є однією з найважливіших операцій у процесі післязбиральної обробки, оскільки безпосередньо впливає на його збереження та якість протягом тривалого часу. Правильне сушіння дозволяє знизити вологість зерна до оптимального рівня, що запобігає розвитку мікроорганізмів, плісняви, а також знижує ризик появи шкідників, що можуть пошкодити зерно в процесі зберігання. При недостатньому або надмірному сушінні зерно може стати менш стійким до псування, що зменшує його товарну якість та обмежує можливості для подальшого використання в харчовій або кормовій промисловості.



Ефективне сушіння зерна не лише забезпечує збереження його фізико-хімічних властивостей, але й сприяє зменшенню енергетичних витрат на зберігання та транспортування. При надмірно високій вологості зерна, вологи може бути використано для розвитку біохімічних реакцій, що призводять до утворення неприємних запахів та зниження харчової цінності зерна. Оскільки ці процеси активуються в умовах підвищеної вологості, то саме сушіння стає важливою ланкою для забезпечення тривалого та якісного зберігання продукції.

Збільшення терміну зберігання зерна можливе завдяки вдосконаленню технологій сушіння. У сучасних умовах, коли зерно є стратегічним продуктом, важливо використовувати передові методи сушіння, що дозволяють досягати мінімальних втрат при обробці, зберігаючи при цьому усі корисні властивості. Сучасні технології сушіння, такі як інфрачервоні, мікрохвильові та вакуумні методи, дають можливість більш точно контролювати рівень вологості і впливають на зерно в більш щадніший спосіб, зберігаючи його натуральні властивості.

Вплив вологості зерна на його схоронність, розвиток мікроорганізмів і якість продукту.

Вологість зерна має визначальний вплив на його схоронність під час зберігання, оскільки вона є основним фактором, який регулює біохімічні та мікробіологічні процеси в зерні. Ідеальна вологість для зберігання зерна повинна бути нижче критичної вологості, яка залежить виду культури. Якщо вологість перевищує цей рівень, це може призвести до активізації біохімічних процесів у зерновій масі, таких як дихання зерна, що супроводжується

виділенням тепла та вологи. Це створює сприятливі умови для самозігрівання зерна, що може призвести до його псування та втрати харчової цінності. Крім того, підвищена вологість сприяє розвитку мікроорганізмів, таких як грибки та бактерії, які можуть викликати появу токсинів, наприклад, афлатоксинів, що робить зерно непридатним для споживання.

Розвиток мікроорганізмів у зерні з підвищеною вологістю є серйозною проблемою, оскільки це не лише погіршує якість зерна, але й становить загрозу для здоров'я людей і тварин. Грибки, такі як *Aspergillus*, *Fusarium* та *Penicillium*, активно розвиваються при вологості понад 15%, виробляючи мікотоксини, які можуть викликати алергічні реакції, отруєння та інші захворювання. Крім того, бактерії можуть спричинити бродіння зерна, що призводить до появи неприємного запаху та втрати його технологічних властивостей. Тому контроль вологості є критично важливим для запобігання розвитку мікроорганізмів і збереження якості зерна.

Завдання та цілі сушіння зерна.

Завдання сушіння	Цілі	Методи сушіння
Зниження вологості до безпечного рівня	Запобігти біохімічним процесам (дихання, самозігрівання) та розвитку мікроорганізмів.	Теплове сушіння, аеротування, сонячне сушіння.
Підвищення схоронності зерна	Забезпечити довгострокове зберігання без втрати якості.	Теплове сушіння, аеротування.
Запобігання розвитку шкідників і мікроорганізмів	Уникнути появи токсинів (афлатоксинів) та шкідливих речовин.	Теплове сушіння, аеротування.
Підтримання технологічних властивостей зерна	Зберегти властивості зерна для подальшої переробки (наприклад, вміст клейковини).	Теплове сушіння з контролем температури, аеротування.
Зменшення втрат під час зберігання	Мінімізувати втрати через псування, самозігрівання або пошкодження шкідниками.	Теплове сушіння, аеротування.
Підготовка зерна до переробки	Забезпечити оптимальну вологість для подрібнення, екструзії тощо.	Теплове сушіння, аеротування.
Підвищення ринкової вартості зерна	Забезпечити відповідність стандартам якості для збільшення конкурентоспроможності.	Теплове сушіння, аеротування, сонячне сушіння.
Екологічна безпека	Уникнути забруднення зерна токсинами та шкідливими речовинами.	Теплове сушіння з контролем викидів, аеротування, сонячне сушіння.

Принципи сушіння зерна

Термодинаміка сушіння зерна включає в себе важливі процеси теплообміну та масообміну, які забезпечують ефективне і рівномірне зниження вологості зерна. Сушіння — це процес, при якому волога, що знаходиться в зерні, випаровується через вплив тепла, при цьому зерно втрачає свою вологу і досягає бажаного рівня сухості для зберігання чи подальшої обробки.

Процес теплообміну при сушінні зерна включає передачу тепла від джерела енергії (наприклад, гарячого повітря чи пари) до зерна, що забезпечує підвищення температури зерна і сприяє випаровуванню води з його поверхні. Цей процес може відбуватися за допомогою конвекції, провідності чи випромінювання, в залежності від типу сушильної установки. Тепло передається до зерна через поверхню, і, в результаті, вода, що знаходиться в зерні, починає випаровуватися.

Масообмін відбувається, коли молекули води, які перебувають на поверхні зерна, переходять у газоподібний стан і покидають зерно. При цьому важливою є дифузія водяної пари від більш вологонасичених ділянок зерна до більш сухих зон навколо. Оскільки водяна пара має тенденцію рухатися в напрямку більш низької концентрації вологи, цей процес відбувається, поки зерно не досягне бажаного рівня вологості. Паралельно з цим, вологості зерна в результаті сушіння зменшується, і зерно стає сухішим.

Завдяки термодинамічним процесам теплообміну та масообміну можна ефективно контролювати вологість зерна, що визначає його довготривале зберігання, збереження харчових властивостей і уникнення розвитку мікроорганізмів. Ефективність сушіння залежить від температури повітря, швидкості його циркуляції, вологості навколишнього середовища та характеристик самого зерна.

Види тепла, що використовуються в сушильних установках

Вид тепла	Принцип дії	Переваги	Недоліки
Конвекційне	Тепло передається через потік гарячого повітря або газу, який омиває зерно.	Висока ефективність, рівномірне прогрівання зерна.	Витрати енергії на нагрівання повітря, ризик перегріву зерна.
Кондуктивне	Тепло передається через безпосередній контакт зерна з гарячими поверхнями.	Енергоефективність, можливість використання для дрібних партій зерна.	Неоднорідне прогрівання, ризик пошкодження зерна через контакт з поверхнями.

Радіаційне	Тепло передається через інфрачервоне випромінювання, яке нагріває зерно.	Швидке нагрівання, можливість локального впливу на вологі ділянки.	Обмежена глибина проникнення тепла, ризик перегріву поверхні зерна.
------------	--	--	---

Фізико-хімічні процеси під час сушіння зерна

Сушіння зерна є технологічним процесом, який супроводжується комплексом фізико-хімічних змін, що впливають на його структурні, реологічні та біохімічні характеристики. Ці зміни мають вирішальне значення для збереження якості зерна, його схоронності та подальшої переробки.

1. Зміна морфоструктури зерна

Під час сушіння відбувається дегідратація зерна, що призводить до зменшення об'єму внутрішніх порожнин та ущільнення його поверхневого шару. Ці зміни обумовлені видаленням вільної та частково зв'язаної води. При інтенсивному тепловому впливі можливе утворення мікротріщин у перикарпії зерна, що знижує його механічну міцність та підвищує ймовірність ушкодження під час транспортування або подрібнення. Крім того, зміна структури впливає на реологічні властивості зерна, такі як його здатність до деформації та подрібнення.

2. Динаміка зміни вологості

Процес сушіння передбачає видалення води з поверхневого шару зерна, а потім із його глибинних шарів за рахунок дифузійних процесів. Ефективність сушіння залежить від таких факторів, як температура теплоносія, швидкість потоку повітря та початкова вологість зерна. Надмірна інтенсивність сушіння може призвести до нерівномірного розподілу води, що спричиняє деформацію зерна або його термічне пошкодження. Оптимальний режим сушіння забезпечує зниження вологості до 12-14%, що є критичним для подальшого зберігання.

3. Трансформація біохімічних компонентів

Сушіння зерна супроводжується змінами у його біохімічному складі, зокрема в білках, вуглеводах, ліпідах та ферментах.

- Білки. Під впливом підвищених температур відбувається часткова денатурація білків, що призводить до зміни їх функціональних властивостей. Наприклад, у пшениці це може вплинути на якість клейковини, яка є ключовим фактором для хлібопекарської промисловості.
- Вуглеводи. При тривалому тепловому впливі можливе неферментативне побуріння (реакція Майяра) або карамелізація цукрів, що змінює органолептичні властивості зерна.
- Ліпіди. Високі температури можуть спричинити окислення ненасичених жирних кислот, що призводить до появи неприємного присмаку та зниження поживної цінності.

- Ферменти. Активність ферментів, таких як амілази, протеази та ліпази, знижується під час сушіння. Це сприяє стабілізації зерна, але надмірний тепловий вплив може призвести до повної інактивації ферментів, що негативно впливає на його технологічні властивості.

4. Вплив на мікробіологічну активність

Сушіння зерна створює несприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, таких як грибки (*Aspergillus*, *Fusarium*) та бактерії. Зниження вологості до критичного рівня (менше 14%) пригнічує їхню життєдіяльність, що запобігає утворенню мікотоксинів (наприклад, афлатоксинів) та інших токсичних речовин. Це є ключовим фактором для забезпечення безпеки зернової продукції.

5. Вплив на якість кінцевого продукту

Якість сушіння безпосередньо впливає на технологічні та харчові властивості кінцевого продукту:

- Для борошна критично важливим є збереження якості клейковини, яка може погіршитися при неправильному сушінні.
- Для круп важливо зберегти цілісність зерна, щоб уникнути утворення крихти та зберегти його харчову цінність.
- Для комбікормів необхідно зберегти поживну цінність зерна, яка може знизитися через окислення ліпідів або руйнування вітамінів.

Традиційні методи сушіння зерна.

Метод сушіння	Опис методу	Переваги	Недоліки
Сушіння на повітрі	Сушіння зерна здійснюється шляхом природного впливу повітря на зерно на відкритих майданчиках чи під накриттям.	Простота, низькі витрати енергії, безпечний для зерна.	Залежність від погодних умов, нерівномірне сушіння, можливість зараження зерна мікроорганізмами.
Сушіння в печах	Використання спеціальних печей для обігріву повітря, яке проходить через зерно та випаровує вологу.	Контрольовані умови, висока ефективність, не залежать від зовнішніх погодних факторів.	Високі витрати енергії, потенційні ризики перегріву зерна, а також утворення деяких токсичних сполук.
Сушіння на сонці	Використання сонячної енергії для сушіння зерна на відкритих майданчиках, що	Низькі витрати енергії, екологічно чистий метод.	Залежність від погодних умов, тривалий час сушіння, підвищений

	забезпечує природне тепло.		ризик пошкодження зерна.
Сушіння в шахтних сушарках	Процес сушіння зерна в спеціальних вертикальних шахтних сушарках, де гаряче повітря рухається через зерно.	Висока продуктивність, можливість обробки великих обсягів зерна, контрольовані умови.	Високі енергетичні витрати, необхідність регулярного обслуговування обладнання.
Сушіння в барабанних сушарках	Сушіння зерна у барабанах, де зерно обертається, а гаряче повітря проходить через нього.	Ефективність та висока продуктивність, можливість обробки великих обсягів.	Високі витрати енергії, ризик механічного пошкодження зерна через постійне обертання.

Сучасні технології сушіння зерна.

Метод сушіння	Опис методу	Переваги	Недоліки
Сушіння в циркуляційних сушарках	Зерно сушиться за допомогою циркуляції гарячого повітря, що забезпечує рівномірний розподіл тепла по всьому об'єму зерна.	Висока ефективність, рівномірне сушіння, контрольовані умови, можливість автоматизації процесу.	Високі капітальні витрати на обладнання, потребує стабільного джерела енергії.
Інфрачервоне сушіння	Використовуються інфрачервоні промені для безпосереднього нагріву зерна, що дозволяє швидко випарувати вологу.	Швидкість процесу, збереження якості зерна, енергоефективність.	Необхідність в точному контролі температури, можливе перегрівання зерна при неправильному налаштуванні.
Мікрохвильове сушіння	Використовуються мікрохвилі для нагріву вологи всередині зерна, що забезпечує швидке сушіння.	Висока швидкість сушіння, збереження властивостей зерна, економія енергії.	Високі вимоги до обладнання, потенційний ризик нерівномірного прогріву зерна.

Сушіння за допомогою рідкого газу	Використання рідкого газу для створення низькотемпературного середовища для сушіння зерна.	Зниження температури сушіння, збереження живильних властивостей зерна.	Висока вартість установки та обслуговування, необхідність спеціального обладнання для рідкого газу.
Сушіння за допомогою електричних полів	Використовуються електричні поля для швидкого видалення вологи з зерна.	Швидкість процесу, низьке енергоспоживання, збереження властивостей зерна.	Необхідність точного контролю технологічних параметрів, висока вартість обладнання.
Герметичне сушіння	Сушіння зерна в герметичних установках з використанням відновлюваних джерел тепла.	Збереження якості зерна, мінімальні витрати енергії, ефективне використання теплоенергії.	Складність у підтримці герметичності, високі вимоги до обладнання.
Гібридне сушіння (комбіноване)	Поєднання кількох технологій (наприклад, інфрачервоного та мікрохвильового сушіння) для підвищення ефективності процесу.	Збільшення продуктивності, скорочення часу сушіння, збереження якості зерна.	Високі вимоги до налаштування процесу, складність в обслуговуванні комбінованих систем.

Сучасні методи сушіння зерна поєднують ефективність, швидкість процесу та збереження якості зерна, хоча вони потребують значних інвестицій у технології та обладнання. Сучасні системи сушіння також часто включають автоматизацію та моніторинг для підвищення ефективності і зниження витрат енергії.

Інноваційні технології та автоматизація процесу сушіння

Інноваційні технології в галузі сушіння зерна мають на меті значно підвищити ефективність процесу, знизити енергоспоживання та покращити якість кінцевого продукту. Одним із напрямків є використання новітніх методів теплової обробки, таких як інфрачервоне та мікрохвильове сушіння, що дозволяють забезпечити більш швидкий і рівномірний процес видалення вологи. Інфрачервоні промені нагрівають зерно безпосередньо, а мікрохвилі сприяють більш глибокому прогріву вологи всередині зерна, що зменшує час сушіння і зберігає його харчову цінність.

Сушіння з використанням нанотехнологій є одним із перспективних напрямків у сучасній агротехнології. Це інноваційний процес, який дозволяє значно покращити ефективність сушіння зерна, зменшити енергоспоживання та підвищити якість продукту. Нанотехнології у цьому контексті застосовуються для створення нових матеріалів і методів, що дозволяють оптимізувати процес сушіння на молекулярному рівні.

Одним із підходів є використання наноматеріалів, які можуть значно покращити теплоперенос при сушінні. Наприклад, використання наночастинок металів або кераміки в сушильних системах дозволяє збільшити ефективність теплообміну, забезпечуючи рівномірний прогрів зерна без перевищення оптимальної температури, що важливо для збереження якості продукту. Наноматеріали можуть використовуватись у вигляді покриттів для сушильних камер, що забезпечують кращу теплоізоляцію та зменшують теплові втрати.

Інший напрямок полягає в використанні наночастинок для покращення гігроскопічності матеріалів, що використовуються для сушіння зерна, таких як абсорбенти або адсорбенти, які можуть швидше і більш ефективно поглинати вологу. Це дозволяє скоротити час сушіння, мінімізувати енергоспоживання та підвищити ефективність процесу в цілому.

Також в перспективі застосування нанотехнологій у сушінні зерна включає розробку спеціальних нанопокриттів для самоочищення зерна або поліпшення його стійкості до грибкових та бактерійних захворювань. Такі покриття можуть запобігати зростанню шкідливих мікроорганізмів на поверхні зерна під час зберігання, що покращує його якість і продовжує термін зберігання.

Використання нанотехнологій у сушінні зерна ще перебуває на етапі досліджень та розробок, однак вже сьогодні ці методи демонструють великий потенціал для модернізації процесу сушіння та підвищення його ефективності. Зі зростанням наукових досягнень у цій галузі можна очікувати на появу нових технічних рішень, які дозволять значно покращити якість зерна та скоротити витрати енергії на сушіння.

Автоматизація процесу сушіння є важливим кроком у модернізації сушильних технологій. Впровадження систем автоматичного контролю температури, вологості і циркуляції повітря в сушарках дозволяє забезпечити стабільність умов сушіння та мінімізувати людський фактор. Використання датчиків вологості та температури дозволяє з точністю контролювати параметри процесу, що веде до зниження витрат енергії та збереження зерна в оптимальних умовах. Автоматизовані системи здатні самостійно коригувати параметри роботи в залежності від зовнішніх умов, що забезпечує більш високу якість кінцевого продукту.

Інтернет речей (IoT) також є важливим аспектом інновацій в сушінні зерна. Завдяки IoT системам, зерноочисні комплекси можуть передавати дані про стан обладнання та процесу сушіння в реальному часі, що дозволяє своєчасно реагувати на можливі неполадки та оптимізувати процеси. Це

дозволяє знизити витрати на обслуговування обладнання і підвищити ефективність роботи сушильних ліній.

Використання Штучного Інтелекту (ШІ) для прогнозування оптимальних умов сушіння зерна відкриває нові можливості для покращення якості продукції та ефективності процесу. Системи на основі ШІ можуть аналізувати величезні обсяги даних, таких як вологість зерна, температура, швидкість повітряного потоку, параметри сушильних установок та інші фактори, що впливають на процес сушіння. ШІ може допомогти в реальному часі адаптувати умови сушіння, оптимізуючи параметри для досягнення найкращих результатів без втрат якості зерна. Застосування алгоритмів машинного навчання дозволяє системам не тільки прогнозувати оптимальні умови для сушіння, але й передбачати можливі відхилення, які можуть виникнути під час процесу. Це дозволяє своєчасно коригувати параметри сушіння, що особливо важливо для зерна з високою чутливістю до умов навколишнього середовища.

ШІ також може бути використаний для створення прогнозів на основі великих масивів історичних даних. Це дає можливість автоматично визначати найбільш ефективні стратегії сушіння в залежності від типу зерна, його вологості та інших характеристик. Наприклад, система може вибрати найбільш підходящий метод сушіння (конвективний, контактний чи комбінований), а також визначити тривалість і температурний режим сушіння для кожної партії зерна.

Окрім того, ШІ може бути інтегрований з системами автоматизації на виробничих лініях, що дозволяє в реальному часі коригувати параметри сушильних установок без втручання оператора. Це забезпечує постійну якість продукції, знижує ймовірність дефектів і підвищує енергоефективність процесу, оскільки система може постійно оптимізувати використання енергоресурсів.

Таким чином, використання ШІ в процесі сушіння зерна дозволяє не лише покращити якість кінцевого продукту, а й значно знизити витрати енергії та часу, збільшуючи ефективність всього процесу.

Крім того, інноваційні технології передбачають використання енергоефективних та екологічно чистих джерел тепла, таких як сонячна енергія або тепло від відновлюваних джерел. Це сприяє не тільки зниженню витрат на енергоресурси, а й зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище, що є важливим аспектом у сучасних умовах. Розвиток таких технологій вимагає значних інвестицій, але в перспективі дозволить значно підвищити конкурентоспроможність зерноочисних підприємств.

Перспективи розвитку технологій сушіння зерна

Перспективи розвитку технологій сушіння зерна зумовлені необхідністю зниження енергетичних витрат, підвищення ефективності процесу та забезпечення високої якості продукту. Одна з найбільш обіцяючих тенденцій — це впровадження інноваційних методів, таких як сушіння за

допомогою нанотехнологій, яке може значно підвищити швидкість процесу та зберегти більше корисних властивостей зерна. Нанотехнології дозволяють створювати спеціальні покриття для зерна, що зменшують втрати вологи та підвищують стійкість до зовнішніх факторів, а також розробляти матеріали, які можуть використовуватись у сушильних камерах для забезпечення рівномірного розподілу тепла.

Іншою перспективною технологією є використання сонячної енергії для сушіння зерна. Враховуючи глобальне прагнення до сталого розвитку та зменшення викидів парникових газів, сонячні сушарки набувають все більшої популярності, оскільки вони дозволяють значно знизити енергетичні витрати. Ця технологія вже активно застосовується в ряді країн з теплим кліматом, і в майбутньому вона може стати важливим елементом у стратегії сталого агровиробництва.

Водночас інтелектуальні системи на основі штучного інтелекту та Інтернету речей (IoT) для моніторингу та управління процесами сушіння зерна відкривають нові можливості для автоматизації та оптимізації. Використання великих даних та алгоритмів машинного навчання дозволяє системам автоматично коригувати параметри сушіння, що забезпечує збереження якості продукції, зниження витрат енергії та забезпечення більш високого рівня безпеки та ефективності.

Розвиток сучасних технологій сушіння зерна зводиться до зниження енергоспоживання, підвищення якості та продовження терміну зберігання зерна, а також до адаптації до змінних кліматичних умов і вимог сталого розвитку. Застосування інноваційних технологій, автоматизації та «розумних» систем обіцяє значні поліпшення в галузі, а також зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Вентиляція зернової маси в сучасних умовах

Вентиляція зернової маси є процесом забезпечення повітряного обміну, що дозволяє стабілізувати внутрішній мікроклімат зерносховища, регулюючи температуру та вологість. Правильно організована вентиляція забезпечує видалення надлишкової вологи з зерна та запобігає його перегріву, що особливо важливо в умовах зберігання зерна протягом тривалого часу. Крім того, вентиляція знижує ризик накопичення токсичних газів, таких як вуглекислий газ, що можуть утворюватися в результаті біологічних процесів.



Правильне управління вентиляцією зернової маси є критично важливим для збереження її якості та продовження терміну зберігання. Одним із основних факторів, що впливають на тривалість зберігання зерна, є підтримання оптимальних параметрів температури та вологості в сховищах. Згідно з дослідженнями, зерно з високим рівнем вологості та температурою вище за допустимі значення під час зберігання сприяє розвитку мікроорганізмів, плісняви, а також ферментаційних процесів, що значно погіршують його якість і призводять до втрат.

Неправильне управління вентиляцією може призвести до серйозних наслідків. Зокрема, недостатня вентиляція спричиняє підвищення вологості зерна, що веде до зростання пліснявих та гнильних мікроорганізмів, які можуть значно знизити схоронність зерна та його харчову цінність. Водночас, надмірна вентиляція може призвести до зневоднення зерна, що, хоча й зменшує ризик розвитку мікроорганізмів, однак може погіршити його смакові та технологічні властивості.

Оперативний контроль параметрів повітряного обміну, оптимізація технологічних процесів вентиляції в зерносховищах і застосування сучасних технологій моніторингу є необхідними для збереження якості зерна і мінімізації втрат під час зберігання.

Мета вентиляції в умовах сучасних зерносховищ полягає в підтримці оптимальних умов для зберігання зерна, що включає контроль температури, вологості та повітряного обміну. Вентиляція забезпечує стабільність внутрішнього мікроклімату сховища, що сприяє збереженню якості зерна, запобігає розвитку шкідливих мікроорганізмів, таких як пліснява, а також мінімізує ризик виникнення ферментаційних процесів, що можуть погіршити властивості продукту.

Основні завдання вентиляції в сучасних зерносховищах.

- Регулювання температури зернової маси. Вентиляція дозволяє підтримувати рівень температури на оптимальному рівні для зберігання

зерна, запобігаючи перегріву або охолодженню, що може спричинити негативні біологічні та хімічні зміни в зерні.

- Контроль вологості. Одна з основних функцій вентиляції — це видалення зайвої вологи, що накопичується в зерновій масі. Знижуючи вологість, вентиляція допомагає зупинити розвиток мікроорганізмів, що сприяють гниттю та псуванню зерна.
- Підтримка оптимальних умов для біологічних процесів. Вентиляція має на меті запобігти надмірному накопиченню вуглекислого газу та інших газів, що виділяються під час життєдіяльності мікроорганізмів, котрі можуть погіршити якість зерна і його схоронність.
- Покращення якості зберігання. Правильна організація вентиляції сприяє збереженню харчових і технічних властивостей зерна, знижуючи його псування та втрати під час зберігання.
- Запобігання розвитку шкідників. Окрім мікроорганізмів, належне провітрювання допомагає зменшити ризик розмноження комах-шкідників, які можуть пошкоджувати зерно або переносити хвороби.

Принципи вентиляції зернової маси

Принципи вентиляції зернової маси	Опис
Природна вентиляція	Використання природних потоків повітря для забезпечення вентиляції зернової маси. Цей метод застосовується за умови, що зовнішні умови (температура, вологість) сприятливі для зберігання зерна.
Механічна вентиляція	Вентиляція за допомогою спеціальних вентиляторів або насосів, що забезпечують примусове переміщення повітря через зернову масу. Це дозволяє точніше контролювати параметри температури та вологості.
Контроль температури та вологості	Підтримка оптимальних температурних та вологісних умов через постійний моніторинг та коригування потоків повітря.
Рівномірний розподіл повітря	Забезпечення рівномірного розподілу повітря по всій масі зерна, що дозволяє уникнути перегріву або підвищення вологості в окремих ділянках сховища.
Циклічність вентиляції	Періодичне включення та вимкнення вентиляції залежно від зовнішніх умов і внутрішніх параметрів сховища для досягнення найбільш ефективного збереження зерна.

Вентиляція з урахуванням сезонних коливань	Адаптація системи вентиляції до змін температури та вологості в різні пори року для максимального збереження якості зерна.
Вентиляція на основі моніторингу стану зерна	Використання датчиків для автоматичного контролю вологості, температури та якості повітря з подальшим регулюванням інтенсивності вентиляції залежно від показників.
Захист від забруднення та забруднювачів	Використання фільтраційних систем для очищення повітря від пилу, патогенів і шкідників, що можуть негативно вплинути на зерно.

Фізичні процеси, які відбуваються в зерновій масі під час вентиляції

Вентиляція зернової маси є важливим процесом, що забезпечує підтримку необхідних умов для зберігання зерна. Вона спрямована на регулювання температури, вологості та газового складу повітря в зерносховищах, що безпосередньо впливає на процеси, що відбуваються в самій зерновій масі. Під час вентиляції зернової маси відбуваються кілька фізичних процесів, таких як теплообмін, масообмін та вологообмін.

Один з основних фізичних процесів, що відбувається під час вентиляції, це теплообмін між зерною масою та навколишнім середовищем. Повітря, що проходить через зерно, взаємодіє з його поверхнею, забираючи або віддаючи тепло, залежно від різниці температур між зерною масою і навколишнім середовищем. Якщо температура зерна вища, ніж температура зовнішнього повітря, процес вентиляції сприяє охолодженню зерна, що допомагає уникнути перегріву, особливо в умовах високої вологості. Водночас у зимовий період вентиляція дозволяє зберігати оптимальну температуру зернової маси.

Інший важливий процес — це масообмін, що включає перенесення повітря через зернову масу. Повітря, що циркулює через зерно, забирає гази, що утворюються внаслідок дихання зерна та активності мікроорганізмів. Одним із таких газів є вуглекислий газ (CO_2), концентрація якого може підвищуватися в середині зерносховища, якщо вентиляція не здійснюється належним чином. Таким чином, вентиляція забезпечує ефективне видалення зайвого CO_2 та інших летючих сполук, що покращує умови зберігання та знижує ризик розвитку гнильних процесів.

Важливим аспектом є також вологообмін, який відбувається під час вентиляції. Вологе повітря, що проходить через зернову масу, може забирати вологу з зерна або, навпаки, передавати вологу до зерна в залежності від температури та вологості зовнішнього середовища. Оптимальні умови вологості в зерносховищах дозволяють зберегти зерно в належному стані, знижуючи ризик розвитку плісняви, гниття та інших біологічних процесів.

Основні фактори, що впливають на ефективність вентиляції

Фактор	Вплив на ефективність вентиляції
Температура повітря	Впливає на теплообмін: різниця температури між зерном і повітрям дозволяє або охолоджувати, або обігрівати зерно, що впливає на збереження його якості.
Вологість повітря	Визначає здатність повітря забирати або передавати вологу зерновій масі. Надлишкова вологість повітря може призвести до плісняви та гниття зерна, низька — до висихання.
Швидкість руху повітря	Вища швидкість повітря сприяє більш інтенсивному тепло- і масообміну, що покращує циркуляцію газів і допомагає рівномірному розподілу температури та вологості в зерновій масі.
Структура зернової маси	Розмір і форма зерен, їх пористість і щільність впливають на прохідність повітря, що визначає ефективність вентиляції.
Кількість та розподіл вентиляційних отворів	Більш рівномірний розподіл вентиляційних отворів сприяє кращій циркуляції повітря і рівномірному впливу на всю масу зерна.
Мікроклімат у зерносховищі	Мікроклімат, включаючи рівень вологи та температури в приміщенні, визначає потребу в інтенсивності вентиляції для підтримки оптимальних умов для зберігання зерна.
Тип зерна та його вологість	Зерна з різною вологістю мають різні потреби в вентиляції, оскільки їх схильність до гниття і розвитку плісняви залежить від рівня вологи в масі.
Наявність механічних пошкоджень зерна	Пошкоджене зерно виділяє більше газів і має більший потенціал для розвитку мікроорганізмів, що вимагає інтенсивнішої вентиляції для збереження якості продукту.
Природні умови (зовнішня температура та вологість)	Впливають на необхідну інтенсивність та напрямок вентиляції, особливо в умовах змінної погоди чи сезонних коливань температури та вологості.

Методи вентиляції зернової маси

Методи вентиляції зернової маси є важливою складовою частиною технології зберігання зерна. Вони сприяють підтриманню оптимальних умов для зберігання зерна, запобігаючи його псуванню, розвитку шкідливих

мікроорганізмів і зниженню якості. Вентиляція зернової маси включає кілька основних методів, кожен з яких має свої переваги та особливості використання.

- **Природна вентиляція.** Природна вентиляція базується на використанні природних факторів, таких як різниця температури між зерновою масою і зовнішнім середовищем, а також вітер, який створює природний потік повітря через зернову масу. Цей метод є найпростішим і економічним, оскільки не потребує додаткових енергетичних витрат. Природна вентиляція зазвичай застосовується в умовах, коли температура повітря зовні є нижчою або приблизно рівною температурі зерна.
- **Механічна вентиляція.** Механічна вентиляція включає використання вентиляторів для забезпечення активного руху повітря через зернову масу. Вона дозволяє забезпечити постійну циркуляцію повітря навіть при високих температурах або в умовах відсутності природного потоку повітря. Механічна вентиляція дозволяє контролювати швидкість і напрямок повітря, що дає змогу досягти більш ефективного сушіння і збереження зерна, особливо в сховищах з високою вологістю.
- **Комбінована вентиляція.** Комбінована вентиляція поєднує природну та механічну вентиляцію для досягнення оптимальних умов зберігання зерна. Цей метод часто використовують у великих зерносховищах, де є можливість використовувати природний потік повітря в поєднанні з вентиляторами для створення постійної циркуляції. В залежності від погодних умов, комбінована вентиляція може бути адаптована для забезпечення необхідних умов для зерна.
- **Вентиляція з використанням осушувачів.** Вентиляція з осушувачами використовується для підтримки оптимальної вологості в зерновій масі. Цей метод застосовують у випадках, коли природна або механічна вентиляція не здатна забезпечити необхідний рівень зниження вологості або коли умови навколишнього середовища не сприяють ефективному сушінню зерна. Осушувачі допомагають знизити вологість повітря в сховищі, запобігаючи утворенню плісняви та розвитку шкідливих мікроорганізмів.
- **Вентиляція з використанням озону.** Вентиляція з озоном застосовується для знезараження зернової маси. Озон є потужним окислювачем і здатний знищувати бактерії, грибки, плісняву та інші шкідливі мікроорганізми. Цей метод дозволяє не тільки забезпечити вентиляцію, а й поліпшити якість зерна, запобігаючи його псуванню під час зберігання.

Вибір методу вентиляції залежить від кількості зерна, умов його зберігання, кліматичних факторів та економічної доцільності. Правильна організація вентиляції дозволяє значно зменшити ризики втрат і покращити якість збереженого зерна.

Типи вентиляційних систем для зерносховищ

Тип вентиляційної системи	Опис	Переваги	Недоліки
Системи з вертикальним потоком повітря	Повітря рухається вгору або вниз через зернову масу. Це дозволяє забезпечити рівномірний розподіл повітря в зерносховищі.	Покращення ефективності циркуляції повітря в зерновій масі, рівномірний процес сушіння.	Потребує високих енергетичних витрат для переміщення повітря вертикально.
Системи з горизонтальним потоком повітря	Повітря рухається через зернову масу горизонтально, що дозволяє рівномірно охолоджувати або сушити зерно.	Простота в проектуванні, можливість рівномірного впливу на всю зернову масу.	Можлива нерівномірність вентиляції в залежності від структури зерна.
Спеціалізовані вентиляційні системи з автоматичним контролем	Вентиляція, що оснащена датчиками та автоматичними системами контролю за параметрами (температура, вологість).	Підвищена ефективність, зниження ризику помилок оператора, економія енергії.	Висока вартість обладнання та потреба в регулярному технічному обслуговуванні.

Сучасні технології та інновації у вентиляції зернової маси

Технологія	Принцип дії	Основні переваги	Недоліки
Традиційна активна вентиляція	Подавання повітря через вентиляційні канали та отвори в підлозі зерносховища	Простота, надійність, економічність	Менша ефективність у разі нерівномірного завантаження зерносховища
Перфоровані труби та канали	Використання спеціальних повітропроводів для	Краща рівномірність охолодження,	Високі капітальні витрати,

	рівномірного розподілу повітря	ефективне видалення вологи	складність встановлення
Адаптивна автоматизована вентиляція	Системи з датчиками температури та вологості, які керують вентиляцією в режимі реального часу	Оптимізація енергоспоживання, зниження втрат зерна	Висока вартість обладнання, необхідність у кваліфікованому обслуговуванні
Вентиляція з використанням холодного повітря (сухе охолодження)	Використання низькотемпературного повітря для природного зниження вологості та температури зерна	Зменшення ризику самозігрівання, економія на хімічних консервантах	Обмежена ефективність у теплих кліматичних зонах
Озонова вентиляція	Вентиляція з використанням озону для боротьби з патогенами та комахами	Дезінфекція без використання хімікатів, збереження якості зерна	Потребує спеціального обладнання, контроль дозування озону
Вентиляція із застосуванням вуглекислого газу (CO ₂)	Використання CO ₂ для витіснення кисню з маси зерна та гальмування активності мікроорганізмів	Екологічна безпека, ефективне пригнічення шкідників	Висока вартість газу, необхідність у герметичних сховищах
Глибока вентиляція за допомогою точкових аераторів	Використання аераційних труб, що занурюються у зернову масу для локального видалення вологи та тепла	Зниження енергозатрат, ефективність при нерівномірному завантаженні сховищ	Потребує частого переміщення труб, залежність від умов навколишнього середовища
Інтелектуальні системи управління вентиляцією	Використання IoT-технологій, штучного інтелекту для аналізу параметрів зберігання та автоматичного регулювання вентиляції	Максимальна ефективність контролю стану зернової маси, зменшення втрат	Висока вартість впровадження, потреба в стабільному інтернет-з'єднанні

Гідравлічне вентилування	Використання пароводяної суміші для керованого впливу на температуру та вологість зерна	Прискорене кондиціювання зерна, можливість швидкої зміни параметрів зберігання	Високі витрати на обладнання, потреба у водяних ресурсах
-----------------------------	--	---	--

Автоматизовані та цифрові технології вентиляції зерна

Технологія	Принцип дії	Основні переваги	Недоліки
Системи датчиків температури та вологості	Контроль показників зернової маси в режимі реального часу	Точність вимірювань, запобігання перегріву та самозігріванню зерна	Висока вартість обладнання
Автоматичне керування вентиляторами	Інтелектуальні контролери вмикають/вимикають вентиляцію залежно від параметрів зернової маси	Оптимізація роботи, зменшення витрат на електроенергію	Потребує точного калібрування
ІоТ-рішення для дистанційного моніторингу	Дані передаються у хмару та доступні для користувачів через додатки	Доступність з будь-якої точки, можливість швидкого реагування	Залежність від інтернет- з'єднання
Штучний інтелект та машинне навчання	Аналіз даних для прогнозування змін у зерновій масі	Підвищена ефективність зберігання, автоматична оптимізація режимів вентиляції	Висока вартість впровадження, потребує кваліфікованих спеціалістів
Енергозберігаючі вентилятори з частотним регулюванням	Регулювання швидкості обертів залежно від потреб зерноскладища	Зменшення споживання енергії, збільшення ресурсу обладнання	Початкові витрати на впровадження

Перспективи розвитку вентиляції зерна

Забезпечення ефективної вентиляції зернової маси є ключовим завданням сучасного аграрного сектору. Впровадження інноваційних технологій дозволяє підвищити якість зберігання, мінімізувати втрати врожаю та зменшити енерговитрати. Основні перспективи розвитку вентиляції зерна зосереджені на автоматизації процесів, використанні штучного інтелекту, альтернативних джерел енергії та розробці нових методів аерації.

Основні напрями розвитку вентиляції зерна

Напрямок розвитку	Опис	Очікувані переваги
Автоматизовані системи вентиляції	Використання датчиків для моніторингу вологості, температури та рівня вуглекислого газу з автоматичним керуванням вентиляторами.	Оптимізація режимів вентиляції, зниження втрат зерна, економія енергії.
Інтелектуальні системи на основі ШІ	Аналіз даних та прогнозування змін у зерновій масі на основі машинного навчання.	Підвищена точність регулювання вентиляції, мінімізація людського втручання.
Альтернативні джерела енергії	Використання сонячних панелей та вітрогенераторів для живлення вентиляційних систем.	Зниження витрат на електроенергію, підвищення енергоефективності елеваторів.
Модульні та мобільні системи вентиляції	Розробка мобільних установок, які можна використовувати у тимчасових зерноскладах.	Гнучкість у застосуванні, можливість швидкого переміщення обладнання.
Вентиляція із застосуванням охолодженого повітря	Використання охолодженого повітря для зменшення температури зерна без додаткового сушіння.	Подовження терміну зберігання зерна, зменшення втрат від самозігрівання.
Контроль аерації в режимі реального часу через IoT	Впровадження дистанційного керування вентиляцією за допомогою мобільних додатків.	Оперативний контроль за зберіганням зерна, зниження ризиків псування продукції.

Загалом, майбутній розвиток вентиляції зерна буде спрямований на підвищення автоматизації, енергоефективності та екологічної безпеки. Впровадження інтелектуальних рішень та альтернативних джерел енергії сприятиме створенню більш ефективних та економічно вигідних систем зберігання зернової продукції.

Технології та обладнання для підвищення збереження зерна за рахунок зниження травмування

Травмування зерна – це механічне пошкодження оболонки, зародка або ендосперму, що виникає під час збирання, транспортування, очищення, сушіння та зберігання. Інтенсивність травмування залежить від технологічних особливостей обробки зерна, конструкції обладнання та умов зберігання.

Пошкоджене зерно значно втрачає свою якість, оскільки мікротріщини та розриви оболонок сприяють підвищенню вологості, активізації мікрофлори, розвитку грибків та бактерій. Це призводить до погіршення біохімічного складу, збільшення кислотності та втрати поживних речовин. Особливо критичним є травмування насіннєвого матеріалу, оскільки навіть незначні пошкодження можуть суттєво знизити енергію проростання та схожість, що негативно впливає на майбутні врожаї.

Крім того, товарна цінність зерна знижується через зменшення маси, підвищену ломкість та погіршення зовнішнього вигляду. Травмоване зерно втрачає товарну привабливість і може бути віднесене до нижчих класів за якістю, що зменшує його ринкову вартість. Для продовольчого зерна це означає погіршення технологічних властивостей, а для фуражного – зниження поживної цінності.

З метою мінімізації травмування зерна необхідно вдосконалювати технологічні процеси, використовувати щадні режими обробки та сучасне обладнання з оптимізованими параметрами роботи. Це дозволить зберегти високу якість зернової маси, забезпечити її тривале зберігання та максимальну економічну вигоду від реалізації.



Види та причини травмування зерна

Вид травмування	Характеристика	Основні причини
Ударне травмування	Утворення тріщин, пошкодження оболонки та зародка	Падіння зерна з висоти, удари об металеві частини транспортерів, бункерів, норій
Стирання (абразивне пошкодження)	Руйнування оболонок і поверхневого шару зерна	Інтенсивне тертя між зернами або об поверхні обладнання (очисні та сортувальні машини)

Зминання (деформаційне травмування)	Деформація зерна, часткове руйнування структури	Високий тиск у транспортних системах, перевантаження в бункерах
Різальне травмування	Виникнення подряпин і надрізів на оболонці	Використання механізмів з гострими елементами (шнеки, ножі, ситові установки)
Температурне травмування	Втрата вологи, перегрів, зміна біохімічних процесів	Вплив високих температур під час сушіння, неправильні режими обробки
Водне травмування	Набухання, розм'якшення оболонки, втрата схожості	Тривалий контакт з водою, підвищена вологість середовища
Біологічне пошкодження	Руйнування оболонки, втрата маси, ураження патогенами	Дія мікроорганізмів, комах, гризунів під час зберігання

Технології та технічні рішення для зниження травмування зерна

Травмування зерна в процесі його транспортування, очищення, сушіння та зберігання є однією з основних причин зниження його якості, товарної цінності та посівних характеристик. Основними видами травмування є механічні пошкодження (розтріскування оболонки, розламування зернівки, подрібнення) та термічний стрес, що може призводити до зміни фізико-хімічних властивостей зернової маси. Для зменшення рівня пошкодження використовуються різноманітні технологічні рішення, спрямовані на оптимізацію транспортних процесів, делікатне переміщення зерна та контроль параметрів його обробки.

Одним із найбільш ефективних методів зниження травмування є застосування **пневмотранспорту**, який дозволяє переміщувати зернову масу у повітряному потоці, мінімізуючи контакт із жорсткими поверхнями. Альтернативним рішенням є **гравітаційне транспортування**, при якому зерно рухається самопливом по спеціально розроблених гладких похилих лотках, що значно зменшує механічний вплив. У системах механічного транспортування ефективними є **норійні елеватори з гнучкими ковшами**, які м'яко захоплюють зерно, що запобігає його розтріскуванню.

Для мінімізації ударного навантаження при завантаженні та розвантаженні зерна широко застосовуються **амортизуючі пристрої**, які зменшують швидкість падіння зерна. Важливу роль відіграє використання **гумових або полімерних покриттів** у бункерах, жолобах і транспортерах, що знижує силу удару зерна об тверді поверхні. Додатково, впровадження **конусних розподільників у силосах** дозволяє рівномірно розподіляти зернову масу, уникаючи локального надмірного навантаження на окремі зернівки.

Значний вплив на рівень травмування має також процес сушіння зерна. Надмірно швидке або нерівномірне випаровування вологи призводить до внутрішнього напруження в структурі зернівки та її розтріскування. Тому застосовуються **щадні режими сушіння**, що включають поступове підвищення температури та контроль вологості. Особливо перспективним є **мікрохвильове сушіння**, яке забезпечує рівномірний прогрів зерна з мінімізацією термічного стресу.

Важливим аспектом є **автоматизація транспортних процесів**, що дозволяє регулювати швидкість руху зерна, уникаючи різких механічних впливів. Використання сучасних датчиків та інтелектуальних систем управління дає змогу адаптувати режими обробки зерна в реальному часі, що значно знижує ризик травмування. Комплексний підхід до впровадження інноваційних технологій дозволяє не лише зменшити механічні пошкодження зерна, але й забезпечити збереження його якості під час зберігання та транспортування.

Технологія / Технічне рішення	Принцип дії	Очікуваний ефект
Амортизуючі пристрої в транспортних системах	Використання гумових або полімерних накладок, амортизаторів у транспортерах, бункерах, норіях	Зменшення ударного травмування зерна під час транспортування
М'які завантажувальні системи	Гасіння швидкості зерна за допомогою похилих жолобів, стрічкових транспортерів, шибєрів	Зниження швидкості падіння зерна, зменшення ударних навантажень
Шнекові транспортери з оптимізованою геометрією	Використання транспортних шнеків із мінімальним кутом підйому, зменшення тертя зерна об корпус	Зниження абразивного пошкодження зерна під час переміщення
Шнекові транспортери з плавним ходом	Використання шнеків з великою кроковістю та низькою швидкістю обертання	Зменшення тертя між зернами та корпусом, зниження пошкоджень зернової маси
Пневмотранспортні системи	Переміщення зерна потоком повітря у закритих трубопроводах	Відсутність механічного контакту з жорсткими поверхнями, зменшення травмування

Гравітаційні транспортні системи	Використання похилих каналів і самопливного транспортування	Мінімізація механічного впливу, зменшення ударного навантаження
Оптимізація швидкості сушіння	Контроль температури та швидкості сушіння для запобігання термічному стресу зерна	Зниження температурного травмування, збереження якості зерна
Автоматизація процесів транспортування	Використання датчиків і систем керування для регулювання швидкості транспортерів і норій	Запобігання надмірному механічному навантаженню на зерно
Використання елеваторних норій із гнучкими ковшами	Гнучкі ковші зменшують силу удару під час забору та розвантаження зерна	Мінімізація руйнування оболонок і внутрішніх структур зерна
Контроль наповнення бункерів та силосів	Зменшення висоти падіння зерна, використання конусних розподільників	Зниження ударного травмування під час завантаження та розвантаження
Обладнання для попереднього очищення зерна	Видалення пилу та дрібних домішок перед транспортуванням	Зменшення тертя зерна між собою, зниження ризику пошкоджень
Розвантажувальні пристрої з конусними розподільниками	Використання конусоподібних розподільників у бункерах і силосах	Запобігання вільному падінню зерна з великої висоти, зниження ударного навантаження

Обладнання для мінімізації травмування зерна

Для мінімізації травмування розроблено та впроваджено низку спеціалізованого обладнання, що забезпечує делікатне поводження із зерном у всіх технологічних процесах.

Одним із найбільш ефективних пристроїв для мінімізації механічного впливу є **пневмотранспортні системи**, які переміщують зерно в повітряному потоці. Вони дозволяють значно зменшити удари зернівок об жорсткі поверхні, оскільки транспортування відбувається в умовах зваженого стану. Додатково, використання **плавних розподільників повітряного потоку** у пневмотранспортерах дає змогу знижувати швидкість руху зерна перед моментом його осідання в накопичувальному бункері.

Для механічного транспортування зерна використовуються **норійні елеватори з гнучкими ковшами**, які виготовляються з еластичних матеріалів, що зменшує силу удару зерна при завантаженні та розвантаженні. Сучасні **гвинтові (шнекові) транспортери** оснащуються спеціальними обертальними камерами, що забезпечують рівномірний потік зерна та мінімізують його подрібнення. Крім того, застосовуються **стрічкові транспортери з амортизуючими покриттями**, що дозволяють зменшити тиск зерна на робочі поверхні.

У силосному та бункерному зберіганні важливим аспектом є рівномірний розподіл зернової маси, що зменшує локальні перевантаження. Для цього використовуються **конусні розподільники зерна**, які забезпечують плавне та рівномірне заповнення ємностей. Додатково, у місцях вивантаження встановлюються **гравітаційні сповільнювачі потоку**, що зменшують швидкість падіння зерна та знижують ризик розтріскування оболонки зернівок.

Щодо сушіння, важливу роль у мінімізації травмування відіграє використання **низькотемпературних сушарок**, які працюють за принципом рівномірного прогрівання зернової маси. Альтернативним методом є **мікрохвильове сушіння**, що дозволяє уникнути різких температурних перепадів, які можуть призвести до внутрішнього напруження та розтріскування зерна.

Важливим напрямом є автоматизація транспортно-технологічних процесів, що дає змогу контролювати параметри обробки зерна в режимі реального часу. Використання **цифрових систем моніторингу ударного навантаження та швидкості транспортування** дозволяє своєчасно коригувати режими роботи обладнання, знижуючи рівень травмування. Таким чином, застосування сучасного обладнання та автоматизованих технологій забезпечує збереження якісних характеристик зерна на всіх етапах його післязбиральної обробки.

Перспективи розвитку технологій збереження зерна від травмування

Одним із перспективних рішень є **автоматизація та цифровий моніторинг** усіх технологічних операцій. Використання систем на основі штучного інтелекту (ШІ) дозволяє аналізувати параметри транспортування зерна в реальному часі, контролювати швидкість подачі, силу ударного навантаження та інші фактори, що можуть призводити до пошкоджень. Наприклад, інтелектуальні транспортні системи з датчиками контролю пошкоджень дозволяють автоматично коригувати швидкість подачі зерна та вносити зміни в алгоритми його переміщення.

Ще одним напрямом удосконалення є **розробка нових матеріалів та конструкцій транспортного обладнання**. Використання гнучких полімерних та гумових покриттів у норіях, елеваторах, конвеєрах та бункерах значно зменшує силу ударів зерна об тверді поверхні. Крім того, перспективним є

застосування модульних аеродинамічних транспортерів, що використовують повітряний потік для делікатного переміщення зернової маси.

Важливу роль у зменшенні травмування відіграють **інноваційні методи сушіння зерна**. Традиційне високотемпературне сушіння спричиняє стресові навантаження та мікротріщини в оболонці зернівок, що погіршує їхню якість. Перспективним є використання **мікрохвильового сушіння з адаптивним контролем потужності**, що дозволяє рівномірно прогрівати зернову масу без створення локальних перегрівів.

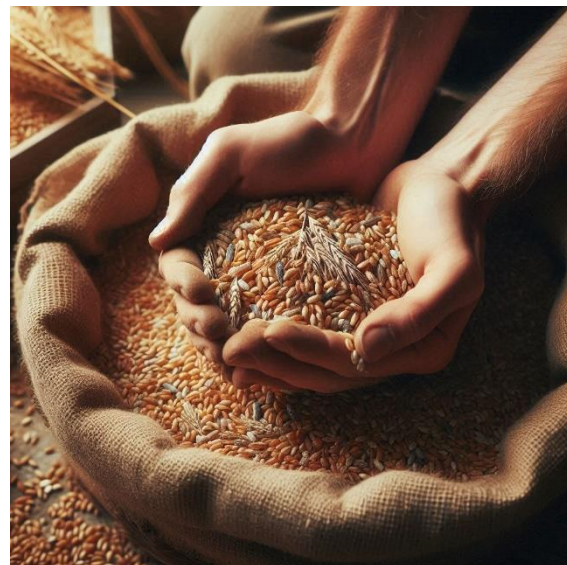
Також активно розробляються **безконтактні методи переміщення та обробки зерна**. Зокрема, вивчається можливість застосування магнітогідродинамічних технологій для транспортування зернової маси у спеціальних електромагнітних полях. Такі системи дозволяють уникнути фізичних контактів зерна з твердими поверхнями, що мінімізує механічні пошкодження.

Перспективи розвитку технологій зниження травмування зерна спрямовані на інтеграцію сучасних матеріалів, автоматизованих систем контролю та альтернативних методів транспортування й сушіння. Запровадження новітніх технологій дозволить значно підвищити якість зерна, знизити втрати та забезпечити конкурентоспроможність агропромислового сектору на глобальному рівні.

Нові технології зберігання зерна

Важливість ефективного зберігання зерна для агропромислового комплексу

Зернові культури є стратегічним ресурсом агропромислового комплексу, оскільки вони забезпечують продовольчу безпеку, є основою для тваринництва та харчової промисловості, а також є важливим експортним товаром. Ефективне зберігання зерна дозволяє мінімізувати втрати, підтримувати його якість і забезпечувати стабільність продовольчих ринків. Високі показники якості зерна після зберігання впливають на його товарну цінність, можливість переробки та посівні характеристики.



Неефективне зберігання може призвести до фізичних, хімічних та біологічних змін у зерновій масі, що спричиняє зниження харчової та кормової цінності. Оптимальні умови зберігання допомагають запобігти розвитку мікроорганізмів, втратам вологи та накопиченню токсичних речовин, таких як мікотоксини. Впровадження сучасних технологій та інноваційних методів контролю забезпечує не лише економічну ефективність, а й екологічну безпеку зерносховищ.

Проблеми традиційних методів зберігання зерна

Традиційні методи зберігання зерна, такі як силосні бункери, склади підлогового типу та металеві резервуари, мають низку недоліків. Однією з основних проблем є недостатній контроль параметрів зберігання, що сприяє розвитку мікроорганізмів, самозігріванню та втратам маси через дихальні процеси зерна.

Значні втрати зерна пов'язані з впливом комах-шкідників, грибкових інфекцій та гризунів, які можуть пошкоджувати зерно та викликати вторинне зараження. Відсутність автоматизованих систем моніторингу параметрів зберігання у традиційних сховищах ускладнює оперативне реагування на зміну умов середовища та підвищує ризик втрат продукції.

Крім того, традиційні методи не забезпечують необхідного рівня газової модифікації середовища, що спричиняє швидке старіння зерна, погіршення його технологічних властивостей та втрату посівних якостей. Обмеженість у можливостях підтримки стабільної температури та вологості також є критичною проблемою, особливо для довготривалого зберігання.

Основні фактори, що впливають на якість зерна під час зберігання

Процес зберігання зерна є складним біохімічним і фізичним процесом, на який впливає низка взаємопов'язаних факторів. Найважливішими з них є температура, вологість, мікрофлора та газове середовище.

- **Температура.** Високі температури підвищують інтенсивність дихання зерна, сприяють розвитку мікроорганізмів і комах-шкідників. Оптимальна температура для зберігання більшості зернових культур становить 10–15°C, а для довготривалого зберігання рекомендується знижувати її до 5°C і нижче.
- **Вологість.** Підвищена вологість сприяє розвитку грибкових уражень, самозігріванню та втратам маси зерна. Для ефективного зберігання зерна важливо підтримувати його вологість на рівні, що не перевищує критичних показників (12–14% для пшениці, 13–15% для кукурудзи).
- **Мікрофлора.** Бактерії, гриби та дріжджі, що містяться в зерновій масі, можуть спричиняти мікотоксикацію, зниження технологічної цінності зерна та втрату його якості. Особливу загрозу становлять токсигенні гриби роду *Aspergillus* та *Fusarium*, які продукують небезпечні мікотоксини.
- **Газове середовище.** Концентрація кисню, вуглекислого газу та азоту в зерносховищах впливає на інтенсивність дихання зерна та активність мікроорганізмів. Використання газової модифікації середовища (збільшення вмісту CO₂, витіснення кисню) дозволяє знизити ризики псування зерна та розвитку комах-шкідників.

Врахування цих факторів у сучасних технологіях зберігання дозволяє забезпечити довготривале збереження зернової маси без втрати якісних і товарних характеристик.

Інноваційні методи зберігання зерна

Метод зберігання	Принцип дії	Основні переваги	Обмеження та недоліки	Приклади застосування
Герметичне зберігання в полімерних рукавах	Створення герметичного середовища, що знижує доступ кисню та пригнічує активність мікроорганізмів і комах-шкідників	Мінімізація втрат маси та якості зерна, відсутність потреби в додатковій вентиляції	Обмежений термін зберігання (6–12 місяців), необхідність контролю механічних пошкоджень рукавів	Використання для коротко- та середньострокового зберігання зернових та олійних культур у польових умовах
Озонування зерна	Обробка зернової маси озono-повітряною сумішшю для дезінфекції та пригнічення	Висока ефективність проти грибків, бактерій та комах, екологічна безпечність	Високі енергозатрати, необхідність точного контролю концентрації озону	Використання для знищення мікотоксинів та патогенної мікрофлори в зернових сховищах

	розвитку мікрофлори			
Зберігання в модифікованому газовому середовищі (азотне консервування)	Видалення кисню з зерносховища та заміна його інертними газами (азотом, вуглекислим газом) для зниження дихальних процесів зерна та активності шкідників	Зменшення активності мікроорганізмів, збереження посівних якостей, відсутність потреби в хімічній обробці	Потребує герметичних сховищ та додаткового обладнання для регулювання газового складу	Використання для довготривалого зберігання продовольчого та насіннєвого зерна
Кріогенне зберігання	Використання низьких температур (до -10°C) для пригнічення біологічної активності зерна	Збереження високих якісних показників, відсутність втрат через шкідників	Високі енергозатрати, необхідність спеціального обладнання для охолодження	Використання для тривалого зберігання насіннєвого та продовольчого зерна
Мікрохвильове оброблення перед зберіганням	Використання електромагнітного випромінювання для знищення патогенів та комах-шкідників	Висока ефективність, відсутність залишкових хімічних речовин	Можливе локальне перегрівання зерна, що впливає на його якість	Передзберігання зерна з високим рівнем зараження комахами та грибками
Електронно-променева обробка	Використання пучків електронів для дезінфекції зерна та зниження активності мікрофлори	Висока ефективність, знищення патогенів без застосування хімікатів	Висока вартість обладнання, необхідність дотримання радіаційних норм	Дезінфекція продовольчого та насіннєвого зерна

Ультразвукова обробка зерна	Вплив високочастотних звукових хвиль для руйнування клітинних структур шкідників і мікроорганізмів	Знищення широкого спектру патогенів, мінімальний вплив на якість зерна	Потребує спеціального обладнання, складність рівномірної обробки	Додатковий метод підготовки зерна перед тривалим зберіганням
Біологічні методи зберігання	Використання антагоністичних мікроорганізмів та метаболітів для пригнічення росту патогенних грибів	Екологічна безпечність, відсутність хімічних залишків у зерні	Потребує тривалого тестування та контролю ефективності	Використання в органічному сільському господарстві для зберігання зерна без застосування пестицидів
Зберігання в контрольованій атмосфері з регулюванням вологості	Використання спеціальних систем осушення або зволоження для підтримки стабільного рівня вологості зерна	Мінімізація втрат через самозігрівання та утворення цвілі	Потребує автоматизованих систем контролю	Використання для зберігання зерна в елеваторах із технологіями клімат-контролю

Технологічне обладнання для сучасного зберігання зерна

Сучасні технології вимагають застосування інноваційного обладнання, яке забезпечує контрольовані умови зберігання, знижує втрати та покращує безпечність продукції. Основними напрямками розвитку технологічного обладнання є автоматизація процесів, впровадження систем моніторингу, використання модифікованого газового середовища та застосування фізичних методів обробки.

Однією з ключових складових сучасного зберігання є **силосні комплекси**, обладнані системами активної вентиляції, осушення та охолодження зерна. Модернізовані силоси оснащуються датчиками температури, вологості та рівня CO₂, що дозволяє оперативно реагувати на зміни мікроклімату зернової маси. Для попередження самозігрівання зерна

використовують **аераційні системи**, які забезпечують рівномірний розподіл повітряного потоку та підтримку стабільних умов зберігання.

Важливу роль відіграють **установки модифікованого газового середовища**, які дозволяють зберігати зерно в атмосфері зниженої концентрації кисню або підвищеного вмісту азоту чи вуглекислого газу. Таке обладнання запобігає розвитку шкідників та грибкової мікрофлори без використання хімічних препаратів. Зокрема, **азотні генератори** широко застосовуються для довготривалого зберігання насіннєвого та продовольчого зерна.

Іншим інноваційним рішенням є **обладнання для обробки зерна фізичними методами**. Наприклад, **озоногенератори** використовуються для дезінфекції зернової маси від патогенних мікроорганізмів та мікотоксинів, що покращує фітосанітарний стан продукції. **Мікрохвильові установки** ефективно знищують комах-шкідників та спори грибів, мінімізуючи хімічний вплив на зерно.

Для підвищення ефективності зберігання активно впроваджуються **автоматизовані системи моніторингу та управління**, які інтегрують сенсори, аналізатори газового складу, температурні датчики та програмне забезпечення. Такі технології дозволяють у реальному часі контролювати стан зерна, оптимізувати процеси вентиляції та охолодження, зменшуючи втрати продукції та енерговитрати.

Сучасне обладнання для зберігання зерна спрямоване на автоматизацію, енергоефективність та екологічну безпеку. Використання інноваційних технологій дозволяє значно зменшити втрати продукції, покращити її якість та відповідати сучасним вимогам агропромислового комплексу.

Інтелектуальні системи контролю якості зерна

Сучасні агропромислові підприємства дедалі частіше впроваджують інтелектуальні системи контролю якості зерна, які базуються на цифрових технологіях. Використання автоматизованих рішень дозволяє здійснювати моніторинг параметрів зернової маси в режимі реального часу, оперативно реагувати на зміни умов зберігання та мінімізувати втрати продукції. До ключових складових таких систем належать IoT-пристрої, сенсорні технології, штучний інтелект (AI) та спеціалізоване програмне забезпечення для аналізу та управління даними.

Використання IoT-технологій для аналізу параметрів зберігання

Технологія Інтернету речей (IoT) відкриває нові можливості у сфері зберігання зерна, дозволяючи здійснювати дистанційний контроль параметрів зернової маси. В основі IoT-систем лежить мережа сенсорів, які безперервно вимірюють критичні показники, такі як температура, вологість, вміст CO₂, рівень токсичних газів та активність мікроорганізмів. Отримані дані передаються на хмарні платформи, де вони аналізуються за допомогою алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання.

Завдяки IoT-рішенням можливе прогнозування процесів самозігрівання зерна, утворення конденсату або розвитку мікрофлори, що дозволяє своєчасно вживати заходів для збереження якості продукції. Автоматизовані системи можуть генерувати попередження та рекомендації для персоналу елеваторів, зменшуючи ризики псування зерна.

Програмне забезпечення для віддаленого керування елеваторами

Розвиток цифрових технологій сприяв появі сучасних програмних рішень для віддаленого керування зерносховищами та елеваторами. Такі системи інтегрують дані від IoT-сенсорів, автоматизованих установок для аерації, охолодження, сушіння та газової обробки зерна. Використання програмного забезпечення дозволяє агровиробникам контролювати всі процеси через веб-інтерфейс або мобільний додаток, оптимізуючи енерговитрати та покращуючи логістичні операції.

Окрім моніторингу, сучасні платформи забезпечують аналітику та прогнозування змін стану зерна на основі історичних даних. Впровадження штучного інтелекту дозволяє розробляти моделі поведінки зернової маси за різних сценаріїв зберігання, що підвищує ефективність управлінських рішень. Деякі програмні комплекси можуть взаємодіяти з ERP-системами аграрних компаній, що сприяє повній автоматизації бізнес-процесів у сфері зернозберігання.

Застосування інтелектуальних систем контролю якості зерна на основі IoT та цифрових платформ забезпечує точний аналіз, швидке реагування на критичні ситуації та підвищення ефективності управління зерновими запасами. Це сприяє зниженню втрат продукції, покращенню її безпечності та якості, що є ключовими факторами конкурентоспроможності сучасного аграрного сектору.

Автоматизація та цифровізація процесів зберігання зерна

Напрямок	Технологічне рішення	Функції та переваги
Моніторинг параметрів зернової маси	IoT-сенсори (температура, вологість, CO ₂ , рівень токсичних газів)	Безперервний контроль умов зберігання, раннє виявлення ризиків псування зерна
Аналітика та прогнозування	Штучний інтелект (AI) та машинне навчання	Аналіз змін параметрів, прогнозування розвитку мікрофлори, запобігання самозігріванню зерна

Автоматизоване керування вентиляцією	Інтелектуальні системи управління аерацією	Оптимізація повітрообміну, енергозбереження, підтримання рівномірної температури
Автоматизовані системи охолодження зерна	Комп'ютеризовані холодильні установки	Регулювання температури зернової маси для гальмування біохімічних процесів
Цифрове управління сушінням	Системи з датчиками вологості та температури	Автоматичний контроль режимів сушіння, запобігання перегріванню та пошкодженню зерна
Газова обробка зерна	Автоматизовані установки подачі інертних газів (азот, вуглекислий газ, озон)	Профілактика розвитку шкідників і патогенної мікрофлори
Програмне забезпечення для управління елеваторами	ERP-системи, хмарні платформи для віддаленого контролю	Автоматизація обліку, логістики та операційних процесів
Роботизовані технології завантаження/вивантаження зерна	Автоматичні транспортери, конвеєри, механізовані рукави	Мінімізація людського фактора, зниження травмування зерна
Блокчейн для контролю якості зерна	Цифрові платформи обліку партій зерна	Прозорість даних про якість та умови зберігання, підвищення довіри постачальників

Перспективи розвитку технологій зберігання зерна

Застосування роботизованих технологій у зерносховищах

Інноваційний розвиток зерносховищ спрямований на впровадження роботизованих систем, які здатні автоматизувати контроль за станом зернової маси, оптимізувати процеси навантаження та вивантаження, а також зменшити втрати продукції. Роботизовані механізми, обладнані датчиками та штучним інтелектом, дозволяють аналізувати температуру, вологість і стан зерна в режимі реального часу, оперативно реагуючи на можливі відхилення. Використання дронів для моніторингу великих зерносховищ сприяє

підвищенню ефективності перевірки внутрішнього середовища сховищ, зменшуючи людський фактор та витрати на обслуговування.

Екологічно чисті методи знезараження та збереження зерна

З метою зменшення негативного впливу на довкілля та підвищення безпечності зерна активно розробляються екологічно чисті методи знезараження. До них належать використання озону, інертних газів (азоту, вуглекислого газу), біологічних агентів (корисних мікроорганізмів, ферментів), а також фізичних методів, зокрема мікрохвильового та ультрафіолетового опромінення. Такі технології дозволяють ефективно контролювати розвиток шкідників та мікрофлори без застосування шкідливих хімічних препаратів, що покращує якість та екологічну безпечність збереженої продукції.

Створення енергоефективних зерносховищ із мінімальним впливом на довкілля

У сучасних умовах актуальним стає впровадження енергоефективних зерносховищ, які дозволяють скоротити витрати електроенергії та зменшити викиди парникових газів. Серед перспективних рішень – використання сонячних панелей та вітрових турбін для автономного енергозабезпечення, впровадження термоізоляційних матеріалів для зменшення теплових втрат, а також створення «зелених» вентиляційних систем із мінімальним споживанням електроенергії. Застосування рекуператорів тепла дозволяє повторно використовувати теплову енергію, що утворюється під час сушіння зерна, а вдосконалення системи аерації сприяє ефективному розподілу повітря без перевитрат ресурсів.

Розвиток цих напрямів сприятиме підвищенню ефективності зберігання зерна, зменшенню втрат продукції та зниженню негативного впливу аграрної галузі на навколишнє середовище, що відповідає світовим тенденціям сталого розвитку сільського господарства.

Інновації в знезараженні зерна

Значення знезараження зерна для забезпечення якості та безпечності продукції



Знезараження зерна є критичним етапом післязбиральної обробки, який забезпечує його якість, безпечність та придатність до подальшого використання у харчовій, кормовій та переробній промисловості. Основною метою цього процесу є знищення патогенних мікроорганізмів, шкідників та мінімізація ризику накопичення токсичних сполук, таких як мікотоксини. Знезаражене зерно має кращу стійкість до зберігання, менший ризик псування та відповідає санітарно-гігієнічним нормам, що є особливо важливим для експорту та використання у харчовому секторі.

Основні проблеми традиційних методів знезараження зерна

Традиційні методи знезараження зерна, такі як хімічна фумігація та термічна обробка, мають низку суттєвих недоліків. Хімічні препарати, зокрема фосфін і метилбромід, ефективно знищують комах-шкідників та патогенну мікрофлору, однак можуть залишати токсичні залишки, що негативно впливають на якість зерна та безпечність кінцевої продукції. Крім того, з часом багато видів шкідників набувають резистентності до пестицидів, що знижує ефективність обробки. Термічні методи, такі як нагрівання або сушіння, також мають обмежене застосування через ризик зміни фізико-хімічних властивостей зерна, втрату його схожості та зниження харчової цінності.

Вплив мікрофлори, шкідників та мікотоксинів на якість зернової маси

Мікрофлора зерна, що включає бактерії, грибки та дріжджі, відіграє ключову роль у процесах псування продукції. Найбільш небезпечними є плісняві гриби роду *Aspergillus*, *Penicillium* та *Fusarium*, які продукують токсичні метаболіти — мікотоксини. Високий рівень мікотоксинів, зокрема афлатоксинів, охратоксину А і зеараленону, може призводити до серйозних проблем зі здоров'ям людини та тварин, включаючи канцерогенні та імунодепресивні ефекти.

Крім мікрофлори, зерно часто уражується комахами-шкідниками, такими як комірний довгоносик (*Sitophilus granarius*), зернова міль (*Sitotroga cerealella*) та хрущаки (*Tribolium* spp.), які не тільки пошкоджують зерно механічно, але й сприяють його вторинному інфікуванню мікроорганізмами. Метаболічні продукти життєдіяльності комах можуть призводити до

самозігрівання зернової маси, розвитку патогенної мікрофлори та підвищення ризику втрат продукції.

Впровадження ефективних, екологічно безпечних та малотоксичних методів знезараження є важливим напрямом для підвищення якості та збереження зернової продукції. Сучасні інноваційні підходи, такі як озонування, використання інертних газів, ультразвукова та мікрохвильова обробка, дозволяють знизити рівень мікробного забруднення, зберегти поживні властивості зерна та уникнути екологічних ризиків.

Нормативно-правові вимоги до знезараження зерна

Країна/Регіон	Стандарт/Регламент	Основні вимоги
Україна	ДСТУ 4487:2005 "Зерно. Методи визначення зараженості та пошкодженості шкідниками"	Визначає методи оцінки зараженості зерна шкідниками, що є основою для прийняття рішень щодо знезараження.
	ДСТУ 4762:2007 "Зерно та продукти його переробки. Методи визначення токсичних елементів"	Регламентує допустимі рівні токсичних елементів, зокрема залишків хімічних препаратів після знезараження.
	Санітарні правила СП 3.2.036-2002	Визначають вимоги до використання хімічних засобів знезараження зерна, граничні концентрації залишків пестицидів.
	Наказ Мінагрополітики № 661 від 27.11.2012	Регламентує процедури знезараження зерна в зерносховищах і транспортних засобах.
ЄС	Regulation (EC) No 396/2005	Встановлює максимально допустимі рівні залишків пестицидів у зерні та продуктах його переробки.
	Directive 2000/29/EC	Регулює вимоги щодо фітосанітарного контролю імпортованого та експортованого зерна.
	Codex Alimentarius (CXC 1-1969, Rev. 2022)	Визначає міжнародні вимоги до безпечності харчових продуктів, включаючи рівні мікотоксинів і залишків хімічних препаратів у зерні.

США	EPA Pesticide Residue Limits	Регулює допустимі рівні залишків пестицидів у харчових продуктах, включаючи зернові культури.
	FSMA (Food Safety Modernization Act, 2011)	Передбачає заходи контролю безпечності харчових продуктів, включаючи стандарти зберігання та знезараження зерна.
Міжнародні стандарти	ISO 22000:2018 "Системи менеджменту безпечності харчових продуктів"	Визначає загальні вимоги до контролю мікробіологічних і хімічних ризиків у харчовому виробництві.
	ISO 16050:2003 "Методи визначення мікотоксинів у зерні"	Встановлює вимоги до визначення рівня мікотоксинів у зерновій продукції.
	IPPC (Міжнародна конвенція із захисту рослин)	Регламентує міжнародні вимоги до фітосанітарного контролю та знезараження зерна в міжнародній торгівлі.

Традиційні методи знезараження зерна

Знезараження зерна є важливою складовою процесу його зберігання, оскільки воно дозволяє знизити втрати, зберегти якість та безпечність продукції. Традиційні методи знезараження включають фізичні, хімічні та біологічні підходи, кожен із яких має свої особливості, переваги та недоліки.

Фізичні методи

Фізичні методи знезараження спрямовані на механічне або термічне знищення шкідників, мікроорганізмів та їхніх спор. До таких методів належать:

Висушування – зниження вологості зерна до рівня, за якого розвиток грибової мікрофлори та шкідників унеможливується. Оптимальні рівні вологості для зберігання різних культур визначаються стандартами.

Термообробка – використання гарячого повітря або пари для знищення комах-шкідників, грибків та бактерій. До термічних методів відносять інфрачервону та мікрохвильову обробку.

Просіювання – механічне видалення домішок, пилу, яєць комах, заражених зернин за допомогою сит, аспіраційних систем або триєрів.

Хімічні методи

Хімічні методи є найпоширенішими для боротьби зі шкідниками та патогенами зерна, проте потребують дотримання суворих санітарних норм. До них належать:

Фумігація – застосування газоподібних хімікатів (фосфін, бромистий метил) для знищення комах і мікроорганізмів у закритих зерносховищах. Фумігація ефективна, але вимагає герметизації приміщення та контролю за залишковими концентраціями речовин.

Використання пестицидів – обробка зерна рідкими або порошковими інсектицидами та фунгіцидами, що пригнічують розвиток комах та патогенної мікрофлори.

Біологічні методи

Біологічні методи передбачають використання природних організмів або речовин для пригнічення росту патогенів та шкідників:

Використання природних антагоністів мікроорганізмів – застосування бактерій та грибків, що конкурують з патогенною мікрофлорою та пригнічують її розвиток.

Інсектицидні рослинні екстракти – природні сполуки, що мають антимікробні або інсектицидні властивості (ефірні олії, алкалоїди, фітонциди).

Недоліки традиційних методів знезараження

Хоча традиційні методи знезараження зерна є ефективними, вони мають ряд недоліків:

Хімічні методи можуть спричиняти залишкове забруднення зерна пестицидами, що може негативно вплинути на безпечність продукції та обмежити її експорт.

Фізичні методи потребують значних енергетичних затрат, зокрема термообробка, що може підвищувати собівартість зберігання зерна.

Деякі хімічні препарати викликають резистентність у шкідників, що вимагає розробки нових діючих речовин або комбінованих методів обробки.

Механічне очищення не завжди забезпечує повне видалення мікроорганізмів, а лише знижує рівень зараженості.

Через ці недоліки розвиваються нові інноваційні методи знезараження зерна, які базуються на екологічно безпечних та енергоефективних технологіях.

Інноваційні фізичні методи знезараження зерна

Метод	Суть методу	Переваги	Недоліки
Мікрохвильове опромінення	Обробка зерна електромагнітними хвилями надвисокої частоти, що призводить до загибелі мікроорганізмів та комах.	Висока ефективність проти шкідників і грибків, рівномірний нагрів, можливість	Потребує точного контролю параметрів, можливий перегрів зерна та втрата вологості.

		обробки великих обсягів зерна.	
Інфрачервоне нагрівання	Використання інфрачервоного випромінювання для знищення патогенів, комах та їхніх яєць.	Висока швидкість обробки, збереження якості зерна, екологічна безпечність.	Високі енергозатрати, обмеження для зерна з високою вологістю.
Озонування	Обробка зерна озоном, що руйнує клітинні оболонки мікроорганізмів і знищує шкідників.	Екологічно чистий метод, не залишає токсичних залишків, ефективний проти бактерій, грибків та вірусів.	Вимагає спеціального обладнання, нестабільність озону (швидкий розпад).
Ультрафіолетове опромінення (UV-C)	Використання короткохвильового ультрафіолетового випромінювання для дезінфекції зерна.	Висока ефективність проти грибків і бактерій, екологічність.	Невелика глибина проникнення, потреба в рівномірному розподілі світла, неефективність проти комах.
Плазмова обробка	Використання низькотемпературної плазми для руйнування клітинної структури мікроорганізмів та комах.	Безпечність для зерна, екологічність, відсутність хімічних залишків.	Високі витрати енергії, складність масштабування технології.
Електронно-променева стерилізація	Обробка зерна потоком високоенергетичних електронів, що викликає пошкодження ДНК мікроорганізмів та шкідників.	Висока ефективність, екологічна безпека, збереження якості зерна.	Дороге обладнання, складність у регулюванні дози опромінення.

Вакуумна обробка	Видалення кисню із середовища зберігання для пригнічення розвитку грибків і комах.	Простота застосування, безпечність для зерна, збереження його якості.	Високі витрати на створення вакууму, складність герметизації сховищ.
------------------	--	---	--

Інноваційні хімічні та біологічні методи знезараження зерна

Метод	Суть методу	Переваги	Недоліки
Використання газових фумігантів нового покоління (фосфін у модифікованій формі, сірковуглець, озон)	Обробка зерна нетоксичними газовими сполуками, що знищують мікроорганізми та комах.	Висока ефективність, мінімальні залишки в зерні, екологічна безпечність.	Необхідність герметизації сховищ, контроль дози.
Використання інертних газів (азот, вуглекислий газ)	Створення безкисневого середовища для пригнічення розвитку мікроорганізмів і комах.	Відсутність хімічних залишків, збереження якості зерна.	Висока вартість технології, потреба в спеціальному обладнанні.
Біопрепарати на основі бактерій-антагоністів (<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pseudomonas</i> spp.)	Використання корисних мікроорганізмів, які пригнічують розвиток патогенів та грибків у зерні.	Екологічність, відсутність токсичних залишків, покращення фітосанітарного стану зерна.	Вимагає контролю умов застосування, ефективність залежить від виду патогенів.
Ефірні олії та природні екстракти (чебрець, розмарин, гвоздика, кориця)	Використання природних антимікробних речовин для пригнічення розвитку мікроорганізмів.	Натуральність, безпечність для людини, можливість біоактивації насіння.	Висока вартість, можлива зміна органолептичних властивостей зерна.
Обробка зерна органічними кислотами (пропіонова,	Обробка зернової маси кислотами, що пригнічують	Ефективність проти широкого спектру патогенів,	Потребує контролю концентрації, можливе

оцтова, молочна кислота)	розвиток грибків і бактерій.	збереження якості зерна.	зниження схожості насіння.
Ферментні препарати	Використання специфічних ферментів, що руйнують клітинні стінки патогенів.	Висока вибірковість, екологічність, можливість застосування в органічному землеробстві.	Висока вартість, необхідність точного підбору ферментів.
Генетично модифіковані штами мікроорганізмів	Використання мікроорганізмів, що продукують речовини, здатні знищувати шкідливу мікрофлору та комах.	Висока ефективність, довготривалий ефект.	Етичні питання, необхідність державного регулювання.

Перспективи розвитку технологій знезараження зерна

Традиційні методи, такі як хімічна фумігація та термічна обробка, поступово доповнюються біотехнологічними, нанотехнологічними та цифровими рішеннями, що дозволяють зменшити використання пестицидів та покращити контроль якості зерна.

Біотехнологічні розробки для підвищення стійкості зерна до мікроорганізмів

Сучасні біотехнологічні методи спрямовані на підвищення природної резистентності зерна до патогенних мікроорганізмів та комах-шкідників. Зокрема, активно досліджується застосування біологічних антагоністів (наприклад, бактерій роду *Bacillus* та *Pseudomonas*), які продукують антимікробні метаболіти та можуть ефективно пригнічувати ріст грибків, таких як *Aspergillus* та *Fusarium*. Крім того, впровадження методів генної інженерії дозволяє створювати культури зернових із підвищеною стійкістю до мікотоксинів і шкідників, що знижує потребу у хімічних засобах знезараження.

Використання нанотехнологій для знезараження

Нанотехнології відкривають нові можливості у знезараженні зернової маси завдяки створенню високоефективних наноматеріалів із антимікробними властивостями. Зокрема, наночастинки срібла, титану та міді можуть використовуватися для дезінфекції зерносховищ та обробки зерна з метою знищення бактеріальних та грибкових інфекцій. Також перспективним напрямом є застосування біорозкладних полімерних нанокapsул, що містять природні антисептичні речовини, які поступово вивільняються та забезпечують довготривалий захист зерна під час зберігання.

Розробка екологічно чистих методів захисту зерна без використання хімічних препаратів

Тенденція до зменшення використання синтетичних пестицидів стимулює розробку екологічно безпечних методів знезараження зерна. Одним із таких напрямів є використання озono-повітряних сумішей, які ефективно знищують мікроорганізми та комах без залишкових токсичних продуктів. Крім того, активно досліджуються методи ультрафіолетового та плазмового знезараження, що дозволяють швидко та ефективно обробляти зерно перед зберіганням. Використання ефірних олій і рослинних екстрактів (наприклад, чебрецю, гвоздики, кориці) також демонструє перспективність у боротьбі з грибками та шкідниками.

Впровадження блокчейн-технологій для контролю якості зерна під час зберігання

Сучасні цифрові технології можуть значно підвищити ефективність управління процесами знезараження та зберігання зерна. Використання блокчейн-систем дозволяє створити прозору та незмінну базу даних щодо умов обробки та зберігання зернових партій. Це особливо важливо для забезпечення простежуваності продукції та дотримання міжнародних стандартів безпеки харчових продуктів. Завдяки поєднанню блокчейну з IoT-датчиками можна в режимі реального часу контролювати рівень вологості, температури та мікробіологічний стан зерна, що сприяє зменшенню втрат та покращенню якості продукції.

Перспективи розвитку технологій знезараження зерна спрямовані на підвищення ефективності та екологічності методів захисту зернової маси. Біотехнологічні рішення, наноматеріали, фізичні методи та цифрові інструменти поступово інтегруються у сучасні технологічні процеси, забезпечуючи безпечність та довговічність зернової продукції. Подальші дослідження та впровадження інновацій у цій сфері дозволять значно зменшити залежність агропромислового комплексу від хімічних препаратів та підвищити рівень продовольчої безпеки.

Управління ризиками при зберіганні зерна

Основні виклики та ризики, що виникають під час зберігання зерна

Зберігання зерна є критичним етапом у ланцюгу аграрного виробництва, оскільки від умов його зберігання залежить не лише якість продукції, але й економічна ефективність усього агропромислового комплексу. Основними викликами та ризиками, що супроводжують цей процес, є:

Біологічні фактори – активне розмноження мікроорганізмів (бактерій, грибків), розвиток шкідників та гризунів. Це може призвести до псування зерна, зниження його товарної якості та втрати поживної цінності.

Кліматичні умови – вплив коливань температури та вологості під час зберігання зерна. Перегрівання або підвищена вологість сприяють активізації дихальних процесів, що пришвидшує процеси псування та може викликати самозігрівання зернової маси.

Газове середовище – підвищена концентрація вуглекислого газу або нестача кисню можуть негативно впливати на якість зерна, його схожість та поживні властивості.

Механічні пошкодження – травмування зерен під час транспортування та переміщення може сприяти підвищенню вологості та прискоренню процесів псування.

Недостатній рівень автоматизації та контролю – застарілі методи моніторингу показників зберігання, недостатня цифровізація елеваторних комплексів можуть призводити до несвоєчасного виявлення проблем та великих втрат продукції.



Економічні та екологічні наслідки втрат зерна через неналежне управління ризиками

Погане управління ризиками під час зберігання зерна може мати як економічні, так і екологічні наслідки, що негативно впливають на агропромисловий сектор.

Економічні наслідки:

Прямі втрати зерна через псування, розвиток цвілі або зараження шкідниками. За різними оцінками, втрати зерна під час зберігання можуть становити від 10% до 30% від загального врожаю.

Зниження товарної якості, що призводить до зменшення ринкової вартості продукції. Наприклад, заражене грибками зерно може містити

мікотоксини, що робить його непридатним для споживання та потребує додаткових витрат на знезараження.

Додаткові витрати на повторну обробку, сушіння або знезараження зерна, що підвищує собівартість продукції.

Витрати на утилізацію непридатного зерна, яке неможливо використати в харчовій або кормовій промисловості.

Екологічні наслідки:

Викиди парникових газів (CO_2 , CH_4) внаслідок розкладання органічної маси пошкодженого зерна, що сприяє зміні клімату.

Використання пестицидів та хімічних засобів для боротьби з шкідниками та мікроорганізмами, що може призводити до забруднення навколишнього середовища.

Збільшення навантаження на екосистеми через необхідність утилізації зіпсованого зерна або повторного його використання у менш ефективних сферах, таких як біопаливо.

Для мінімізації економічних та екологічних ризиків необхідно впроваджувати сучасні технології моніторингу, автоматизовані системи контролю якості, а також екологічно чисті методи збереження зерна, такі як модифіковане газове середовище, біологічні антагоністи та цифрові системи керування елеваторами.

Класифікація ризиків при зберіганні зерна

Категорія ризику	Фактори ризику	Можливі наслідки	Методи мінімізації
Біологічні ризики	Розвиток грибків, бактерій, мікотоксинів	Псування зерна, токсичність, втрата якості	Контроль вологості, провітрювання, використання антифунгіцидів
	Шкідники (комахи, гризуни, кліщі)	Знищення частини запасів, забруднення	Фізичні бар'єри, біологічні методи, фумігація
	Дихання зерна, самозігрівання	Втрата сухої речовини, самозаймання	Контроль температури, аерація, газова обробка
Фізичні ризики	Вплив вологості та температури	Зниження схожості, розвиток плісняви	Системи клімат-контролю, сушіння
	Механічні пошкодження зерна	Підвищена сприйнятливість до мікроорганізмів	Оптимізація транспортування, м'які елеваторні системи

Хімічні ризики	Окислення жирів	Псування кормової та харчової якості	Контроль температури, герметичне зберігання
	Забруднення (пестициди, важкі метали)	Небезпека для здоров'я, зниження якості	Моніторинг забруднень, сертифікація
Економічні ризики	Коливання цін на зерно	Фінансові втрати для виробників	Диверсифікація ринків, хеджування
	Втрати зерна через неналежне зберігання	Зменшення прибутку, нестабільність виробництва	Впровадження сучасних технологій зберігання
	Логістичні ризики (транспортування)	Втрати під час перевезення, псування	Поліпшення інфраструктури, страхування вантажів

Методи моніторингу стану зернової маси

Ефективне зберігання зерна вимагає постійного контролю його фізико-хімічних параметрів, що дозволяє своєчасно виявляти та запобігати негативним процесам, таким як самозігрівання, розвиток мікрофлори чи ураження шкідниками. Сучасні методи моніторингу зернової маси включають контроль температури та вологості, використання автоматизованих систем збору даних та лабораторний аналіз якісних характеристик зерна.

Контроль температури та вологості в зерносховищах

Температура та вологість є ключовими факторами, що впливають на безпечне зберігання зерна. Підвищена температура сприяє активізації процесів дихання, розвитку плісняви та комах-шкідників, що може призвести до самозігрівання зернової маси та значних втрат якості. Вологість зерна визначає його придатність до довготривалого зберігання: при вологості понад 14% зростає ризик розвитку мікроорганізмів та гниття. Тому зерносховища обладнуються датчиками температури та вологи, які розташовуються в різних точках сховища для отримання достовірної інформації про стан зерна.

Використання автоматизованих систем моніторингу

Завдяки розвитку цифрових технологій широко застосовуються автоматизовані системи моніторингу стану зернової маси. Вони включають бездротові датчики, IoT-технології та хмарні платформи, що дозволяють у реальному часі отримувати дані про температуру, вологість, концентрацію газів (CO_2 , O_2) та наявність шкідників. Такі системи інтегруються із системами управління зерносховищами та можуть автоматично коригувати параметри вентиляції, аерації або сигналізувати про критичні зміни в умовах зберігання.

Лабораторний контроль складу зерна

Окрім фізичних параметрів, для оцінки якості зерна проводяться лабораторні дослідження. Вони включають визначення вологості, вмісту білків, крохмалю, жирів, кислотного числа та наявності мікотоксинів. Аналіз мікрофлори зерна дозволяє виявити зараженість грибами та бактеріями, що є критично важливим для безпечного зберігання харчового та насіннєвого зерна.

Застосування комплексного моніторингу зернової маси забезпечує високу ефективність управління процесами зберігання, знижує ризики втрат та підвищує загальну якість продукції.

Аналіз ризиків у системах зберігання зерна

У сучасних зерносховищах ефективно управління ризиками є важливим аспектом для збереження якості зерна, мінімізації втрат та забезпечення безпеки. Різноманітні фактори, включаючи технологічні, біологічні, екологічні та економічні, можуть суттєво впливати на стабільність і ефективність зберігання. Для оцінки та управління цими ризиками широко використовуються різноманітні методи та інструменти.

Методологія НАССР для зернових складів

Методологія НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points) є системою управління безпекою, яка спрямована на виявлення та запобігання ризикам, що можуть виникнути на будь-якому етапі зберігання зерна. Вона включає кілька основних етапів: ідентифікацію потенційних небезпек, визначення критичних контрольних точок, встановлення допустимих меж для кожної з цих точок, моніторинг процесів та коригувальні дії. У зерносховищах це дозволяє своєчасно виявляти ризики, такі як розвиток мікроорганізмів, нестабільні температурні або вологісні умови, що можуть призвести до псування зерна.

Використання SWOT-аналізу для оцінки ризиків

SWOT-аналіз (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) є потужним інструментом для стратегічного управління в системах зберігання зерна. Цей метод дозволяє оцінити внутрішні та зовнішні фактори, які можуть впливати на збереження зерна, і виявити як сильні, так і слабкі сторони існуючих процесів. Наприклад, сильними сторонами можуть бути наявність сучасних технологій сушіння та вентиляції, тоді як слабкими – недостатнє обладнання для контролю вологості. Можливості включають впровадження нових технологій зберігання, а загрози можуть бути пов'язані з екстремальними погодними умовами або розвитком шкідливих організмів.

Моделювання можливих сценаріїв втрат зерна

Моделювання сценаріїв втрат зерна є важливим етапом для прогнозування й управління ризиками в процесах зберігання. За допомогою комп'ютерного моделювання можна оцінити різні сценарії, які можуть виникнути внаслідок різних ризиків, таких як перевищення рівня вологості, підвищення температури чи розвиток плісняви. Це дозволяє оптимізувати

стратегії зберігання, розробити системи раннього попередження та коригування умов, а також приймати управлінські рішення щодо максимізації терміну зберігання зерна без втрат. Моделювання допомагає визначити ключові фактори, які сприяють збереженню зерна, і оцінити потенційні економічні збитки від можливих втрат зерна в різних сценаріях.

Методи управління ризиками при зберіганні зерна

Методи управління ризиками при зберіганні зерна	Опис
Превентивні заходи	
Вибір оптимальних умов зберігання (температура, вологість, вентиляція)	Правильне встановлення температури, вологості та вентиляційних режимів є основою для збереження якості зерна. Контроль цих факторів допомагає уникнути розвитку шкідників та мікроорганізмів, а також забезпечити рівень вологості, необхідний для зберігання зерна.
Використання газового середовища (азот, вуглекислий газ) для мінімізації втрат	Використання інертних газів, таких як азот або вуглекислий газ, дозволяє зменшити кисневий вміст, що гальмує розвиток мікроорганізмів та шкідників у зернових масах, тим самим продовжуючи термін зберігання.
Інноваційні методи боротьби зі шкідниками (озонування, ультразвук, інфрачервоне випромінювання)	Озонування, ультразвук і інфрачервоне випромінювання є безпечними та ефективними методами боротьби зі шкідниками та патогенними мікроорганізмами без використання хімічних засобів.
Контрольні заходи	
Використання сенсорних систем для автоматичного контролю стану зерна	Сенсори дозволяють постійно контролювати температуру, вологість, газовий склад повітря в зерносховищах, що дає змогу своєчасно виявляти проблеми та коригувати умови зберігання.
Роботизовані системи для знищення шкідників без хімічного впливу	Роботизовані системи забезпечують ефективну боротьбу з шкідниками без застосування пестицидів. Вони здатні виявляти та нейтралізувати шкідників автоматизовано.
Періодичні перевірки якості зерна та умов його зберігання	Регулярний моніторинг стану зерна та умов його зберігання дозволяє виявити проблеми на ранніх стадіях і вжити відповідних заходів.
Реактивні заходи	

Методи знезараження зараженого зерна (термічна обробка, біологічні методи)	Якщо зерно зазнало забруднення шкідниками або мікроорганізмами, застосовуються методи термічної обробки або біологічні методи для його знезараження.
Перевантаження зерна для усунення зон самозігрівання	Перевантаження зерна дозволяє рівномірно розподілити зерно, знижуючи ймовірність утворення зон самозігрівання, що можуть призвести до псування та зростання мікроорганізмів.
Використання антиоксидантних добавок для збереження якості зерна	Антиоксидантні добавки зменшують окислювальні процеси в зерні, що зберігає його харчову цінність та подовжує термін зберігання.

Впровадження цифрових технологій у зерносховищах

Впровадження цифрових технологій у зерносховищах є важливим етапом модернізації процесів зберігання зерна, що дозволяє підвищити ефективність, знизити ризики втрат та забезпечити якісне зберігання продукції. Одним із основних аспектів є використання технологій Big Data та Інтернету речей (IoT) для моніторингу параметрів зберігання. Завдяки IoT сенсори можуть бути встановлені в різних точках зерносховища для вимірювання температури, вологості, рівня кисню, CO₂ та інших параметрів, що впливають на якість зерна. Дані з цих сенсорів у реальному часі передаються на централізовану платформу, що дозволяє здійснювати моніторинг стану зерна 24/7 та коригувати параметри зберігання у разі необхідності.

Дистанційний контроль стану зерна через мобільні додатки є ще одним важливим кроком у цифровізації зерносховищ. Мобільні додатки дозволяють керівникам та операторам зерносховищ здійснювати моніторинг і керування усіма параметрами зберігання прямо з їхніх мобільних пристроїв. Вони можуть отримувати повідомлення про зміни в параметрах (наприклад, підвищення температури або вологості), а також здійснювати коригувальні заходи в разі виявлення потенційних загроз для зерна. Це дозволяє значно знизити ризики за рахунок швидкого реагування на негативні зміни.

Одним із найбільш перспективних напрямків є використання штучного інтелекту (ШІ) для прогнозування можливих загроз для якості зерна. ШІ може аналізувати великі обсяги даних, що надходять від сенсорів, а також історичні дані зберігання зерна для виявлення патернів та передбачення ймовірних ризиків, таких як розвиток мікроорганізмів, пошкодження шкідниками або утворення зон самозігрівання. Алгоритми машинного навчання можуть передбачити, коли й де можуть виникнути проблеми, що дозволяє приймати превентивні заходи на основі точних прогнозів. Це не тільки знижує ризики, але й підвищує загальну ефективність і економічність процесу зберігання зерна.

Аналіз зернового ринку України

Зерновий ринок є одним із ключових сегментів економіки України, відіграючи важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки та розвитку аграрного сектору. Україна є одним із найбільших виробників зернових в світі, і зерновий ринок є основою для стабільності сільськогосподарського виробництва. Високий рівень виробництва, зокрема пшениці, кукурудзи та ячменю, робить Україну важливим експортером зерна, що впливає на баланс міжнародної торгівлі продовольчими товарами.



Зерновий ринок має значення не тільки для аграрної сфери, але й для економіки країни в цілому. Високий експортний потенціал зернових культур забезпечує надходження валютних коштів, що сприяє зміцненню національної валюти та поліпшенню торгового балансу. Зернові культури є важливим джерелом сировини для харчової, кормової та переробної промисловості, що додає до економічного значення цієї галузі. Крім того, зерновий ринок є потужним стимулом для розвитку транспортної інфраструктури, оскільки зерно потребує ефективних логістичних ланцюгів для своєчасної доставки на ринки, як внутрішні, так і зовнішні.

Зерновий ринок також є важливим чинником соціально-економічного розвитку сільських територій, оскільки більшість українських фермерів займаються виробництвом зернових культур. Розвиток цього ринку стимулює створення робочих місць у сільських місцевостях, покращує умови життя місцевих громад та забезпечує розвиток соціальної інфраструктури. З огляду на значення зернового ринку для української економіки, державна підтримка цієї галузі через програми субсидування, удосконалення технологій та інфраструктури є важливою для сталого економічного зростання.

Основні гравці зернового ринку України включають виробників зернових культур, трейдерів та експортерів, які взаємодіють на різних етапах ланцюга постачання зерна від фермерів до споживачів або міжнародних ринків.

Виробники зерна — це фермери та агрохолдинги, які займаються вирощуванням основних зернових культур, таких як пшениця, кукурудза, ячмінь, соя та інші. Серед найбільших виробників в Україні є як невеликі фермерські господарства, так і великі агропідприємства, які володіють великими земельними масивами і використовують сучасні технології вирощування. Великі агрохолдинги, зокрема, часто інвестують в інноваційні методи обробки земель, автоматизацію та цифровізацію аграрного

виробництва. Приміром, такі компанії як "Миронівський хлібопродукт", "Kernel", "Астарта" та інші є лідерами серед виробників зерна.

Трейдери — це компанії, які здійснюють закупівлю зерна у виробників і займаються його транспортуванням, зберіганням і подальшим продажем, часто на внутрішньому ринку або через експорт. Трейдери мають суттєву роль у забезпеченні доступу до міжнародних ринків та у встановленні цін на зернові культури, оскільки вони взаємодіють з різними сегментами ринку та мають можливість прогнозувати попит та пропозицію. Вони також займаються логістикою і управлінням зерновими потоками, надаючи важливу функцію зберігання і переробки. Ключовими трейдерами на українському ринку є компанії як "Cargill", "Louis Dreyfus Company", "Bunge", "Glencore Agriculture".

Експортери — це організації, які спеціалізуються на вивезенні зерна за кордон. Україна є одним з найбільших експортерів зерна в світі, і експорт зернових є важливою складовою зовнішньої торгівлі країни. Основними експортерами українського зерна є як великі транснаціональні корпорації, так і національні компанії. Оскільки частка експорту зерна в Україні є значною, експорт зерна піддається впливу міжнародних цін на зерно, валютних коливань, а також політичних та економічних факторів. Найбільшими експортерами зерна з України є компанії, такі як "Kernel", "МНР", "Cargill", "Bunge" та інші.

Кожен з цих гравців має важливе значення для зернового ринку України, і їх взаємодія визначає стабільність і розвиток аграрного сектору, а також впливає на конкурентоспроможність країни на світовому ринку зернових.

Україна на світовому ринку зерна: місце та конкурентоспроможність

Україна є одним із провідних гравців на світовому ринку зерна завдяки сприятливим кліматичним умовам, родючим ґрунтам і розвиненій аграрній інфраструктурі. Висока продуктивність сільського господарства, значний експортний потенціал та активна інтеграція у міжнародну торгівлю дозволяють країні утримувати лідерські позиції у виробництві та постачанні зернових культур. Україна входить до п'ятірки найбільших світових експортерів зерна, поступаючись лише США, ЄС, Росії та Бразилії.

Параметр	Опис
Місце України на світовому ринку	- 2-3 місце з експорту ячменю - 3-4 місце з експорту кукурудзи - 5-6 місце з експорту пшениці - Постачання у понад 100 країн світу (ЄС, Близький Схід, Африка, Азія).
Конкурентні переваги	- Родючі чорноземи (25% світових запасів). - Вигідне географічне розташування (близькість до ринків, розвинена портова інфраструктура). - Високий рівень експорту (60% зерна йде на

	експорт). - Сучасні технології (точне землеробство, цифрові системи зберігання та логістики). - Гнучка аграрна політика (інтеграція в міжнародні ринки, державна підтримка).
Основні виклики	- Логістичні проблеми (недостатня розвиненість транспортної та портової інфраструктури). - Кліматичні зміни (посухи, погодні ризики). - Залежність від світових цін (чутливість до коливань ринку). - Конкуренція з іншими країнами (США, Бразилія, Росія).
Перспективи розвитку	- Інвестиції в інфраструктуру (елеватори, транспорт, порти). - Модернізація зберігання (інноваційні методи, автоматизація). - Адаптація до кліматичних змін (стійкі сорти, технології точного землеробства). - Розширення ринків збуту (Азія, Африка, Близький Схід).

Вплив глобалізаційних процесів на зерновий сектор

Глобалізаційні процеси суттєво впливають на зерновий сектор, визначаючи тенденції виробництва, торгівлі та ціноутворення. Відкритість ринків і розширення міжнародної торгівлі сприяють інтеграції України в світову економіку як одного з провідних експортерів зерна. Українські аграрні підприємства дедалі більше залучають іноземні інвестиції, застосовують сучасні технології вирощування та цифрові рішення для оптимізації виробництва. Це сприяє підвищенню врожайності, покращенню логістичних процесів та зміцненню позицій країни на світовому ринку.

Водночас глобалізація створює певні виклики для зернового сектору. Зокрема, зростає залежність від коливань світових цін на зерно, які визначаються факторами попиту та пропозиції, валютними ризиками та торговельними війнами між ключовими гравцями ринку. Крім того, аграрний сектор стає більш вразливим до глобальних кліматичних змін, що спричиняє ризики неврожайів та підвищення собівартості виробництва.

Ще одним наслідком глобалізації є зростаючий тиск на екологічну сталість сільськогосподарського виробництва. Багато країн вводять жорсткіші вимоги щодо екологічних стандартів, що впливає на методи вирощування, зберігання та транспортування зерна. Зокрема, посилюється контроль за використанням пестицидів і добрив, що змушує аграріїв переходити до більш екологічно чистих технологій.

Глобалізаційні процеси сприяють динамічному розвитку зернового сектору, відкриваючи нові можливості для експорту та модернізації

виробництва. Водночас вони створюють виклики, пов'язані з ціновими ризиками, кліматичними змінами та необхідністю адаптації до міжнародних стандартів сталого розвитку. Українські аграрії, зокрема, повинні активно впроваджувати інноваційні технології, удосконалювати логістику та шукати нові ринки збуту, щоб зберігати конкурентоспроможність у глобальній економіці.

Основні зернові культури України

Пшениця: виробництво, урожайність та географія вирощування.

Пшениця є однією з ключових зернових культур в аграрному секторі України. Завдяки сприятливим кліматичним умовам та родючим чорноземам, країна входить до числа світових лідерів з виробництва та експорту цієї культури. Основними регіонами вирощування пшениці є центральні, південні та східні області, зокрема Вінницька, Полтавська, Харківська, Кіровоградська, Запорізька, Одеська та Дніпропетровська області. Урожайність пшениці залежить від кліматичних умов, агротехнологій та використання сучасних методів обробки ґрунту.

Протягом останніх років урожайність пшениці в Україні демонструє позитивну динаміку завдяки впровадженню інтенсивних технологій, застосуванню якісного насіннєвого матеріалу та оптимізації сівозмін. Середня врожайність становить 4,0–4,5 т/га, але в окремих регіонах, де використовуються передові агротехнології, цей показник може сягати 6,0–7,0 т/га.

Урожайність та географія вирощування пшениці в Україні

Регіон	Основні області вирощування	Середня врожайність, т/га	Кліматичні умови
Центральний	Вінницька, Полтавська, Кіровоградська, Черкаська	4,5–5,5	Помірно-континентальний клімат, родючі чорноземи
Південний	Одеська, Херсонська, Миколаївська, Запорізька	3,0–4,5	Посушливий клімат, нестача вологи, ризик засух
Західний	Львівська, Тернопільська, Хмельницька, Волинська	4,0–5,5	Висока кількість опадів, помірна температура
Східний	Харківська, Донецька, Луганська	3,5–5,0	Континентальний клімат, періодичні посухи

Північний	Київська, Житомирська, Сумська, Чернігівська	4,0–5,2	Висока вологість, середньо- континентальний клімат
-----------	---	---------	---

Середня врожайність пшениці в Україні залежить від регіону, кліматичних умов, типу ґрунту та рівня застосування агротехнологій. Найвищі показники врожайності спостерігаються в центральних та західних регіонах, де поєднуються родючі ґрунти та достатня кількість опадів. У південних та східних регіонах врожайність часто знижується через посухи та високу температуру в період вегетації.

Види пшениці та їх ринки збуту

Пшениця поділяється на два основні види за призначенням:

- **Продовольча пшениця** (тверді та м'які сорти) використовується у виробництві борошна, круп, макаронних виробів та хлібопекарській промисловості. Найвищий попит мають сорти з високим вмістом білка та клейковини, що забезпечують високу якість хлібобулочних виробів. Основними ринками збуту української продовольчої пшениці є країни Європейського Союзу, Північної Африки та Азії.
- **Фуражна пшениця** використовується переважно в тваринництві для виробництва комбикормів. Вона містить менше білка і має нижчі хлібопекарські характеристики, але є цінним джерелом енергії для сільськогосподарських тварин. Основними споживачами української фуражної пшениці є Китай, Іспанія, Південна Корея, Туреччина та країни Близького Сходу.

Експортна стратегія України щодо пшениці

Україна займає провідні позиції у світовому експорті пшениці, забезпечуючи значну частину глобального продовольчого балансу. Основними принципами експортної стратегії країни є диверсифікація ринків збуту, зниження залежності від окремих покупців, розвиток логістичної інфраструктури та відповідність міжнародним стандартам якості.

Одним із ключових аспектів експортної політики є забезпечення стабільності поставок, що передбачає ефективну систему прогнозування врожайності, контроль за якістю зерна та вдосконалення транспортної логістики. Важливу роль у підвищенні конкурентоспроможності української пшениці відіграє адаптація до міжнародних екологічних стандартів, зокрема щодо зменшення залишків пестицидів та використання стійких сортів.

Україна активно розширює співпрацю з країнами Азії, Африки та Латинської Америки, що дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з коливаннями попиту в Європі. Крім того, значна увага приділяється використанню цифрових технологій для моніторингу якості та

простежуваності зерна, що підвищує довіру міжнародних партнерів та сприяє розвитку довгострокових контрактів на постачання пшениці.

Кукурудза в Україні: виробництво, ринки збуту та основні покупці

Динаміка виробництва та основні регіони вирощування

Кукурудза є однією з найважливіших зернових культур України, демонструючи стабільне зростання виробництва протягом останніх років. Основними факторами, що сприяють розвитку галузі, є родючі чорноземи, сприятливий клімат та вдосконалення агротехнологій.

За останнє десятиліття площі під кукурудзою зросли до 5 млн га, що становить близько 30% від загальних посівних площ зернових. Основні регіони вирощування кукурудзи включають:

- Центральний регіон (Полтавська, Черкаська, Кіровоградська області) – найбільша врожайність завдяки родючим ґрунтам та оптимальному рівню вологи.
- Північний регіон (Сумська, Чернігівська, Київська області) – стабільні врожаї за рахунок достатньої кількості опадів.
- Західний регіон (Хмельницька, Тернопільська, Волинська області) – нарощування виробництва через покращення технологій.
- Південний та східний регіони (Одеська, Дніпропетровська, Запорізька області) – врожайність нижча через дефіцит вологи, проте активно використовуються зрошувальні системи.

За останні роки середня врожайність кукурудзи коливається в межах 6–8 т/га, що відповідає рівню провідних світових виробників.

Динаміка виробництва та основні регіони вирощування кукурудзи в Україні

Рік	Посівні площі, млн га	Валовий збір, млн тонн	Середня врожайність, т/га	Основні регіони вирощування
2020	5,4	30,3	5,6	Полтавська, Черкаська, Київська, Вінницька, Сумська області
2021	5,5	40,0	7,3	Полтавська, Черкаська, Кіровоградська, Хмельницька, Вінницька області
2022	4,6	27,3	5,9	Черкаська, Вінницька, Хмельницька, Сумська, Київська області
2023	4,3	30,5	7,1	Полтавська, Вінницька, Хмельницька, Кіровоградська, Київська області

- Найбільша врожайність спостерігалася у 2021 та 2023 роках, що пов'язано з покращенням агротехнологій та сприятливими погодними умовами.
- Посівні площі скорочуються після 2021 року через військові дії та зміни логістичних маршрутів.
- Основні регіони вирощування традиційно розташовані в Центральній та Північній Україні, оскільки там оптимальні умови для отримання високих врожайів.
- 2022 рік показав зниження валового збору через зміну кліматичних умов та зменшення оброблюваних площ.

Україна залишається одним із провідних виробників кукурудзи у світі, забезпечуючи значні обсяги експорту, незважаючи на виклики, пов'язані з економічною ситуацією та погодними умовами.

Попит на кукурудзу на внутрішньому та зовнішньому ринках

В Україні кукурудза є важливою культурою для тваринництва та біоенергетики. Внутрішній попит на кукурудзу формується такими секторами:

- Виробництво комбікормів – основне джерело корму для тваринництва та птахівництва.
- Переробка на біоетанол – зростаючий напрямок, що підтримується державними програмами.
- Харчова промисловість – використовується у виготовленні кукурудзяного крохмалю, олії та круп.

Щодо зовнішнього ринку, Україна входить до топ-5 світових експортерів кукурудзи, поступаючись лише США, Бразилії та Аргентині. Близько 70% урожаю кукурудзи експортується, що робить культуру ключовим продуктом зовнішньої торгівлі.

Основні покупки української кукурудзи

Основними імпортерами української кукурудзи є країни Азії, Європи та Близького Сходу. Серед ключових покупців:

- Китай – найбільший споживач, закуповує понад 30% експорту, використовуючи кукурудзу для кормів і продовольчих потреб.
- Європейський Союз (Іспанія, Нідерланди, Італія) – стабільний ринок збуту для української кукурудзи завдяки вигідній логістиці та високій якості продукції.
- Єгипет, Туреччина та Іран – основні покупці у регіоні Близького Сходу, що використовують кукурудзу переважно для тваринництва.
- Південна Корея, Японія та В'єтнам – перспективні ринки, що демонструють зростаючий попит через розвиток тваринницького сектору.

Загалом, Україна продовжує зміцнювати позиції на світовому ринку кукурудзи, нарощуючи виробництво та розширюючи географію експорту, що забезпечує стабільні валютні надходження та економічний розвиток аграрного сектору.

Ячмінь: специфіка вирощування та використання

Ячмінь – одна з ключових зернових культур України, що має широке застосування у продовольчій, кормовій та пивоварній промисловості.

Специфіка вирощування

- Кліматичні умови. Ячмінь є посухостійкою культурою, що добре адаптується до різних кліматичних зон, однак найкращі врожаї отримують у степовій та лісостеповій зонах.
- Ґрунтові вимоги. Найкраще росте на родючих суглинкових і чорноземних ґрунтах, з нейтральною або слабколужною реакцією.
- Технологія вирощування:
 - Осіння оранка або мінімальний обробіток ґрунту.
 - Використання адаптованих сортів озимого та ярого ячменю.
 - Оптимальні терміни сівби: озимий ячмінь висівають у вересні-жовтні, ярий – у березні-квітні.
 - Внесення мінеральних добрив, особливо азотних, для підвищення врожайності.
 - Контроль шкідників та хвороб, особливо грибкових уражень.

Використання ячменю

Кормовий ячмінь – використовується у тваринництві, зокрема для виготовлення комбикормів через високий вміст білка та клітковини.

Пивоварний ячмінь – застосовується у виробництві солоду для пивоварної та спиртової промисловості.

Продовольчий ячмінь – використовується для виробництва круп (перлова, ячна) та борошна.

Експортний потенціал – Україна є одним із ключових експортерів ячменю на світовому ринку, з основними покупцями у країнах Близького Сходу та Північної Африки.

Перспективи розвитку експорту ячменю

Фактор	Опис	Вплив на експорт
Зростання світового попиту	Країни Близького Сходу, Північної Африки та Азії збільшують закупівлі ячменю для кормових і пивоварних потреб.	Збільшення експортних обсягів та можливість диверсифікації ринків збуту.
Конкурентоспроможність українського ячменю	Висока якість зерна та відповідність міжнародним стандартам.	Покращення позицій на світовому ринку, особливо серед основних споживачів.
Розвиток логістичної інфраструктури	Модернізація портів, покращення залізничного та	Зменшення витрат на транспортування та

	автомобільного транспорту.	скорочення строків доставки.
Диверсифікація ринків збуту	Пошук нових партнерів у країнах Азії, Латинської Америки та Африки.	Зменшення залежності від традиційних імпортерів та збільшення стабільності експорту.
Інноваційні технології у виробництві	Використання високоврожайних та посухостійких сортів, оптимізація сівозміни.	Підвищення врожайності та стабільності виробництва, що сприятиме зростанню експорту.
Кліматичні ризики	Зміни клімату можуть впливати на урожайність, особливо в південних регіонах.	Потенційні коливання обсягів експорту через посухи та екстремальні погодні умови.
Конкуренція на світовому ринку	Основні конкуренти – ЄС, Австралія, Росія.	Необхідність впровадження маркетингових стратегій та підвищення ефективності виробництва.
Екологічні вимоги	Посилення екологічних стандартів у ЄС та інших країнах.	Потреба адаптації виробничих процесів для відповідності міжнародним вимогам.
Політичні та економічні фактори	Геополітичні зміни, торговельні угоди та регуляторні бар'єри.	Вплив на доступ до ринків, умови експорту та вартість продукції.
Перспективи розвитку біотехнологій	Використання нових методів обробки зерна, покращення стійкості до шкідників і хвороб.	Зменшення втрат під час зберігання та транспортування, покращення якості продукції.

Україна входить до ТОП-5 експортерів ячменю у світі. Країна має значний потенціал для розвитку експорту ячменю, проте необхідно враховувати глобальні виклики та адаптувати виробничо-експортні стратегії для підвищення конкурентоспроможності.

Інші культури (соя, жито, овес, просо): роль у загальному балансі зернового ринку та особливості реалізації й експорту

Роль у загальному балансі зернового ринку

Соя, жито, овес та просо є важливими елементами зернового сектора України, доповнюючи основні культури, такі як пшениця, кукурудза та ячмінь. Вони відіграють значну роль у забезпеченні внутрішнього споживання, розвитку тваринництва та створенні доданої вартості в харчовій промисловості. Крім того, ці культури поступово набирають вагу в експортній структурі країни завдяки зростаючому попиту на світовому ринку та розширенню торговельних партнерств.

Соя є важливою білковою культурою, що використовується у виробництві кормів для тварин та харчових продуктів. Україна є одним із провідних виробників сої у Європі, а її частка в структурі експорту агропродукції постійно зростає.

Жито традиційно застосовується у виробництві борошна та кормів, хоча останнім часом площі його посіву зменшуються через зниження попиту на внутрішньому ринку.

Овес має значний потенціал як культура для виробництва кормів і здорового харчування, але його виробництво залишається відносно невеликим.

Просо вирощується переважно для внутрішнього споживання, особливо у виробництві круп, однак у деяких сезонах частина врожаю експортується.

Особливості реалізації та експорту

Реалізація та експорт цих культур залежать від попиту на світовому ринку, внутрішнього споживання та інфраструктурних можливостей.

Соя

- Основними ринками збуту є країни Європейського Союзу, Туреччина та Китай.
- Значна частка експортується у вигляді соєвих бобів, однак є тенденція до розвитку переробної галузі та експорту соєвого шроту та олії.
- Україна має перспективи розширення виробництва ГМО-вільної сої, що є конкурентною перевагою на європейському ринку.

Жито

- Попит на жито в Україні поступово знижується через скорочення його використання у виробництві хліба.
- Основні країни-імпортери українського жита – Польща, Німеччина та країни Балтії.

- Жито має перспективи розвитку як культура для біоенергетики, що може стимулювати попит на міжнародному ринку.

Овес

- В Україні овес переважно використовується у кормовій промисловості та для виробництва харчових продуктів.
- Головними імпортерами українського вівса є країни ЄС, зокрема Німеччина та Польща.
- Попит на овес зростає через тренд на здорове харчування, що відкриває нові можливості для експорту.

Просо

- Експорт проса здійснюється переважно до країн Африки та Азії, де воно є важливою частиною раціону.
- В Україні культура використовується для виробництва пшона, проте площі під її вирощуванням залишаються нестабільними.
- Основний виклик для експорту – забезпечення стабільної якості зерна та сертифікації відповідно до міжнародних вимог.

Соя, жито, овес і просо відіграють важливу роль у забезпеченні агропромислового комплексу України. Вони мають різний рівень експортної орієнтації, проте загальні тенденції свідчать про потенціал їх подальшого розвитку, особливо в контексті пошуку нових ринків збуту та покращення технологій виробництва.

Динаміка виробництва зерна в Україні

Україна є одним із провідних світових виробників та експортерів зерна, а зерновий сектор відіграє ключову роль у національній економіці. Динаміка виробництва зернових культур за останні роки демонструє певні коливання, зумовлені як внутрішніми, так і зовнішніми чинниками, включаючи погодні умови, зміни в структурі посівних площ, рівень державної підтримки та глобальну кон'юнктуру ринку.

Статистичні показники виробництва зернових за останні роки

Згідно з офіційними даними, виробництво зернових в Україні має циклічний характер, що залежить від агрометеорологічних умов, технологій вирощування та глобального попиту. В останні роки (з 2020 року) спостерігалися наступні тенденції.

2020 рік – валовий збір зернових становив приблизно **65 млн тонн**, що було нижчим за рекордний показник 2019 року через посушливі умови в центральних та південних областях.

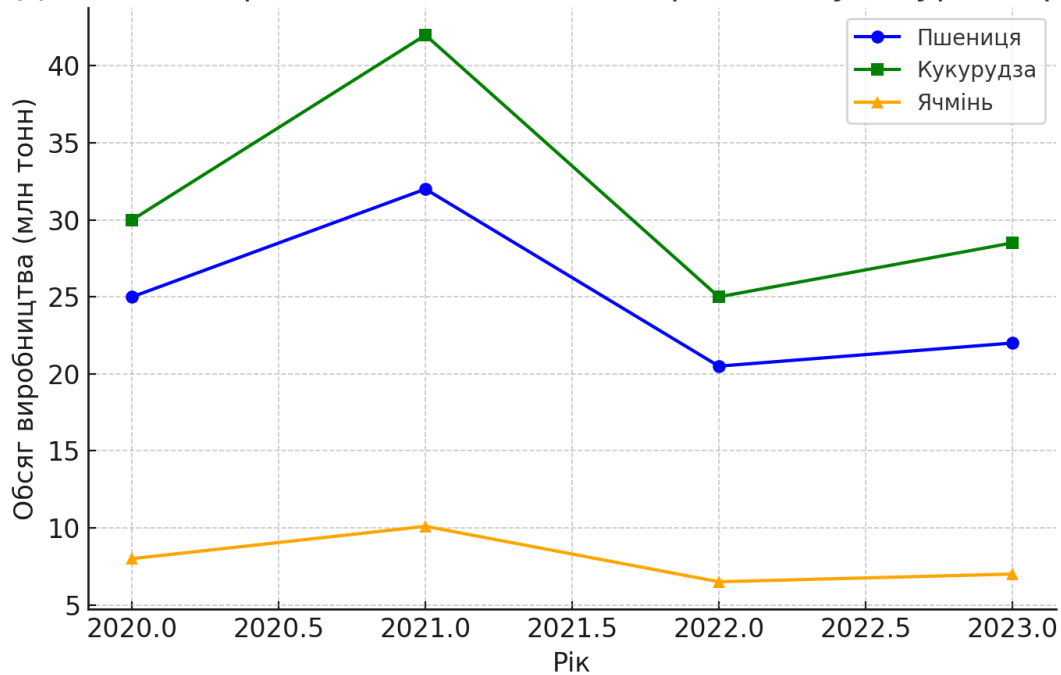
2021 рік – урожайність суттєво покращилася, і загальний обсяг виробництва зерна сягнув **86 млн тонн**, що стало рекордним показником.

2022 рік – через військові дії та порушення логістичних ланцюгів площі під зерновими культурами скоротилися, що призвело до зменшення валового збору приблизно до **53 млн тонн**.

2023 рік – попри складні умови, відбулося часткове відновлення посівних площ, і очікуваний урожай склав близько **57-60 млн тонн**, що свідчить про адаптацію аграрного сектору до нових викликів.

Структурно найбільшу частку в загальному виробництві зернових займають кукурудза, пшениця та ячмінь. Кукурудза залишається лідером за обсягами вирощування, тоді як пшениця є основною культурою для продовольчих потреб та експорту.

Динаміка виробництва основних зернових культур в Україні



Вплив кліматичних змін на урожайність

Кліматичні зміни суттєво впливають на урожайність зернових культур в Україні, що особливо помітно в останні десятиліття. Основні кліматичні фактори, що впливають на врожайність.

- Зростання середньорічних температур. Призводить до скорочення вегетаційного періоду зернових культур. Викликає підвищене випаровування вологи, що негативно впливає на продуктивність рослин.
- Зміна режиму опадів. В останні роки спостерігається тенденція до зменшення кількості опадів у критичні періоди вегетації зернових культур. Посухи в центральних та південних регіонах значно знижують потенційну урожайність пшениці та кукурудзи.
- Частота екстремальних погодних явищ. Град, буревії та аномальні температурні коливання спричиняють фізичне пошкодження рослин, що знижує якість зерна. Підвищена вологість у період дозрівання сприяє розвитку грибкових захворювань та появі мікотоксинів у зерновій масі.
- Зміни в розподілі агрокліматичних зон. Внаслідок потепління відбувається поступове зміщення зон вирощування культур: північні області починають

використовувати нові технології для вирощування теплолюбних культур, тоді як південні регіони зіштовхуються з проблемою дефіциту вологи.

З урахуванням цих викликів аграрний сектор активно впроваджує адаптаційні заходи, зокрема **краплинне зрошення, стійкі до посухи сорти зернових, технології точного землеробства** та оптимізацію сівоzmіни.

Державна підтримка зернового сектору

В Україні реалізується низка програм державної підтримки, спрямованих на стабілізацію зернового виробництва та розвиток інфраструктури аграрного ринку. Основні напрямки державної політики.

- Фінансова підтримка агровиробників. Державні дотації та субсидії на придбання насіння, засобів захисту рослин та добрив. Пільгове кредитування та програми часткової компенсації вартості сільськогосподарської техніки.
- Розвиток інфраструктури та логістики. Модернізація зернових терміналів та портів для підвищення ефективності експорту. Будівництво та оновлення елеваторних комплексів із сучасними системами зберігання.
- Адаптація до кліматичних змін. Фінансування програм зрошення та меліорації в південних регіонах. Розвиток наукових досліджень у сфері створення нових сортів зернових з підвищеною посухостійкістю.
- Підтримка міжнародної торгівлі. Розширення торговельних угод із країнами ЄС, Азії та Близького Сходу. Впровадження європейських стандартів якості для підвищення конкурентоспроможності українського зерна.
- Стимулювання цифровізації агросектору. Впровадження електронних систем моніторингу стану зернових культур. Використання штучного інтелекту для аналізу даних щодо продуктивності полів та ефективності агротехнологій.

Державна підтримка зернового сектору є ключовим фактором стабільного розвитку галузі. Незважаючи на складні геополітичні умови та виклики, пов'язані зі зміною клімату, завдяки активному впровадженню новітніх технологій та фінансових стимулів Україна зберігає свої позиції серед світових лідерів з експорту зерна.

Експортний потенціал зернової галузі України

Основні напрямки експорту зерна

Україна є одним із найбільших експортерів зерна у світі, постачаючи продукцію до понад 100 країн. Основними напрямками експорту залишаються Європейський Союз, Китай, країни Близького Сходу та Африки. ЄС є найбільшим покупцем українського зерна завдяки географічній близькості та лібералізації торговельних відносин у рамках Угоди про асоціацію. Китай стабільно збільшує імпорт кукурудзи та пшениці з України, що зумовлено

високим внутрішнім попитом та обмеженням імпорту з інших країн через торговельні суперечки.

Країни Близького Сходу та Африки є стратегічними ринками збуту через високу залежність від імпорту продовольства. ОАЕ, Єгипет та Саудівська Аравія закупають значні обсяги української пшениці, ячменю та кукурудзи. Водночас логістичні виклики та проблеми транспортування значно впливають на ефективність поставок. Україна експортує зерно через порти Чорного моря, однак військові ризики, інфраструктурні обмеження та висока вартість фрахту ускладнюють експортні операції.

Конкуренція на світовому ринку зерна

Україна конкурує на світовому ринку зерна з такими країнами, як США, Канада, Росія та Аргентина. США мають розвинену аграрну інфраструктуру, високі обсяги виробництва та підтримку держави, що робить їх лідерами у постачанні кукурудзи та пшениці. Канада відома експортом високоякісної пшениці та ячменю, які мають стабільний попит на міжнародних ринках.

Росія є основним конкурентом України на ринку пшениці, завдяки масштабному виробництву та активній державній підтримці експорту. Аргентина спеціалізується на постачанні фуражного зерна, зокрема кукурудзи та ячменю, що створює додатковий тиск на українських експортерів.

Вплив світових цін на експорт зерна є визначальним фактором конкурентоспроможності України. Зміни котирувань на світових біржах, політичні чинники та коливання валютних курсів безпосередньо впливають на обсяги експорту. Останніми роками спостерігається зростання попиту на органічне та екологічно чисте зерно, що відкриває додаткові можливості для українських виробників.

Державне регулювання експорту зерна

Держава відіграє важливу роль у регулюванні експорту зернових культур. Квоти та обмеження застосовуються для стабілізації внутрішнього ринку, особливо у періоди низького врожаю або високих цін на продовольство. Уряд України періодично встановлює експортні квоти та митні збори, щоб запобігти дефіциту зерна на внутрішньому ринку.

Вплив міжнародних торговельних угод є важливим аспектом експортної політики. Україна активно співпрацює з ЄС у межах Зони вільної торгівлі, що сприяє зростанню експорту. Крім того, участь у Світовій організації торгівлі (СОТ) допомагає Україні захищати свої інтереси на міжнародному рівні. Водночас посилення екологічних вимог та введення фітосанітарних стандартів у різних країнах може створювати додаткові виклики для українських експортерів.

Україна має значний потенціал для подальшого розвитку експорту зерна, однак ефективність поставок залежить від стабільності ринкових умов, модернізації логістичної інфраструктури та впровадження сучасних технологій контролю якості продукції.

Цінові тенденції на зерновому ринку

Внутрішні та світові фактори, що впливають на ціноутворення

Ціни на зерно формуються під впливом як внутрішніх, так і глобальних факторів. До внутрішніх чинників належать:

- Врожайність та виробничі витрати – зміни у собівартості вирощування зернових культур (паливо, добрива, засоби захисту рослин, оренда землі) суттєво впливають на кінцеву ціну продукції.
- Попит на внутрішньому ринку – рівень споживання зерна в Україні, розвиток переробної галузі, потреби тваринництва та харчової промисловості визначають динаміку цін.
- Курсові коливання гривні – оскільки зерно є експортно-орієнтованим продуктом, зміни валютного курсу безпосередньо впливають на його вартість.

До світових чинників належать:

- Глобальна пропозиція та попит – основні виробники та споживачі зерна (США, ЄС, Китай, Бразилія) впливають на баланс ринку.
- Кліматичні умови та природні катаклізми – засухи, повені та аномальні погодні явища можуть різко змінювати врожайність та, відповідно, рівень цін.
- Геополітичні фактори – санкції, торговельні обмеження, війни та зміни політичного середовища впливають на обсяги експорту та доступ до міжнародних ринків.

Роль біржових котирувань у формуванні цін

Ціни на зернові культури значною мірою залежать від котирувань на міжнародних біржах.

- Чиказька товарна біржа (Chicago Board of Trade, CBOT) – ключовий майданчик для торгівлі пшеницею, кукурудзою та соєю. Контракти, укладені на CBOT, визначають орієнтовну вартість зерна для багатьох країн, включаючи Україну.
- Euronext (Matif) – європейська біржа, де формуються ціни на зернові культури, особливо на ринку ЄС.

Біржові котирування є орієнтиром для трейдерів та фермерів, впливаючи на експортні ціни та контракти. Висока волатильність біржових індексів може спричиняти суттєві цінові коливання на українському ринку.

Сезонність змін цін на зерно

Період	Цінова динаміка	Основні причини змін
Липень – Вересень (Період збирання врожаю)	Зниження цін	Масове надходження зерна на ринок, збільшення пропозиції, активізація продажів агровиробниками через потребу у фінансах.

Жовтень – Грудень (Стабілізація ринку)	Стабільність або незначне зростання	Основні обсяги зерна закладаються на зберігання, трейдери укладають перші великі експортні контракти, стабілізується баланс попиту та пропозиції.
Січень – Квітень (Зимовий період, активний експорт)	Поступове зростання цін	Зменшення пропозиції на внутрішньому ринку, активізація експорту, зростання попиту у зовнішніх покупців.
Травень – Червень (Очікування нового врожаю)	Цінові коливання	Формування нових контрактів, погодні ризики, вплив прогнозів на врожайність, можливі тимчасові дефіцити зерна на ринку.

Ціни на зерно протягом року змінюються за чітким сезонним циклом. Сезонна динаміка цін може змінюватися під впливом погодних умов, експортного попиту та державного регулювання.

Прогнози щодо цінової політики у майбутньому

Аналітики прогнозують підвищену волатильність на ринку зернових через глобальні економічні та політичні фактори. Основні тенденції включають:

- Зростання попиту на продовольче зерно через збільшення населення світу.
- Посилення конкуренції між експортерами (США, ЄС, Україна, Росія, Аргентина).
- Підвищення цін через зміни клімату та зниження врожайності в окремих регіонах.
- Впровадження нових регуляторних вимог (екологічні стандарти, обмеження на використання добрив та засобів захисту рослин).

Загалом, цінова динаміка зернового ринку залежатиме від поєднання економічних, кліматичних та геополітичних факторів.

Логістика та інфраструктура зернового ринку

Стан зерносклади та терміналів в Україні

Зерносклади є критично важливим елементом зернової інфраструктури України. Наразі загальна ємність елеваторних потужностей становить приблизно 60-75 млн тонн, тоді як середньорічне виробництво зернових перевищує 80 млн тонн. Це створює дефіцит зберігання, особливо в періоди активного збору врожаю.

Основні типи зерноскладів в Україні.

- Металеві силоси – сучасні автоматизовані комплекси для довготривалого зберігання.

- Наземні склади (ангарного типу) – менш ефективні, потребують покращення вентиляції та контролю якості.
- Портові термінали – забезпечують швидке перевантаження зерна на морські судна, зосереджені в портах Одеси, Чорноморська, Миколаєва та інших.

Транспортні маршрути: залізничні, автомобільні, морські перевезення. Логістика зерна в Україні представлена декількома основними видами транспорту.

- Залізничні перевезення – займають понад 60% експорту зерна. Основні проблеми: нестача вагонів-зерновозів, недостатня пропускна спроможність інфраструктури.
- Автомобільний транспорт – швидкий, але обмежений у великих обсягах. Основні проблеми: зношеність доріг, вагові обмеження.
- Морські перевезення – головний канал експорту (понад 90% усього вивезеного зерна). Основні порти: Одеса, Чорноморськ, Південний, Миколаїв, Маріуполь.

Вплив портової інфраструктури на експортний потенціал.

Українські порти мають ключове значення для експорту зерна, забезпечуючи вихід на глобальні ринки. Основні аспекти розвитку портової логістики. Модернізація зернових терміналів – збільшення потужностей перевалки (до 80-90 млн тонн/рік). Будівництво нових логістичних центрів – оптимізація витрат та зменшення затримок. Розширення залізничного сполучення – забезпечення безперебійної доставки зерна до портів.

Використання цифрових технологій у логістиці зерна

Сучасні цифрові рішення дозволяють оптимізувати транспортні процеси та покращити контроль якості зерна. Автоматизовані системи управління логістикою (TMS, ERP) – дозволяють відстежувати маршрути та ефективно планувати перевезення. Іот-технології – застосування датчиків для контролю температури та вологості під час транспортування. Блокчейн у зерновій логістиці – забезпечує прозорість ланцюга поставок та запобігає шахрайству. Електронні платформи та онлайн-аукціони – спрощують процес продажу та транспортування зерна.

Розвиток логістики та інфраструктури є одним із ключових факторів підвищення конкурентоспроможності України на світовому зерновому ринку.

Виклики та перспективи розвитку зернового ринку України

Екологічні виклики: зміна клімату, деградація ґрунтів. Український зерновий ринок значною мірою залежить від природно-кліматичних умов. Основні екологічні виклики включають.

Зміна клімату – зростання середньорічної температури, зменшення кількості опадів у ключових зернових регіонах (Центральна та Південна Україна) призводять до посух та зниження врожайності.

Деградація ґрунтів – інтенсивне землеробство без належного відновлення родючості призводить до виснаження ґрунтів. Недостатнє застосування органічних добрив та порушення сівозміни погіршують якість ґрунтів.

Засолення та ерозія – унаслідок неправильного використання зрошувальних систем, що впливає на продуктивність сільськогосподарських земель.

Для подолання екологічних викликів необхідне впровадження точного землеробства, використання стійких сортів зернових культур та оптимізація водних ресурсів.

Економічні та політичні ризики.

Український зерновий ринок стикається з серйозними макроекономічними та політичними ризиками.

Інфляція та коливання валютного курсу – впливає на вартість виробництва, логістики та експорту.

Воєнні дії – порушення логістичних ланцюгів, знищення інфраструктури, обмежений доступ до частини аграрних земель на сході та півдні країни.

Міжнародні санкції та торговельні обмеження – обмеження доступу до окремих ринків або ускладнення умов експорту через політичні фактори.

Зростання вартості ресурсів – зростання цін на добрива, паливо, насіння та техніку збільшує собівартість зернової продукції.

Перспективи розвитку зернового ринку

Впровадження нових технологій у вирощуванні та зберіганні зерна

- Використання точного землеробства – автоматизовані системи внесення добрив і ЗЗР на основі супутникових даних.
- Розвиток цифрових платформ – моніторинг стану посівів, онлайн-продаж зерна.
- Автоматизація зерноскладів – контроль вологості, температури та якості зерна у режимі реального часу.

Розширення географії експорту

- Збільшення поставок до країн Азії, Африки та Латинської Америки.
- Розвиток логістичних маршрутів – модернізація портів, розширення залізничної інфраструктури для експорту через європейські країни.
- Підписання нових торговельних угод для зменшення бар'єрів у міжнародній торгівлі.

Перехід до більш сталого ведення агробізнесу

- Впровадження екологічних методів ведення господарства – органічне землеробство, зменшення використання хімічних засобів захисту рослин.
- Збереження ґрунтових ресурсів – мінімальний обробіток ґрунту, сидерати, відновлення природних екосистем.
- Використання альтернативних джерел енергії (сонячні, біогазові установки) для зменшення вуглецевого сліду зернового виробництва.

Український зерновий ринок має значний потенціал для розвитку, але потребує адаптації до сучасних викликів, ефективного державного регулювання та активного залучення інноваційних технологій.

Лабораторна робота 1

Вплив параметрів сушіння та режимів мікрохвильового сушіння на зберігання зернової сировини

Мета: встановити вплив параметрів сушіння та режимів мікрохвильового сушіння на зберігання зернової сировини.

Об'єкт вивчення: зерно різних культур.

Предмет вивчення: параметри сушіння.

1

Вплив параметрів сушіння



Теоретична інформація.

Швидкість сушіння є одним з параметрів режиму сушіння, що впливають на якість зерна. При штучній сушці зерна, через її високу швидкість, часто відбувається його пошкодження, яке виражається в появі тріщин на поверхні самого зерна або всередині нього що, в свою чергу, негативно позначається на якості борошна, яке перемелюють з зерна з тріщинами. Щоб не допустити появи тріщин, необхідно уважно стежити за температурою сушильного агента, а також за рівнем вологості зерна на кожен пропуск через сушарку, не допускаючи його підвищення. Підвищена швидкість сушіння зерна веде до появи тріщин в ендоспермі, в результаті чого руйнується структура зерна при його зберіганні і транспортуванні. Чим вище температура сушильного агента і більше подача повітря, тим більше тріщин утворюється на поверхні зерна. Встановлено, що при відносній вологості повітря, що становить 19-14%, з'являється найбільшу кількість тріщин, однак, якщо сушка починається при більш високій вологості, то число тріщин збільшується в кілька разів. Крім того, прискорене охолодження вже висушеного зерна також збільшує число утворюються тріщин. Для запобігання появи тріщин на поверхні зерна, його слід сушити на досить низькій швидкості, а охолоджувати - в силосах з вентиляцією.

Параметри сушіння зерна наведено в таблиці. Ця таблиця допомагає врахувати ключові аспекти сушіння зерна, які впливають на його якість і збереження.

Параметр	Опис	Оптимальне значення (залежить від типу зерна)
Температура сушіння	Температура агента сушіння, яка впливає на швидкість видалення вологи та якість зерна.	40–60°C для насіння, 60–90°C для продовольчого зерна.
Вологість вхідного зерна	Початкова вологість зернової маси, що визначає тривалість сушіння.	18–30% (в залежності від умов збирання та типу зерна).
Вологість вихідного зерна	Кінцева вологість після сушіння, необхідна для зберігання без псування.	13–14% для продовольчого зерна, 12% для насіння.
Швидкість потоку агента сушіння	Інтенсивність подачі повітря або газу через зернову масу, що впливає на ефективність процесу.	0,5–2,5 м³/хв на 1 тону зерна.
Тривалість сушіння	Час, необхідний для досягнення оптимальної вологості зерна.	Від 2 до 8 годин залежно від типу зерна та методу сушіння.
Тип агента сушіння	Вид газу чи повітря, що використовується для сушіння.	Повітря, нагріте в сушарках, або газу, безпечні для харчових продуктів.
Рівномірність сушіння	Показник рівномірності видалення вологи по всьому об'єму зерна.	Не повинно перевищувати розбіжності у 1–2% вологості.
Витрати енергії	Обсяг енергії, необхідний для сушіння 1 тону зерна.	800–1500 МДж/т (залежно від технології та обладнання).
Пошкодження зерна	Частка зерна, що пошкоджується через перегрів або механічний вплив під час сушіння.	Не більше 1–2% пошкоджених зерен.
Вміст токсичних речовин	Рівень шкідливих речовин, які можуть виникнути через неправильний вибір агента сушіння.	Відповідає нормативам безпеки.

Вплив параметрів сушіння на зберігання зернової сировини

Параметр сушіння	Вплив на зберігання зерна	Рекомендації для оптимального зберігання
Температура сушіння	Занадто висока температура може спричинити перегрів і пошкодження зерна, зменшити схожість насіння.	Підбирати температуру залежно від типу зерна: не перевищувати 40–60°C для насіння і 60–90°C для кормового зерна.
Вологість після сушіння	Висока вологість може призвести до розвитку цвілі, комах і мікотоксинів, а надмірно низька — до крихкості зерна.	Забезпечити кінцеву вологість 13–14% для продовольчого зерна, 12% для насіння.
Тривалість сушіння	Нерівномірне або занадто коротке сушіння призводить до збереження зон із підвищеною вологістю, що сприяє псуванню зерна.	Контролювати рівномірність сушіння, забезпечуючи достатню тривалість процесу.
Швидкість потоку агента сушіння	Низька швидкість потоку може призвести до нерівномірного видалення вологи, висока — до травмування зерна.	Оптимальна швидкість повітря: 0,5–2,5 м³/хв на 1 тону зерна.
Рівномірність сушіння	Нерівномірність сушіння сприяє виникненню зон підвищеної вологості, які швидко псуються під час зберігання.	Використовувати сучасне обладнання для забезпечення рівномірності сушіння.
Витрати енергії	Занадто низькі витрати енергії можуть свідчити про недостатнє сушіння, що збільшує ризик псування під час зберігання.	Підтримувати баланс між економією енергії та якісним сушінням.
Пошкодження зерна	Травмоване зерно підвищує ризик розвитку патогенних мікроорганізмів і знижує загальну якість зерна.	Уникати травмування за рахунок оптимальних умов сушіння та якісного обладнання.
Тип агента сушіння	Забруднений або токсичний агент сушіння може спричинити погіршення якості зерна і появу шкідливих речовин.	Використовувати тільки екологічно чисті агенти сушіння, сертифіковані для харчового використання.

Вплив параметрів сушіння на мікрофлору зернової сировини

Параметр сушіння	Вплив на мікрофлору зернової сировини	Рекомендації для мінімізації негативного впливу
Температура сушіння	Висока температура знищує більшість патогенних мікроорганізмів і грибів, але може активувати термофільну мікрофлору.	Контролювати температуру: 40–60°C для збереження насіння, до 90°C для кормового зерна.
Вологість після сушіння	Залишкова вологість понад 14% створює сприятливе середовище для розвитку грибів і бактерій.	Досягати залишкової вологості не більше 13–14% для продовольчого зерна, 12% для тривалого зберігання.
Тривалість сушіння	Занадто короткий час сушіння залишає мікрофлору життєздатною, особливо у вологих зонах зернової маси.	Забезпечити достатню тривалість сушіння, щоб рівномірно обробити всю масу зерна.
Рівномірність сушіння	Нерівномірне сушіння призводить до збереження зон із підвищеною вологістю, сприяючи розвитку плісняви.	Використовувати сучасне обладнання для рівномірного видалення вологи з усієї зернової маси.
Швидкість потоку агента сушіння	Повільний потік може залишити частину мікрофлори активною, занадто швидкий — пошкодити оболонку зерна, сприяючи зараженню.	Забезпечити оптимальну швидкість повітря для ефективного сушіння без травмування зерна.
Тип агента сушіння	Забруднене або токсичне повітря може сприяти додатковому зараженню зерна мікроорганізмами.	Використовувати чистий агент сушіння, який відповідає санітарно-гігієнічним вимогам.
Пошкодження зерна	Механічні пошкодження оболонки зерна створюють середовище для проникнення патогенних мікроорганізмів.	Знижувати ризик пошкодження зерна за допомогою налаштування температури й обладнання.
Початковий рівень контамінації	Високий рівень забруднення мікрофлорою до сушіння зменшує ефективність процесу знезараження.	Попереднє очищення зерна від забруднень і домішок для зменшення початкового рівня контамінації.

Таблиця демонструє взаємозв'язок параметрів сушіння із розвитком і зниженням мікрофлори в зерновій масі, а також рекомендації для забезпечення максимальної якості сировини під час сушіння.



Послідовність виконання роботи

- 1.1.1 Ознайомитись з інформацією наведеною у теоретичній частині.
- 1.1.2 Згідно варіанту провести теплову обробку зерна, визначити його час (τ) нагрівання та вологість наприкінці сушіння за умов, які наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.1- Завдання для експериментальних досліджень параметрів сушіння зерна

№ з/п	Маса зерна, г	t нагрівання зерна, С°	t закінчення сушіння, С°	τ нагрівання	Вологість зерна, %
Сухе зерно					
1	100	45	120		
2	100	45	100		
3	100	50	130		
4	100	60	150		
Зволожене зерно					
5	100	45			
6	100	45			
7	100	50			
8	100	60			

- 1.1.3 Визначити кількість і якість клейковини у контрольного зразку та зразках після теплової обробки результати занести до табл. 1.2.

Таблиця 1.1.2 – Результати досліджень за станом клейковини

№ варіанту	Кількість сирої клейковини	Група якості	ВДК

- 1.1.4 Оглянути зерно на наявність тріщин та порівняти зерно до сушіння та після сушіння за різних умов.

- 1.1.5 Приготувати живильне середовище для виявлення епіфітної мікрофлори у зерні.

Для цього беруть 500 г м'яса, звільненого від кісток, жиру та жил, розрізають на дрібні шматочки або пропускають через м'ясорубку, заливають

1 дм³ водопровідної води і залишають при кімнатній температурі на 12 годин або в термостаті при +30 0С на 6 годин, при +37 0С – на 2 години. За цей час з м'яса екстрагуються різні речовини, у тому числі водорозчинні вітаміни. Після чого м'ясо віджимають через марлю, при цьому отримують м'ясну суспензію, яку кип'ятять 30 хвилин. Після того як, бульон охолоне, його фільтрують крізь вату, доливають водою до первісного об'єму, додають 0,5% NaCl та 1% пептону. Пептони являють собою суміш поліпептидів (продукти неповного розкладання білка) з більшим або меншим вмістом вільних амінокислот, ферментів, нуклеїнових кислот та деяких вітамінів. Їх одержують кислотним або ферментативним гідролізом м'яса або казеїну. Отриманий МПБ стерилізують в автоклаві при тиску 1 атм протягом 20... 30 хвилин.

Для отримання натурального твердого середовища перед стерилізацією додають агар у кількості 1,5...3% (або желатин у кількості 10...15%) до маси рідини.

1.1.6 Для виявлення мікрофлори зерна беруть по 3 зернівки (згідно варіанту) і вносять їх у стерильні чашки Петрі в двох повторностях. У кожену чашку Петрі виливають по одній пробірці розплавленого, але попередньо охолодженого до 50 ° С МПА. Оставляють до повного застигання. Після чого чашки перевертають дном у верх та залишають для інкубації при температурі 30оС на тиждень або до наступного заняття.

1.1.7 Вивчити візуально та описати зовнішній вигляд колоній. Ознаки занести до таблиці 1.3 .

Таблиця 1.1.3 – Результати дослідження мікрофлори зерна зразків, що досліджувались

Варіант №	Культура	Забарвлення міцелію	Кількість колоній	Поверхні колонії	Краї колонії	Форма колоній	Вигляд міцелію
1							
2							

З міцелію гриба приготувати препарат “роздавлена крапля”. Відмітити характер гіф, наявність спор, форму конідій. Зарисувати або сфотографувати побачене під мікроскопом.

1.1.8. Зробити висновки по роботі.

2

Вплив режимів мікрохвильового сушіння



Теоретична інформація.

Мікрохвильове сушіння зерна є однією з інноваційних технологій, що дозволяє значно скоротити час обробки, знизити енергоспоживання та покращити якість кінцевого продукту. Цей метод базується на використанні електромагнітного випромінювання у діапазоні 915–2450 МГц, яке забезпечує рівномірний прогрів зерна зсередини, сприяючи швидкому випаровуванню вологи.

При вивченні режимів мікрохвильового сушіння зерна слід звернути увагу на такі основні параметри: потужність випромінювання, тривалість сушіння, рівень початкової та кінцевої вологості зерна, а також температуру нагрівання. Оптимальні режими сушіння залежать від виду культури, розміру зерна та його початкової вологості. Високі температури можуть призвести до перегріву та зниження схожості насіння, а також до погіршення органолептичних властивостей продовольчого зерна.

Сучасні дослідження підтверджують, що поєднання мікрохвильового сушіння з конвекційними або інфрачервоними методами дозволяє досягти найкращих результатів. Такі комбіновані технології підвищують енергоефективність процесу, запобігають локальному перегріву зерна та сприяють рівномірному зниженню його вологості. Отже, мікрохвильове сушіння є перспективним напрямком у сфері післязбиральної обробки зерна, що дозволяє значно покращити його збереженість і якість під час тривалого зберігання.

Вплив мікрохвильового сушіння на технологічні властивості зернової сировини

Технологічні властивості	Вплив мікрохвильового сушіння
Вологість зерна	Швидке зниження вологості без значних втрат маси зерна, рівномірність висушування.
Масова частка клейковини	Можливе незначне зменшення кількості клейковини через денатурацію білків при високих температурах.
Якість клейковини	Високі температури можуть знижувати пружність і еластичність клейковини, що впливає на хлібопекарські властивості.
Показник склоподібності зерна	Підвищується за рахунок швидкого випаровування вологи та внутрішніх структурних змін.

Збереження зародка	Висока інтенсивність нагріву може призвести до зниження життєздатності зародка, що погіршує схожість насіннєвого матеріалу.
Вплив на крохмаль	При перегріві можливе часткове руйнування крохмальних гранул, що впливає на технологічні властивості борошна.
Вплив на жир	При високих температурах можливе окислення жирів, що знижує якість зерна та може спричинити появу гіркого присмаку.
Мікробіологічна безпека	Ефективне знищення грибків, бактерій і комах, що сприяє довготривалому зберіганню.
Колір і запах зерна	Можливе незначне потемніння через реакцію Майяра та зміну аромату при надмірному нагріванні.
Механічна міцність зерна	Мінімальне травмування, але при надмірному перегріванні можливе утворення мікротріщин, що підвищує ризик подальшого пошкодження.

Мікрохвильове сушіння дозволяє швидко й ефективно видаляти вологу з зерна, зберігаючи його основні технологічні властивості. Однак контроль температури та тривалості процесу є критичним для запобігання негативним змінам у структурі зерна.

Апаратурне оформлення мікрохвильового сушіння зерна

Мікрохвильове сушіння зерна базується на використанні електромагнітного випромінювання в діапазоні 300 МГц – 300 ГГц, яке проникає всередину зерна, викликаючи коливання молекул води та їх випаровування.

Сучасні установки для мікрохвильового сушіння зерна

Компонент	Призначення та функції
Мікрохвильовий генератор (магнетрон)	Генерує електромагнітні хвилі для нагрівання зернової маси.
Резонатор (камерна сушарка)	Виконує функцію робочої зони, де зерно піддається мікрохвильовому випромінюванню. Камера повинна мати захист від витоку хвиль.
Конвеєрна система або обертовий барабан	Забезпечує рівномірний рух зерна через робочу зону для рівномірного сушіння.
Система контролю вологості та температури	Датчики вологості та температури дозволяють регулювати параметри процесу, запобігаючи перегріву та пошкодженню зерна.
Система вентиляції та відведення вологи	Відводить випарену вологу для підтримки ефективності сушіння та запобігання конденсації.
Живлення високої частоти (ВЧ-джерело)	Перетворює електричну енергію у ВЧ-хвилі, які спрямовуються в сушильну камеру.

Захисний екран і система безпеки	Запобігає витоку мікрохвильового випромінювання та забезпечує безпечну експлуатацію.
Автоматизована система керування	Дозволяє встановлювати та регулювати параметри процесу, мінімізуючи втручання оператора.

Типи установок для мікрохвильового сушіння зерна

1. Безперервні мікрохвильові сушарки – використовуються в промислових масштабах, оснащені конвеєрами або обертовими барабанами для рівномірного сушіння.
2. Періодичні (камерні) мікрохвильові сушарки – підходять для невеликих партій зерна, забезпечують можливість контролю за процесом.
3. Комбіновані мікрохвильові сушарки – поєднують мікрохвильовий нагрів з конвекційним або інфрачервоним сушінням для підвищення ефективності.

Завдяки використанню мікрохвильового сушіння значно скорочується час обробки зерна, зменшується ризик розвитку мікрофлори та покращується якість кінцевого продукту.

Вплив мікрохвильового сушіння на мікрофлору зернової сировини

Параметр	Вплив мікрохвильового сушіння
Зниження загальної чисельності мікроорганізмів	Високочастотне випромінювання ефективно знищує більшість бактерій, грибів і плісняви, особливо при оптимальних температурах сушіння (60–80°C).
Знищення патогенних бактерій	Зменшується кількість збудників хвороб, таких як <i>Salmonella</i> , <i>E. coli</i> , <i>Bacillus</i> spp., завдяки руйнуванню клітинних структур під впливом мікрохвильового нагріву.
Вплив на грибкову мікрофлору	Гине більшість пліснявих грибів (<i>Aspergillus</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Penicillium</i>), що знижує ризик накопичення мікотоксинів.
Зміна складу корисної мікрофлори	Частково знищується корисна мікрофлора, що може впливати на біологічну стійкість зерна.
Запобігання повторному мікробному зараженню	Висушене зерно з низькою вологістю стає менш сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів.
Вплив на активність ферментів мікроорганізмів	Руйнуються ферменти, які сприяють псуванню зерна, що подовжує термін його зберігання.
Потенційні ризики перегріву зерна	При надмірному нагріванні можливе утворення термостійких спорових форм бактерій та грибів, що можуть виживати після сушіння.

Мікрохвильове сушіння є ефективним методом знезараження зерна, проте для збереження балансу між мікробною безпекою та якістю сировини необхідно ретельно контролювати режими обробки.



Послідовність виконання роботи

1.2.1 Ознайомитись з інформацією наведеною у теоретичній частині.

1.2.2 Згідно варіанту провести мікрохвильову обробку зерна, визначити його t нагрівання та вологість наприкінці сушіння (табл. 1.2.1).

Таблиця 1.2.1- Завдання для експериментальних досліджень мікрохвильового сушіння зерна

№ з/п	Маса зерна, г	t нагрівання зерна, $^{\circ}\text{C}$	t закінчення сушіння, $^{\circ}\text{C}$	τ нагрівання, с	Вологість зерна, %
Сухе зерно					
1	100			5	
2	100			10	
3	100			15	
4	100			20	
Зволожене зерно					
5	100			5	
6	100			10	
7	100			15	
8	100			20	

1.2.3 Визначити кількість і якість клейковини у контрольного зразку та зразках після мікрохвильової обробки, результати занести до табл. 1.2.2.

Таблиця 1.2.2 – Результати досліджень за станом клейковини

№ варіанту	Кількість сирої клейковини	Група якості	ВДК

1.2.4 Оглянути зерно на наявність тріщин та порівняти зерно до сушіння та після сушіння за різних умов.

1.2.5 Провести підготовку та дослідження з виявлення мікрофлори зерна відповідно до пунктів 1.1.5- 1.1.7.

1.2.6 Зробіть висновки за проведеними дослідженнями

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ



1. Які основні параметри сушіння впливають на якість збереження зерна?
2. Як температура сушіння впливає на вологовміст зернової сировини?
3. Яким чином мікрохвильове сушіння впливає на мікрофлору зернової сировини?
4. Які основні переваги мікрохвильового сушіння порівняно з конвективним сушінням?
5. Як швидкість сушіння впливає на структуру зерна та його біохімічні властивості?
6. Які зміни у фізико-хімічних характеристиках зерна відбуваються під впливом мікрохвильового сушіння?
7. Які режими мікрохвильового сушіння є оптимальними для мінімізації втрат поживних речовин?
8. Як впливає інтенсивність електромагнітного випромінювання на збереження зерна?
9. Які можливі негативні наслідки неправильного режиму сушіння для подальшого зберігання зернової сировини?
10. Які сучасні технологічні рішення використовуються для контролю параметрів мікрохвильового сушіння зерна?

Лабораторна робота 2

Вплив озono-повітряної суміші на інтенсивність дихання зерна під час зберігання

Мета: встановити вплив озono-повітряної суміші на інтенсивність дихання зерна під час зберігання.

Об'єкт вивчення: зерно різних культур.

Предмет вивчення: інтенсивність дихання.

**Теоретична інформація.**

Озон (O_3) є сильним окисником, який активно взаємодіє з мікроорганізмами, ферментами та органічними сполуками, що містяться в зерні. Використання озono-повітряної суміші під час зберігання зерна може значно впливати на його інтенсивність дихання та загальний стан.

1. **Зниження інтенсивності дихання зерна.** Озон проникає в міжзерновий простір і вступає в реакцію з компонентами зернової маси. Це призводить до окислення органічних речовин і пригнічення активності ферментів, що відповідають за дихальні процеси. Як наслідок, споживання кисню зерном зменшується, а отже, сповільнюються процеси старіння та самонагрівання.
2. **Пригнічення розвитку мікрофлори.** Основною причиною підвищеної інтенсивності дихання зерна є активне розмноження мікроорганізмів, зокрема грибів і бактерій. Озон ефективно знищує патогенну мікрофлору, запобігаючи псуванню зерна, утворенню мікотоксинів та інших шкідливих речовин, що можуть впливати на якість зернової сировини.
3. **Оптимізація умов зберігання.** Використання озono-повітряної суміші дозволяє зменшити потребу в аерації та охолодженні зерна, оскільки його дихальна активність залишається на низькому рівні. Це особливо важливо для довготривалого зберігання зернових культур у силосах та зерносховищах, де високий рівень вологості може спричинити розвиток небажаних процесів.

Таким чином, застосування озono-повітряної суміші є ефективним методом зниження інтенсивності дихання зерна під час зберігання, що сприяє збереженню його якості, попередженню самонагрівання та зменшенню втрат зернової маси.

Застосування озono-повітряної суміші під час зберігання зерна дозволяє ефективно зменшити інтенсивність його дихання, що запобігає небажаним змінам та сприяє довготривалому збереженню якості зернової маси.

Параметр	Вплив озono-повітряної суміші
Інтенсивність дихання зерна	Зменшується через окислення ферментів, що відповідають за дихальні процеси.
Розвиток мікрофлори	Пригнічується ріст бактерій та грибів, що зменшує мікробіологічне навантаження.
Самонагрівання зернової маси	Знижується завдяки зменшенню активності мікроорганізмів та ферментних процесів.
Вологість зерна	Частково стабілізується, оскільки озон зменшує ризик конденсації вологи.
Збереженість зерна	Покращується за рахунок зниження інтенсивності дихання та розвитку патогенів.
Якість зерна	Підвищується завдяки зменшенню кількості токсичних метаболітів мікроорганізмів.
Необхідність вентиляції	Зменшується, оскільки озон самостійно знижує мікробне забруднення та дихальну активність.
Тривалість зберігання	Збільшується, оскільки зерно повільніше втрачає якість.

Дихання зерна — це складний біохімічний процес, у якому зерно споживає кисень і розщеплює органічні сполуки (переважно вуглеводи) з утворенням енергії, води та вуглекислого газу. Процес дихання у зерні є частиною метаболічних реакцій, які відбуваються в клітинах і зумовлені наявністю ензимів та іншої клітинної активності. Цей процес, зазвичай, супроводжується виділенням енергії у вигляді АТФ, що є основним джерелом енергії для функціонування клітин.

Вимірювання інтенсивності дихання зерна під час зберігання є важливим процесом, оскільки дозволяє оцінити стан якості зерна і його здатність до подальшого використання. Дихання зерна — це процес метаболізму, під час якого зерно виділяє вуглекислий газ і споживає кисень. Цей процес є показником життєдіяльності зерна та може бути корисним для оцінки його схильності до псування. Висока інтенсивність дихання може вказувати на можливе старіння зерна, зниження його схожості або на початок розвитку мікроорганізмів. Оцінка цього процесу допомагає прогнозувати довговічність зберігання зерна, а також вибір найбільш оптимальних умов для цього.

Знання інтенсивності дихання зерна під час зберігання дозволяє оптимізувати умови для збереження зерна, таких як температура і вологість. Зерно, що має високу інтенсивність дихання, потребує більш суворого контролю цих параметрів, щоб запобігти псуванню та розвитку плісняви чи грибів. Наприклад, зерно, яке активно дихає, може швидше втратити вологу і покритися конденсатом, що створює умови для розвитку шкідливих

мікроорганізмів. Своєчасна і точна оцінка інтенсивності дихання допомагає запобігти втратам і зберегти зерно в належному стані до моменту його використання.

Крім того, вимірювання інтенсивності дихання зерна дає можливість прогнозувати час, коли зерно досягне критичних рівнів вмісту вуглекислого газу та інших продуктів метаболізму. Це особливо важливо для зберігання великих обсягів зерна, наприклад, на складах або елеваторах, де необхідно тримати зерно в стабільному стані протягом тривалого часу. Враховуючи інтенсивність дихання, можна також коригувати обсяги вентиляції, що допомагає знизити рівень вуглекислого газу і створити сприятливі умови для довготривалого зберігання.

Технології, які дозволяють вимірювати інтенсивність дихання зерна, також є інструментом для поліпшення якості зернових продуктів після зберігання. Зерно, яке мало підвищену інтенсивність дихання, може мати знижену харчову цінність або бути більш сприйнятливим до псування під час переробки. Отже, знання цього параметра дозволяє не тільки збільшити термін зберігання зерна, але й поліпшити його подальшу переробку та збереження корисних властивостей.

Методи визначення інтенсивності дихання зерна під час зберігання.

Метод вимірювання споживання кисню. Це один із найбільш точних методів, який включає вимірювання кількості кисню, що споживається зерном під час зберігання. Для цього використовуються спеціальні герметичні камери, в яких зерно розташовується разом з датчиками для вимірювання концентрації кисню. Зниження рівня кисню свідчить про інтенсивність дихання, оскільки під час дихання зерно споживає кисень.

Метод вимірювання виділення вуглекислого газу (CO_2). Дихання зерна супроводжується виділенням вуглекислого газу, що може бути виміряно спеціальними датчиками. Цей метод полягає в тому, щоб виміряти концентрацію CO_2 , що накопичується в закритому контейнері або спеціальній камері. Висока концентрація CO_2 свідчить про активне дихання зерна, що є індикатором його життєвих процесів.

Калориметричний метод. Метод заснований на вимірюванні тепла, яке виділяється в процесі дихання зерна. Тепло виділяється під час біохімічних реакцій, що відбуваються всередині зерна. Це може бути зроблено за допомогою спеціальних калориметрів, які визначають зміну температури, спричинену виділенням тепла.

Метод термодинамічного аналізу (диференційна скануюча калориметрія). Цей метод використовує зміну температури зразка зерна під час зберігання для оцінки активності його метаболічних процесів. Аналізуючи теплові властивості зерна, можна оцінити рівень його життєдіяльності і активність дихання.

Метод вивчення механізмів газообміну через сенсори. Вимірювання концентрацій газів (кисню, вуглекислого газу, азоту) за допомогою сенсорів

дозволяє моніторити дихання зерна без відкриття контейнера. Цей метод широко використовується в сучасних автоматизованих системах для зберігання зерна.

Метод газової хроматографії. Даний метод включає використання хроматографа для аналізу газів, що виділяються під час дихання зерна. Газова хроматографія дозволяє точно визначити складу газів, таких як вуглекислий газ і кисень, що може бути використано для оцінки інтенсивності дихання зерна.

Оптичні методи. За допомогою інфрачервоного спектроскопії або лазерної дифракції можна оцінювати склад і характеристики газових сумішей, що утворюються при диханні зерна.

Аспіраційний метод визначення інтенсивності дихання зерна є одним із класичних способів, який базується на вимірюванні вуглекислого газу (CO_2), що виділяється зерном під час його дихання.

Порівняння методів визначення інтенсивності дихання зерна під час зберігання.

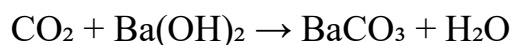
Метод	Опис	Переваги	Недоліки
Аспіраційний метод	Визначення кількості вуглекислого газу, що виділяється зерном, через поглинання його розчином барію гідроксиду, титрування щавлевою кислотою.	Простота в виконанні, точність.	Потрібно спеціальне обладнання для титрування, деякі неточності через зміну температури або вологості.
Калориметричний метод	Вимірювання кількості тепла, що виділяється під час дихання зерна, використовуючи калориметр.	Висока точність, дозволяє вимірювати енергію, що виділяється.	Складне обладнання, дорогі витрати на матеріали і енергію.
Газоаналізаторний метод	Вимірювання концентрації вуглекислого газу та кисню за допомогою газоаналізатора в атмосфері, що оточує зерно, у процесі зберігання.	Можливість контролювати зміни в реальному часі, висока точність.	Високі витрати на обладнання, необхідність підтримки стабільної температури і вологості.

Метод хемілюмінесценції	Визначення кількості вуглекислого газу через вимірювання світлового випромінювання, яке виникає під час окислення вуглекислого газу.	Висока чутливість, швидке отримання результатів.	Складність інтерпретації результатів, залежність від інших факторів, як-от температура та вологість.
Фотометричний метод	Визначення інтенсивності дихання через вимірювання змін кольору індикаторних розчинів, що взаємодіють з вуглекислим газом, що виділяється зерном.	Простота виконання, доступність обладнання.	Низька точність при малих концентраціях CO ₂ , залежність результатів від складу атмосфери.
Паливно-метаноловий метод	Визначення інтенсивності дихання через вимірювання зміни концентрації вуглекислого газу за допомогою каталізатора, що поглинає вуглекислий газ в спеціальному реакторі.	Висока чутливість, можливість роботи в умовах різної температури і вологості.	Високі витрати на обладнання, потребує специфічних реагентів.
Метод хімічного поглинання	Використання хімічних реагентів для поглинання вуглекислого газу, що виділяється зерном, з наступним визначенням кількості вуглекислого газу за допомогою титрування.	Простота у виконанні, надійність, доступність.	Необхідність частого оновлення розчинів, вплив інших газів може вплинути на точність.

Тепловий метод (метод теплових потоків)	Визначення кількості тепла, що виділяється під час метаболічних процесів в зерні, та співвідношення між виділеним теплом і виділенням CO ₂ .	Надійний, можна застосовувати для довгострокового моніторингу процесів.	Високі вимоги до точності при вимірюваннях, великий обсяг даних, що потребує обробки.
--	---	---	---

Для вимірювання інтенсивності дихання використовуємо аспіраційний метод. Збираємо лабораторну установку, яку наведено на рис.2.1.

Під час дихання зерна виділяється вуглекислий газ, який поглинається розчином барію гідроксиду (Ba(OH)₂). Вуглекислий газ реагує з барієм гідроксидом, утворюючи барій карбонат (BaCO₃):



В результаті цієї реакції в розчині з'являється барій карбонат, що знижує концентрацію барію гідроксиду.

В першу колбу розміщуємо 100 г зерна з визначеною вологістю. В другу колбу наливаємо 100мл барію гідроксиду. Колби закриваємо герметичними кришками з трубками. В першій колбі трубка розташована в надзерновому повітрі, а в другій занурена в розчин барію гідроксиду. Дослідження триває протягом 1 години.

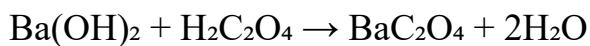
Після поглинання вуглекислого газу барієм гідроксидом кількість залишкового барію гідроксиду визначають титруванням. Для титрування використовують розчин щавлевої кислоти (H₂C₂O₄) певної концентрації.

1 г-моль щавлевої кислоти кристалізується з двома молекулами води, тому маса її дорівнює: (H₂C₂O₄:2H₂O) = 126 (г), а CO₂=44 (г). Якщо 126 г щавлевої кислоти еквівалентні 44 мг CO₂, то X мг щавлевої кислоти еквівалентний 1 мг CO₂ *X (126/44 = 2,8636) (мг). Звідси, щоб 1 мл розчину щавлевої кислоти був еквівалентним 1 мг вуглекислого газу, він повинен містити 2,8636 мг щавлевої кислоти.

Розчин щавлевої кислоти реагує з барієм гідроксидом, утворюючи барій щавлевий:



Рис. 2.1. - Лабораторна установка для вимірювання інтенсивності дихання зерна



Після титрування визначають кількість щавлевої кислоти, необхідну для нейтралізації залишкового барію гідроксиду. Виходячи з титрування, можна визначити кількість вуглекислого газу, що поглинувся барієм гідроксидом, а отже, оцінити інтенсивність дихання зерна.

Після того як зерно виділяє CO_2 , цей газ поглинається барієм гідроксидом. Титрування дозволяє визначити, скільки барію гідроксиду не було використано в реакції і скільки залишилось, тобто кількість CO_2 , що було поглинуте.

Через титрування визначають кількість кислоти, що витрачається на нейтралізацію залишкових барію гідроксиду, що потім використовують для обчислення інтенсивності дихання.

Інтенсивність дихання зерна виражається кількістю вуглекислого газу в міліграмах, що виділяється 1 кг сухої речовини зерна за 24 год.

Інтенсивність дихання зерна за 24 год D (мг CO_2 на 1000г сухої речовини) розраховують за формулою:

$$D = \frac{a \cdot 4 \cdot 1000}{M_n \cdot t} \cdot 24 \quad (2.1)$$

де a — різниця кількості $\text{Ba}(\text{OH})_2$ до і після дихання

4 — розрахунок на всю кількість бариту (якщо для титрування брали 25 мл бариту, а всього в досліді — 100 мл);

M_n — маса наважки сухої речовини, г;

t — тривалість досліді, год.

За інтенсивністю дихання визначимо витрати сухої речовини X за Y днів зберігання такого зерна за формулою

$$X = \frac{D \cdot 0,6825 \cdot Y}{1000} \quad (2.2)$$

де 0,6825 — коефіцієнт переведення вуглекислоти на глюкозу (1 мг CO_2 дістають при розпаді 0,6826 мг глюкози);

D — інтенсивність дихання, мг CO_2 ;

Y — кількість днів зберігання зерна;

1000 — коефіцієнт переведення у грами та відсотки.



Послідовність виконання роботи

2.1 Ознайомитись з інформацією наведеною у теоретичній частині.

2.2 Підготуйте зразки зерна (відповідно до варіанту завдань) для дослідження. Дослідженню підлягають зразки зерна однієї партії, які набули

різної вологості. Зволожити зерно та визначити вологість.

2.3 Обробити по 100 гр. сухого та зволоженого зерна озоно-повітряною сумішшю.

2.4 Виміряти початкову та кінцеву вологість та температуру зерна, дані занести до табл. 2.1.

2.5 Провести визначення інтенсивності дихання всіх зразків зерна, що досліджуються.

2.6 Зробити висновки щодо впливу озоно-повітряної суміші на процес дихання зернової маси.

Таблиця 2.1 - Зведена таблиця даних

№ зразка	Назва зразка	Вологість, %		Температура зерна, °C		Інтенсивність дихання, Д
		початкова	кінцева	початкова	кінцева	
1	Сухе зерно					
2	Зволожене зерно					
Обробка озоно-повітряною сумішшю						
3	Сухе зерно					
4	Зволожене зерно					

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ



- 1 Яким чином озон впливає на інтенсивність дихання зерна під час зберігання?
- 2 Які фактори визначають ефективність озоно-повітряної обробки зернової маси?
- 3 Як змінюється газовий склад зернового середовища при використанні озоно-повітряної суміші?
- 4 Які оптимальні концентрації озону використовуються для знезараження зерна?
- 5 Як озон впливає на мікрофлору зерна та процеси його дихання?
- 6 Чи змінюється інтенсивність втрати сухої речовини зерна під впливом озонування?
- 7 Які переваги застосування озону в порівнянні з іншими методами обробки зерна?
- 8 Як довготривала дія озону впливає на фізико-хімічні властивості зернової маси?
- 9 Які методи використовуються для визначення рівня озонування під час зберігання зерна?
- 10 Як можна регулювати концентрацію озону в сховищах, щоб забезпечити максимальну ефективність обробки?

Лабораторна робота 3

Вивчення параметрів консервування зерна азотом

Мета: встановити доцільність консервування зерна азотом.

Об'єкт вивчення: зерно різних культур.

Предмет вивчення: інтенсивність дихання.

**Теоретична інформація.**

Консервування зерна азотом – це сучасний метод зберігання, що базується на витісненні кисню із зернового середовища та створенні інертної атмосфери. Ця технологія дозволяє значно знизити інтенсивність дихання зерна, сповільнити процеси його старіння, а також ефективно пригнічувати розвиток комах-шкідників та мікроорганізмів. Оскільки азот не вступає в хімічні реакції з компонентами зернової маси, його застосування є безпечним і не впливає на якість продукції.

Основний принцип технології полягає у заповненні сховищ або силосів азотом до досягнення певного рівня концентрації. Це здійснюється за допомогою спеціальних генераторів, які виробляють азот із навколишнього повітря. Процес консервування може бути як одноразовим, так і підтримуваним упродовж усього періоду зберігання. Оптимальним вважається рівень вмісту азоту понад 98%, що забезпечує максимальну ефективність зниження активності аеробних мікроорганізмів і комах.

Застосування азотної консервації має ряд переваг. По-перше, це екологічно чистий метод, що не потребує використання хімічних пестицидів. По-друге, він дозволяє зберігати зерно тривалий час без втрати якості, адже при низькому вмісті кисню зменшується інтенсивність окислювальних процесів. Крім того, зниження активності комах та грибків запобігає псуванню продукції.

Водночас, метод має певні обмеження. Основним недоліком є потреба у спеціальному обладнанні та герметичних ємностях, що збільшує початкові витрати. Крім того, контроль за рівнем азоту повинен бути постійним, оскільки його концентрація може змінюватися через витоки або зміни в температурному режимі. Однак, попри ці виклики, технологія азотного консервування зерна є перспективним рішенням для підвищення безпеки та збереження якості продукції.

Характеристика консервування зерна азотом

Параметр	Опис
Принцип дії	Витіснення кисню з зерносховища за допомогою азоту для уповільнення процесів дихання та розвитку мікроорганізмів.

Мета	Збереження якості зерна, запобігання самозігріванню, розвитку шкідників та мікрофлори.
Метод внесення	Інжекційне подання азоту в зернову масу або заповнення сховища азотним середовищем.
Тривалість обробки	Від 2 до 7 діб залежно від об'єму зерносховища та щільності заповнення.
Ефект від застосування	Гальмування біохімічних процесів, зниження активності комах-шкідників, запобігання розвитку грибкових інфекцій.
Основні сфери застосування	Зернові культури (пшениця, ячмінь, кукурудза, рис), бобові, олійні культури.
Переваги	Відсутність залишкових хімічних сполук, екологічна безпека, можливість тривалого зберігання.
Недоліки	Висока вартість обладнання, необхідність герметичних сховищ, контроль газового середовища.

Апаратурне оформлення технології консервування зерна азотом включає кілька основних елементів, які забезпечують ефективне зберігання продукції в інертному середовищі. До складу обладнання входять:

1. Генератор азоту – пристрій, який виробляє газоподібний азот із навколишнього повітря. Використовуються дві основні технології отримання азоту:
 - Мембранні установки, що відокремлюють азот від інших газів шляхом дифузії через напівпроникні мембрани.
 - Адсорбційні установки (PSA – Pressure Swing Adsorption), які працюють за принципом селективної адсорбції кисню на цеолітних матеріалах.
2. Система подачі азоту – включає трубопроводи, клапани, редуктори та контрольні пристрої, які забезпечують рівномірний розподіл азоту в зерносховищі.
3. Герметичні ємності для зберігання зерна – силоси або зерносховища, що повинні бути максимально герметичними для збереження високої концентрації азоту. Зазвичай використовуються модульні силоси із металу або полімерних матеріалів.
4. Система контролю газового складу – складається з датчиків кисню, азоту та вуглекислого газу, які постійно моніторять склад атмосфери в сховищі. Вона забезпечує підтримку необхідної концентрації азоту (98–99%) для ефективного пригнічення біологічної активності зерна та шкідників.
5. Допоміжні системи – включають засоби автоматизації, блоки управління та систему безпеки, що запобігає витокам азоту та контролює параметри процесу.

Завдяки сучасним системам автоматизації, управління азотним середовищем може здійснюватися дистанційно, що підвищує ефективність і знижує витрати на обслуговування.

Параметри консервування зерна азотом

Параметр	Значення	Примітки
Концентрація азоту в середовищі	98–99%	Необхідна для ефективного витіснення кисню та зупинки біологічних процесів.
Рівень кисню	<1%	Мінімізація процесів дихання зерна та розвитку мікроорганізмів.
Температура зберігання	5–25°C	Оптимальний діапазон для запобігання конденсації та росту плісняви.
Вологість зерна	≤14%	Запобігає розвитку мікрофлори та самозігріванню зерна.
Тривалість експозиції азоту	10–24 години	Час, необхідний для повного витіснення кисню з зернової маси.
Тиск у системі	Атмосферний або незначне надлишкове (1,01–1,05 атм)	Запобігає проникненню зовнішнього повітря.
Герметичність ємностей	Висока (ущільнення ≤0,1%/добу)	Зменшує втрати азоту та підтримує необхідну атмосферу.
Спосіб подачі азоту	Безперервний або імпульсний	Вибір залежить від системи зберігання та конструкції сховища.
Метод отримання азоту	PSA-адсорбція або мембранна сепарація	Визначає ефективність та вартість генерації азоту.
Контроль середовища	Автоматичний газовий аналіз	Системи моніторингу O ₂ , CO ₂ , N ₂ дозволяють регулювати параметри зберігання.

Ця технологія є ефективним рішенням для довготривалого зберігання зерна без використання хімічних консервантів.



Послідовність виконання роботи

3.1 Ознайомитись з інформацією наведеною у теоретичній частині.

3.2 Підготуйте зразки зерна (відповідно до варіанту завдань) для дослідження. Дослідженню підлягають зразки зерна однієї партії, які набули різної вологості. Зволожити зерно та визначити вологість.

3.3 Підготовлені зразки перемістити у колби для визначення дихання з герметичною пробкою, заповнити азотом, та витримати встановлений завданням термін.

3.4 Провести визначення інтенсивності дихання всіх зразків зерна, що досліджуються (відповідно до методу в лабораторній 2).

3.5 Виміряти початкову та кінцеву вологість та температуру зерна, дані надати у вигляді табл. 3.1.

3.6 Зробити висновки щодо здатності консервування зерна азотом та впливу на інтенсивність його дихання.

Таблиця 3.1 - Зведена таблиця даних

№ зразка	Назва зразка	Вологість, %		Температура зерна, °C		Інтенсивність дихання, Д
		початкова	кінцева	початкова	кінцева	
1	Сухе зерно					
2	Зволожене зерно					
Зерно консервоване азотом (витримане 1 годину)						
3	Сухе зерно					
4	Зволожене зерно					
Зерно консервоване азотом (витримане 2 години)						
5	Сухе зерно					
6	Зволожене зерно					

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ



- 1 Який принцип дії лежить в основі консервування зерна азотом?
- 2 Яка основна мета застосування азоту для зберігання зерна?
- 3 Якими методами можна здійснювати подачу азоту в зернову масу?
- 4 До якого рівня необхідно знизити концентрацію кисню для ефективного консервування зерна азотом?
- 5 Який оптимальний діапазон температур для застосування азотного консервування?
- 6 Як впливає консервування азотом на активність мікроорганізмів і шкідників?
- 7 Які основні переваги застосування азоту порівняно з хімічними консервантами?
- 8 Які зернові культури найчастіше зберігають у середовищі з підвищеним вмістом азоту?
- 9 Які вимоги до герметичності сховищ при консервуванні зерна азотом?
- 10 Які основні недоліки має технологія консервування зерна азотом?

Лабораторна робота 4

Вивчення режимів зберігання зерна в охолодженому стані

Мета: вивчення режимів зберігання зерна в охолодженому стані.

Об'єкт вивчення: зерно різних культур.

Предмет вивчення: інтенсивність дихання.

**Теоретична інформація.**

Охолоджене зберігання зерна є ефективним методом продовження його терміну придатності та збереження якості. Основний принцип цієї технології полягає у зниженні температури зернової маси, що значно уповільнює біохімічні процеси, розвиток мікроорганізмів і активність шкідників. Такий метод особливо актуальний для регіонів із теплим кліматом, де природне охолодження зерна є утрудненим.

Охолодження зерна може здійснюватися за допомогою спеціальних аеросистем або холодоагентів. Найпоширенішим способом є активне вентилявання із застосуванням охолодженого повітря. Також використовуються спеціальні холодильні установки, які дозволяють підтримувати оптимальну температуру зернової маси на рівні 5–15°C. Це зменшує втрати сухої речовини та енергії дихання зерна, що покращує його збереження.

Основними перевагами охолодженого зберігання є мінімізація втрат від розвитку грибкових захворювань, гальмування дихання зерна та зменшення кількості шкідників без застосування хімічних засобів. Крім того, цей метод є екологічно безпечним, оскільки не потребує використання токсичних речовин.

Разом із тим, охолоджене зберігання потребує значних енергетичних витрат і герметичності сховищ, щоб уникнути потрапляння теплого повітря та вологи. Важливим аспектом є контроль температурного режиму та відносної вологості повітря, оскільки різкі коливання можуть спричинити конденсацію вологи та розвиток цвілі.

Застосування сучасних технологій автоматизованого контролю температури та вологості дозволяє значно підвищити ефективність охолодженого зберігання. Завдяки цьому метод є перспективним для збереження зерна в умовах сучасного аграрного виробництва.

Зберігання зерна в охолодженому стані є одним із методів продовження терміну зберігання та збереження якості зерна, зменшуючи рівень біохімічних та мікробіологічних процесів, що можуть погіршити його властивості. Охолодження зерна має ряд переваг, особливо у випадках, коли зерно повинно зберігатися протягом тривалого часу.

Основні принципи охолодженого зберігання зерна:

1. Зниження температури. Зниження температури зерна дозволяє зменшити швидкість дихання зерна та метаболічні процеси в ньому. Це допомагає знизити рівень утворення вуглекислого газу та зменшити активність ферментів, що можуть спричиняти розпад вуглеводів, жирів та білків. Зниження температури також зменшує активність мікроорганізмів і шкідників, таких як комахи та гризуни, що можуть бути присутні в зерні.
2. Контроль вологості. Охолодження зерна повинно бути поєднане з контролем рівня вологості, оскільки надмірна волога в зерні може призвести до розвитку плісняви та інших грибкових захворювань. Ідеальний рівень вологості зерна для зберігання в охолодженому стані становить близько 12-13%. Високий рівень вологості при низьких температурах може створити умови для росту плісняви та розвитку анаеробних процесів, таких як бродіння.
3. Зниження швидкості біохімічних реакцій. При зниженні температури зменшується швидкість біохімічних реакцій, що відбуваються в зерні. Це, зокрема, стосується процесу дихання зерна, в результаті чого зменшується утворення вуглекислого газу та тепла. Таким чином, зерно зберігає свої поживні властивості, а також не відбуваються зміни, які можуть вплинути на якість продукту, наприклад, зміни смаку чи запаху.
4. Збереження якості зерна. Охолодження зерна значно зменшує рівень ферментації та окислення жирів і білків. Це дозволяє значно продовжити термін зберігання зерна без втрат у якості. Наприклад, при низьких температурах сповільнюється процес утворення афлатоксинів — токсичних сполук, які виробляються деякими видами грибів на зернових культурах.
5. Мікробіологічний контроль. Охолодження також значно зменшує активність мікроорганізмів. Мікроби, такі як бактерії та гриби, є основними збудниками гниття зерна. При низьких температурах їх ріст і розвиток сповільнюються або припиняються, що дозволяє зберігати зерно без ризику зараження або псування.

Переваги зберігання зерна в охолодженому стані:

- Продовження терміну зберігання. Охолодження дозволяє значно збільшити термін зберігання зерна без втрат його якості.
- Збереження поживних властивостей. Під час охолодження зменшується ризик втрати вітамінів та інших важливих поживних речовин.
- Зниження активності шкідників і мікроорганізмів. Охолодження обмежує розвиток шкідливих організмів, таких як комахи та гриби.
- Контроль вологості та температури. Охолоджена середовище сприяє оптимальному контролю вологості, що знижує ризики утворення плісняви.

Недоліки та обмеження:

- Високі енерговитрати. Зберігання зерна в охолодженному стані вимагає постійних витрат енергії для підтримання низької температури.
- Необхідність спеціального обладнання. Для ефективного охолодження зерна необхідні спеціальні холодильні системи та інфраструктура, що може бути дорогим для великих обсягів.
- Обмеження зберігання на великих площах. Охолоджене зберігання часто обмежене можливостями складів і обсягами зерна, яке можна охолодити.

Режими зберігання зерна в охолодженному стані

Параметр	Оптимальне значення	Призначення/Примітки
Температура зерна, °C	5–15	Залежить від виду зерна та умов зберігання. Нижчі температури ефективніші для тривалого зберігання.
Відносна вологість повітря, %	60–75	Оптимальний рівень вологості запобігає утворенню конденсату та розвитку грибкових захворювань.
Тривалість охолодження, год	24–72	Швидкість охолодження залежить від товщини шару зерна, вентиляційної системи та температури повітря.
Швидкість вентиляції, м³/год на 1 т зерна	5–15	Впливає на рівномірність охолодження зернової маси.
Допустиме підвищення температури під час зберігання, °C	Не більше ніж на 2–3	При перевищенні цього рівня необхідно проводити повторне охолодження.
Контрольні параметри	Температура, вологість, активність шкідників	Моніторинг здійснюється автоматизованими системами або вручну.
Герметичність сховища	Висока	Запобігає тепловим втратам та проникненню вологи, що може спричинити конденсацію.

Рекомендації щодо застосування охолодження зерна

Умови зберігання	Причини застосування охолодження	Очікуваний ефект
Зберігання зерна з підвищеною вологістю (14–16%)	Уповільнення процесів самозігрівання та розвитку мікрофлори	Запобігання втратам маси, зниження ризику псування зерна
Зберігання зерна у спекотний період (температура вище 20°C)	Мінімізація впливу високих температур та зменшення дихання зерна	Збереження якісних показників, зменшення втрат сухої маси
Тривале зберігання зерна (понад 6 місяців)	Зниження активності комах-шкідників та мікроорганізмів	Зменшення потреби у фумігації, покращення якості зерна
Зберігання зерна після сушіння	Зниження внутрішньої напруги зерна та рівномірний розподіл температури	Запобігання утворенню конденсату та склеюванню зерен
Зберігання насіннєвого матеріалу	Запобігання зниженню схожості та життєздатності насіння	Підтримка високої якості насіння для подальшого використання
Зберігання зерна в герметичних умовах	Контроль дихання зерна та зменшення вмісту вуглекислого газу	Підтримка стабільного газового середовища
Зерно, призначене для експорту	Вимоги до стабільних якісних показників під час тривалого транспортування	Збереження товарних властивостей, запобігання псуванню
Зберігання в регіонах із високою вологістю повітря	Запобігання повторному зволоженню зерна та розвитку плісняви	Мінімізація ризиків грибкових уражень

Зберігання зерна в охолодженому стані є одним із найефективніших методів подовження терміну його придатності та збереження якісних показників. Одним із ключових чинників, що визначають стан зернової маси під час зберігання, є інтенсивність її дихання. Дихання зерна – це біохімічний процес, у якому відбувається окислення органічних речовин, виділення тепла, вуглекислого газу та водяної пари.

Зниження температури зерна безпосередньо впливає на швидкість метаболічних процесів у його клітинах. При зберіганні зерна в охолодженому стані (5–10°C) інтенсивність дихання зменшується в кілька разів порівняно зі зберіганням при температурах вище 20°C. Це уповільнює процеси самозігрівання та втрати сухої речовини, що особливо важливо для довготривалого зберігання.

Також охолодження зерна створює несприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, у тому числі грибків і бактерій, які можуть спричиняти псування зерна. При температурі нижче 10°C активність більшості мікроорганізмів значно знижується, а при 5°C – практично припиняється. Це зменшує ризик мікробіологічного псування та розвитку мікотоксинів.

Окрім цього, зниження температури зерна уповільнює активність комах-шкідників, які при температурі нижче 10°C припиняють розмноження, а при 0–5°C більшість із них гине. Таким чином, охолоджене зберігання сприяє зменшенню потреби у використанні хімічних засобів для боротьби зі шкідниками.

Отже, зберігання зерна в охолодженому стані дозволяє значно знизити інтенсивність його дихання, запобігти втратам маси, зменшити ризик самозігрівання, зберегти якісні показники та продовжити термін зберігання без суттєвих втрат.



Послідовність виконання роботи

4.1 Ознайомитись з інформацією наведеною у теоретичній частині.

4.2 Підготуйте зразки зерна (відповідно до варіанту завдань) для дослідження. Дослідженню підлягають зразки зерна однієї партії, які набули різної вологості. Зволожити зерно та визначити вологість.

4.3 Підготовлені зразки сухого та вологого зерна охолодити до температури 5; 10; 15°C.

4.4 Охолоджені та контрольні зразки перемістити у колби для визначення дихання, розташувати в холодильній установці при відповідній температурі та утримувати там протягом визначення інтенсивності дихання.

4.5 Провести визначення інтенсивності дихання всіх зразків зерна, що досліджуються (відповідно до методу в лабораторній 2).

4.6 Виміряти початкову та кінцеву вологість та температуру зерна, дані надати у вигляді табл. 4.1.

4.7 Зробити висновки щодо впливу температури та вологості зерна на інтенсивність його дихання. Оформити у вигляді графічної залежності інтенсивності дихання від вологості при встановлених температурах. Приклад наведено на рис. 4.1

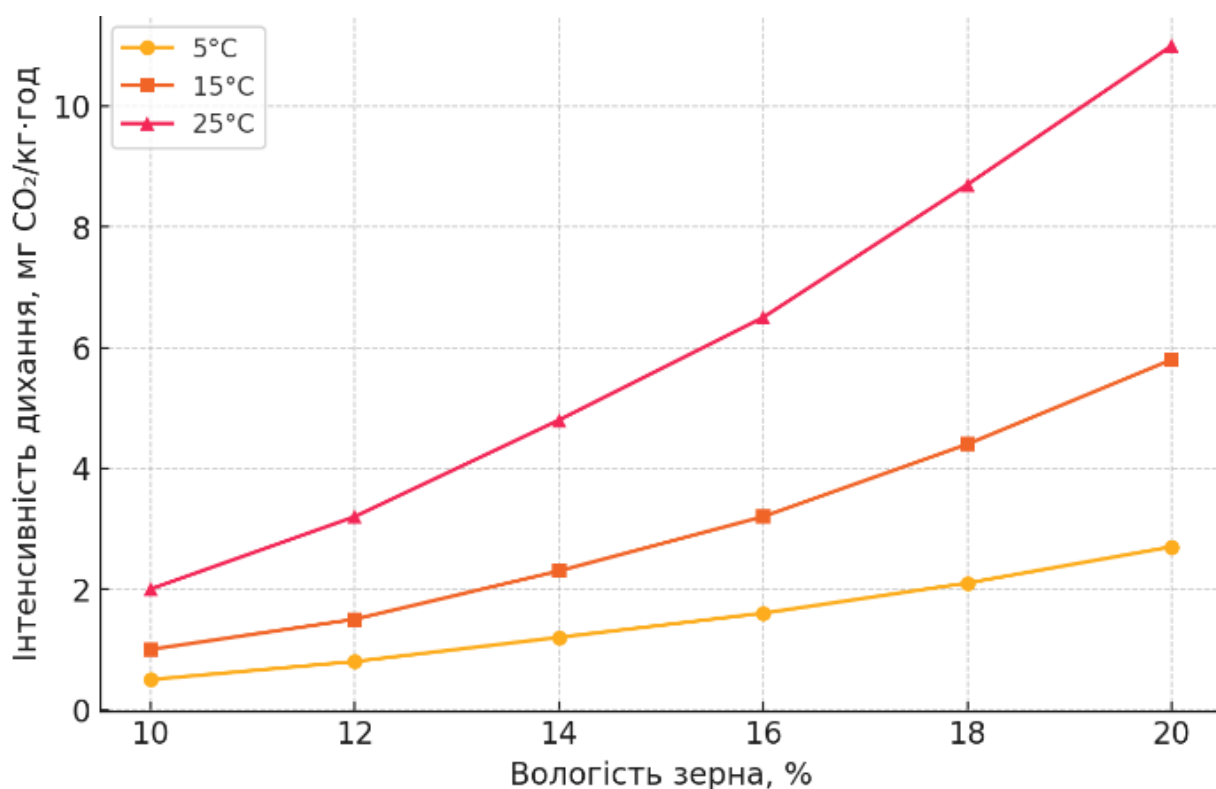


Рис. 4.1 - Графічна залежність інтенсивності дихання від вологості при встановлених температурах

Таблиця 4.1 - Зведена таблиця даних

№ зразка	Назва зразка	Вологість, %		Температура зерна, °С		Інтенсивність дихання, Д
		рекомендована	фактична	рекомендована	фактична	
Вид зерна – пшениця (наприклад)						
1	Сухе зерно	14		20		
2	Зволожене зерно1	16		20		
3	Зволожене зерно2	18		20		
4	Зволожене зерно3	20		20		
5	Сухе зерно	14		15		
6	Зволожене зерно1	16		15		
7	Зволожене зерно2	18		15		
8	Зволожене зерно3	20		15		
9	Сухе зерно	14		10		
10	Зволожене зерно1	16		10		
11	Зволожене зерно2	18		10		
12	Зволожене зерно3	20		10		
13	Сухе зерно	14		5		
14	Зволожене зерно1	16		5		
15	Зволожене зерно2	18		5		
16	Зволожене зерно3	20		5		

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ



1. Які основні принципи зберігання зерна в охолодженому стані?
2. Як температура впливає на швидкість біохімічних процесів у зерні під час зберігання?
3. Які режими зберігання зерна в охолодженому стані є найбільш ефективними?
4. Як впливає вологість зерна на його дихальну активність при охолодженому зберіганні?
5. Які переваги використання охолодженого зберігання зерна порівняно з іншими методами?
6. В яких випадках доцільно застосовувати охолоджене зберігання зерна?
7. Як змінюється інтенсивність дихання зерна при зниженні температури зберігання?
8. Які технічні засоби використовуються для охолодження зернової маси?
9. Які негативні фактори можуть впливати на якість зерна при охолодженому зберіганні?
10. Як довго можна зберігати зерно в охолодженому стані без втрати його якісних характеристик?

Лабораторна робота 5

Вплив озону, інфрачервоних та ультрафіолетових променів на знезараження зерна під час зберігання

Мета: вивчення сучасних способів знезараження зерна.

Об'єкт вивчення: зерно різних культур.

Предмет вивчення: технологічні властивості та мікрофлора зерна.



Теоретична інформація.

Знезараження зерна є важливим технологічним процесом, який запобігає розвитку шкідників, грибкових захворювань та бактерій, що можуть спричинити псування продукції під час зберігання. Традиційні методи, такі як хімічне фумігаційне оброблення, поступово поступаються місцем сучасним екологічним технологіям, які забезпечують високу ефективність та мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини.

Фізичні методи знезараження передбачають використання фізичних чинників, таких як температурна обробка, опромінення, озонування та мікрохвильове випромінювання. Озонування є одним із найбільш екологічних способів обробки зерна, оскільки озон (O_3) ефективно знищує мікроорганізми та комах, не залишаючи токсичних залишків у продукції. Також широко застосовується іонізаційне опромінення (гамма-промені, рентгенівське випромінювання), яке має високу ефективність проти патогенів, але потребує спеціального обладнання та контролю.

Хімічні методи знезараження включають використання газових фумігантів (фосфін, метилбромід), що добре проникають у зернову масу та ефективно знищують шкідників. Проте ці методи мають певні обмеження через токсичність речовин і залишкову концентрацію газів у продуктах. Останнім часом розробляються альтернативні хімічні засоби на основі органічних кислот та біопрепаратів, які є безпечнішими для людини та довкілля.

Біологічні методи знезараження базуються на використанні природних ворогів шкідників або біохімічних речовин, які пригнічують розвиток патогенних організмів. Наприклад, застосування бактерій роду *Bacillus* або ентомопатогенних грибів дає змогу контролювати чисельність комах-шкідників у зерносховищах без застосування токсичних препаратів.

У сучасних технологіях знезараження зерна важливим є поєднання кількох методів для досягнення максимального ефекту. Наприклад, комбіноване застосування озонування та низькотемпературної сушки дозволяє значно знизити рівень зараженості зерна без погіршення його якісних характеристик. Таким чином, сучасні технології знезараження спрямовані на

забезпечення продовольчої безпеки та збереження високої якості зернової продукції при мінімальному впливі на навколишнє середовище.

Сучасні способи знезараження зерна

Метод знезараження	Принцип дії	Переваги	Недоліки
Хімічне знезараження (фумігація)	Використання газоподібних або рідких хімічних препаратів (фосфін, бромистий метил) для знищення шкідників та мікроорганізмів.	Висока ефективність, можливість обробки великих обсягів зерна.	Токсичність, необхідність спеціального обладнання та захисту персоналу.
Озонування	Обробка зерна озоно-повітряною сумішшю, що знищує патогенні мікроорганізми та шкідників.	Екологічність, відсутність залишкових токсичних речовин, покращення якості зерна.	Висока енергозатратність, необхідність контролю концентрації озону.
Іонізаційне випромінювання	Використання γ -променів або рентгенівського випромінювання для знищення мікроорганізмів та комах.	Тривалий ефект, відсутність хімічних залишків.	Висока вартість обладнання, необхідність дозвільної документації.
Ультрафіолетове (УФ) опромінення	Використання короткохвильового УФ-випромінювання для знищення бактерій, грибків та вірусів.	Висока ефективність, екологічність, простота застосування.	Низька проникаюча здатність, ефективно тільки на поверхні зерна.
Термічне знезараження (обробка гарячим повітрям, парою)	Підвищення температури зернової маси до рівня, що знищує шкідників і патогенну мікрофлору.	Відсутність хімічних залишків, ефективність проти всіх стадій розвитку комах-шкідників.	Можливість перегріву та пошкодження зерна, висока енергозатратність.

Мікрохвильове знезараження	Використання електромагнітних хвиль для нагрівання та знищення мікроорганізмів і шкідників.	Висока швидкість обробки, рівномірне прогрівання зернової маси.	Висока енергозатратність, можливість зміни технологічних властивостей зерна.
Біологічне знезараження (природні антагоністи)	Використання корисних бактерій, грибів або ентомофагів для контролю чисельності шкідників.	Екологічність, відсутність негативного впливу на якість зерна.	Тривалий період дії, залежність від умов навколишнього середовища.

Фізичні способи знезараження зерна

Метод знезараження	Принцип дії	Переваги	Недоліки
Озонування	Обробка зерна озоно-повітряною сумішшю, яка руйнує клітинні структури мікроорганізмів та шкідників.	Висока екологічність, відсутність залишкових токсичних речовин, покращення якісних характеристик зерна.	Висока енергозатратність, необхідність контролю концентрації озону.
Ультрафіолетове (УФ) випромінювання	Використання короткохвильового УФ-випромінювання для руйнування ДНК та клітинних мембран мікроорганізмів.	Екологічність, відсутність хімічних залишків, ефективність проти бактерій, грибків і вірусів.	Обмежена проникна здатність (ефективне тільки на поверхні зерна).
Іонізаційне випромінювання (γ-промені, рентгенівське випромінювання)	Використання гамма- або рентгенівського випромінювання для руйнування ДНК мікроорганізмів і комах.	Тривалий ефект знезараження, можливість обробки великих партій зерна.	Висока вартість обладнання, потреба в дозвільних документах.

Мікрохвильове знезараження	Генерування електромагнітних хвиль, що нагрівають зерно, знищуючи патогени та шкідників.	Висока швидкість обробки, рівномірний прогрів.	Висока енергозатратність, ризик перегріву та зміни технологічних властивостей зерна.
Електронне опромінення	Використання потоку електронів для іонізації та руйнування клітинних структур шкідників та мікроорганізмів.	Висока ефективність, екологічність, можливість точного дозування.	Необхідність спеціального обладнання, висока вартість технології.
Термічна обробка (гаряче повітря, пар, інфрачервоне випромінювання)	Використання високих температур (вище 60°C) для знищення шкідників та патогенної мікрофлори.	Відсутність хімічного впливу, ефективність проти всіх стадій розвитку комах-шкідників.	Висока енергозатратність, можливість пошкодження зерна (зміна вологості, погіршення схожості насіння).
Механічне очищення (аеросепарація, фракціонування)	Відділення заражених зерен, пилу, комах, спор грибків за допомогою потоків повітря або механічних сил.	Безпечність, екологічність, покращення якості зерна.	Не усуває мікроорганізми, необхідність комбінування з іншими методами.

Озонування зерна є ефективним методом знезараження, що дозволяє знижувати кількість патогенних мікроорганізмів, таких як гриби та бактерії, зменшувати рівень плісняви і продовжувати термін зберігання зерна. Точні параметри можуть варіюватися в залежності від конкретного типу зерна та умов обробки

Параметрами озонування зерна для знезараження

Параметри	Значення
Концентрація озону (O ₃)	10–50 мг/м ³
Температура	15–25°C
Час експозиції	15–60 хвилин
Вологість зерна	12–14%

Потік озонованого повітря	1–3 м³/год
Тип озонатора	Повітряний, генератор озону, використовують озонатори, що мають потужність 1–10 г/год
Час знезараження	Від 20 до 40 хвилин залежно від умов і рівня забруднення
Кількість обробок	1–2 обробки в залежності від типу зерна та рівня забруднення
Ефективність знезараження	Зниження рівня мікроорганізмів на 90–99%, в залежності від тривалості та концентрації озону
Параметри озонування	Технологічний процес полягає в озонуванні зерна під тиском, безпосередньо перед зберіганням

Параметрами дії інфрачервоних та ультрафіолетових променів для знезараження зерна

Метод	Параметри	Значення
Інфрачервоні промені	Діапазон хвиль	700–1500 нм
	Температура зерна	50–70°C
	Час обробки	5–20 хвилин
	Потужність інфрачервоних променів	50–100 Вт/м²
	Ефективність знезараження	Зниження кількості мікроорганізмів на 80–90%
Ультрафіолетові промені	Діапазон хвиль	200–280 нм
	Інтенсивність УФ-випромінювання	10–50 мкВт/см²
	Час обробки	15–30 хвилин
	Ефективність знезараження	Зниження кількості патогенних мікроорганізмів на 90–99%, включаючи бактерії та гриби
	Розташування зерна	Зерно повинно бути рівномірно розподілене для досягнення однакової дії УФ-променів
Ефективність загальна	Рівень знезараження	Ультрафіолетові промені часто забезпечують вищу ефективність у порівнянні з інфрачервоними, особливо для грибів і бактерій

Інфрачервоні промені можуть бути ефективними для знезараження та активації певних фізико-хімічних процесів в зерні, таких як зниження рівня

вологості та руйнування мікроорганізмів. Ультрафіолетові промені діють шляхом знищення ДНК або РНК мікроорганізмів, що призводить до їх загибелі, і часто застосовуються для дезінфекції продуктів, зокрема в харчовій промисловості.



Послідовність виконання роботи

5.1 Ознайомитись з інформацією наведеною у теоретичній частині.

5.2 Дослідження рекомендовано проводити на пшениці з метою встановлення впливу оброблення на технологічні властивості, а саме на кількість та якість клейковини.

5.3 Згідно варіанту провести обробку пшениці, визначити вологість (табл. 5.1).

Таблиця 5.1- Зведена таблиця даних

№ з/п	Маса зерна, г	t зерна, С°	Вид обробки	Параметри оброблення	Вологість зерна, %
Сухе зерно					
1	100		необроблене		
2	100		озон		
3	100		УФ промені		
4	100		ІЧ промені		
Зволожено зерно					
5	100		необроблене		
6	100		озон		
7	100		УФ промені		
8	100		ІЧ промені		

5.4 Визначити кількість і якість клейковини у контрольного зразку та зразках після обробки, результати занести до табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати досліджень за станом клейковини

№ варіанту	Кількість сирої клейковини	Група якості	ВДК

5.5 Провести підготовку та дослідження з виявлення мікрофлори зерна відповідно до пунктів 1.1.5- 1.1.7 (лабораторна робота №1).

5.6 Зробіть висновки за проведеними дослідженнями

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ



1. Що є основним механізмом дії озону на мікроорганізми в зерні під час зберігання?
2. Які параметри озонування зерна є критичними для досягнення максимального ефекту знезараження?
3. Які переваги та недоліки має використання інфрачервоних променів для знезараження зерна?
4. Як ультрафіолетові промені впливають на мікроорганізми в зерні і які є їхні параметри ефективного використання?
5. Які мікроорганізми в зерні найбільше піддаються впливу озону, інфрачервоних та ультрафіолетових променів?
6. Які фактори впливають на ефективність знезараження зерна озоном?
7. Як інфрачервоні промені можуть покращити якість зерна під час знезараження?
8. Які наслідки можуть виникнути при надмірному використанні ультрафіолетових променів для знезараження зерна?
9. Які є основні відмінності в ефективності озонування та ультрафіолетового випромінювання для знезараження зерна?
10. Який вплив має температура зерна під час обробки інфрачервоними променями на його біологічну активність?



ЛІТЕРАТУРА

1. Дударев, І. І. Технологія очищення зерна злакових культур: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / І. І. Дударев. — К.: Вища школа, 2018. — 256 с.
2. Нечипоренко, С. В. Технології очищення і зберігання зерна / С. В. Нечипоренко. — Харків: ХНАУ, 2017. — 320 с.
3. Тимошенко, О. В. Сучасні методи очищення зерна та їх автоматизація / О. В. Тимошенко, А. В. Шевченко. — Полтава: Полтавська державна аграрна академія, 2020. — 210 с.
4. Костюк, І. О. Основи технології очищення зерна / І. О. Костюк, С. О. Лавренко. — Харків: ХНАУ, 2019. — 184 с.
5. Жолудев, О. М. Інноваційні методи очищення зерна та їх застосування в агропромисловому виробництві / О. М. Жолудев, І. С. Козак. — Київ: НУБіП, 2021. — 300 с.
6. Бондаренко, М. В. Техніка та технологія очищення зерна в умовах автоматизації / М. В. Бондаренко, В. І. Демченко. — Луцьк: Волинська державна академія, 2018. — 238 с.
7. Лисенко, А. В. Сучасні технології зерноочистки в Україні: екологічний аспект / А. В. Лисенко. — Київ: Аграрна наука, 2016. — 201 с.
8. Гудзінський, В. І. Очищення зерна в процесах його обробки: методи та технології / В. І. Гудзінський, І. В. Мельник. — Львів: ЛНАУ, 2019. — 275 с.
9. Лебедев, В. Г. Сушіння зерна в аграрному виробництві: технології, обладнання, ефективність. Київ: Аграрна наука, 2018. 356 с.
10. Савченко, І. В. Сушіння зерна: теоретичні та практичні аспекти. Харків: ХНТУСГ, 2017. 264 с.
11. Михайленко, В. М., Василенко, М. В. Інноваційні технології сушіння зерна: сучасні досягнення та перспективи. Миколаїв: Миколаївський державний аграрний університет, 2020. 175 с.
12. Кравченко, М. С., Вікторов, С. Л. Сушіння зерна: технологічні процеси та енергозбереження. Одеса: Одеський державний аграрний університет, 2019. 301 с.
13. Мельник, І. С., Тесленко, А. М. Ефективність сушіння зерна при використанні новітніх технологій. Агроекологія, 2021, № 4, с. 115-123.
14. Бойко, А. П., Романенко, О. О. Технічні засоби для сушіння зерна в сучасних умовах. Вісник аграрної науки, 2016, № 2, с. 49-55.
15. Савчук, В. М., Ткач, І. О. Вентиляція зернової маси в сучасних зерносховищах: навч. посіб. — Київ: НУБіП України, 2017. — 150 с.
16. Поліщук, О. І. Технології зберігання зерна в сучасних зерносховищах. Вентиляція та контроль за збереженням якості. — Чернівці: ЧНУ, 2015. — 120 с.
17. Шевченко, В. І. Вентиляційні системи зерносховищ: принципи, технології, ефективність. — Харків: ХДТУ, 2018. — 175 с.

18. Дударєв, І. І. Основи технології зберігання зерна. Вентиляція та її роль в збереженні якості продукції. – Одеса: ОДАУ, 2016. – 200 с.
19. Гаврилюк, В. В. Автоматизація вентиляційних систем зерносховищ. – Київ: НТУУ «КПІ», 2020. – 140 с.
20. Смирнов, В. А. Моделювання та оптимізація вентиляції зернової маси. – Дніпро: ДНУ, 2019. – 190 с.
21. Іванова, О. М. Вентиляція в системах зберігання зерна: принципи та методи управління. – Львів: ЛНУ, 2021. – 170 с.
22. Мельниченко, О. О. "Технології та обладнання для підвищення збереження зерна під час його транспортування та зберігання." Вісник аграрної науки, 2019, № 6, с. 123–130.
23. Іванова, Н. А. "Сучасні методи зберігання зерна: технології та обладнання." Агропромисловий комплекс: економіка, управління, 2021, № 4, с. 45–52.
24. Тимченко, В. П. "Зниження травмування зерна при механізованому транспортуванні та обробці." Проблеми механізації агропромислового комплексу, 2020, № 8, с. 100–106.
25. Сенченко, Л. І. "Розробка технологій і обладнання для зберігання зерна з мінімальним травмуванням." Харків: ХНАУ, 2020. – 158 с.
26. Рогачев, Ю. І. "Вплив механічних пошкоджень зерна на його якість та методи мінімізації травмування." Журнал технологій та механізації сільського господарства, 2018, № 2, с. 59–64.
27. Коваль, В. В. "Новітні технології зберігання зерна: теоретичні та практичні аспекти." Агропромисловий комплекс: наука і виробництво, 2021, № 4, с. 55–62.
28. Панченко, А. І. "Інноваційні методи та технології зберігання зерна в аграрному секторі." Вісник аграрної науки, 2020, № 7, с. 80–86.
29. Федорова, І. С. "Перспективи впровадження нових технологій зберігання зерна в Україні." Технології зберігання та обробки продукції, 2022, № 9, с. 113–119.
30. Левченко, О. П. "Технологічні новації в системах зберігання зерна." Технічні засоби агропромислового комплексу, 2019, № 6, с. 88–94.
31. Шевченко, Д. В. "Інноваційні технології зберігання зерна та їх вплив на якість продукції." Журнал сільськогосподарської техніки, 2021, № 5, с. 72–78.
32. Дударєв, І. І. "Інноваційні методи знезараження зерна: від традиційних до сучасних технологій." Вісник аграрної науки, 2021, № 8, с. 34–41.
33. Мельник, І. П. "Застосування новітніх технологій для знезараження зерна в аграрному секторі." Технології та інновації в агрономії, 2020, № 6, с. 89–94.
34. Єременко, Т. В. "Інноваційні методи обробки зерна: озонування, ультрафіолет та біотехнології." Вісник аграрної техніки, 2022, № 2, с. 56–60.
35. Коваленко, О. М. "Перспективи використання інноваційних методів

- зnezараження зерна в Україні." Проблеми сільськогосподарської механіки, 2020, № 9, с. 101–107.
36. Лисенко, О. С. "Нанотехнології у зnezараженні зерна: нові підходи та перспективи." Технічні аспекти агропромислового виробництва, 2021, № 4, с. 45–50.
 37. Остроменко, О. В. "Методи управління ризиками при зберіганні зерна: теоретичні та практичні аспекти." Вісник аграрної науки, 2021, № 5, с. 42–48.
 38. Павленко, І. Г. "Аналіз ризиків при зберіганні зерна та методи їх мінімізації." Технології зберігання сільськогосподарської продукції, 2020, № 7, с. 55–61.
 39. Гончарук, В. І. "Моделювання ризиків та оптимізація процесів зберігання зерна." Економіка та управління аграрним виробництвом, 2022, № 4, с. 76–82.
 40. Лобач, В. О. "Управління ризиками в процесах зберігання зерна: інноваційні підходи." Журнал агротехнічних інновацій, 2020, № 10, с. 98–105.
 41. Мельничук, С. В. "Використання інформаційних технологій для управління ризиками при зберіганні зерна." Науковий вісник аграрних технологій, 2021, № 6, с. 112–118.
 42. Задорожний, А. М. "Аналіз та прогнози розвитку зернового ринку України: сучасний стан та тенденції." Економіка агропромислового комплексу, 2021, № 3, с. 44–50.
 43. Ковальчук, М. Ю. "Динаміка та структура зернового ринку України: економічні та соціальні аспекти." Журнал аграрної економіки, 2020, № 7, с. 25–32.
 44. Шевченко, Т. А. "Формування конкурентоспроможності зернового ринку України в умовах глобалізації." Науковий вісник економіки та управління, 2022, № 12, с. 88–94.
 45. Черненко, В. О. "Стратегія розвитку зернового ринку України: проблеми та можливості." Український аграрний журнал, 2021, № 6, с. 61–67.
 46. Яковенко, Л. В. "Оцінка ефективності зернового ринку України та його роль у світовій торгівлі." Міжнародний журнал економічних досліджень, 2021, № 4, с. 113–118.
 47. Лапін В. М., Ковальчук І. В. Технології післязбиральної обробки зерна. Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2019.
 48. Іванченко П. І. Технологічні процеси зберігання зерна: інноваційний підхід. – Харків: ХНАУ, 2021.
 49. Беспалов О. О. Сучасні технології зберігання зерна та зернопродуктів – К.: Аграрна наука, 2020.
 50. Пономарьов С. А. Інноваційні методи сушіння зернових культур // Вісник аграрної науки, 2021, №4, с. 45-52.
 51. Гончарук Ю. В. Мікрохвильова технологія сушіння зерна: переваги та перспективи впровадження // Науковий журнал «Агроінженерія», 2022,

- т. 10, №2, с. 102-110.
- 52.Присяжнюк, М. Ф. "Обґрунтування параметрів процесу сушіння зерна озонованим агентом." Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Вінницький національний аграрний університет, 2015.
 - 53.Дударев, І. І. "Поверхнева обробка зерна злакових культур озono-повітряною сумішшю." Вісник Одеського державного аграрного університету, вип. 40, т. 1, 2011, с. 49–53.
 - 54."Чинники, що визначають тривалість зберігання зерна." Agroexpert, 2020. https://agroexpert.ua/chynnyky-shcho-vyznachaiut-tryvalist-zberihannia-zerna/?utm_source=chatgpt.com
 - 55.Книш, С. А. "Використання азоту для зберігання зерна." Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету, вип. 2, 2017, с. 45–50.
 - 56.Петренко, В. П. "Технології зберігання зерна в контрольованому газовому середовищі." Вісник аграрної науки, №3, 2018, с. 22–27.
 - 57.Черкаська обласна споживча спілка. Охолоджене зберігання зерна — запорука довготривалого зберігання без втрат. — Режим доступу: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/novyny/4510-okholodzhennia-zerna-zaporuka-dovhotryvaloho-zberihannia-bez-vtrat>
 - 58.Пропозиція. Вплив охолодження зерна на процес зберігання. — Режим доступу: <https://propozitsiya.com/ua/vpliv-oholodzhennya-zerna-na-proces-zberigannya>
 - 59.Державна служба з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів. Охолодження зерна і як метод довготривалого зберігання. — Режим доступу: <https://dp.dpss.gov.ua/news/okholodzhennia-zerna-iak-metod-dovhotryvaloho-zberihannia>
 - 60.Бібліотека "Букліб". Вплив охолодження зерна на процес зберігання. — Режим доступу: https://buklib.net/books/23382/?utm_source=chatgpt.com
 - 61.Топчий, О. І., & Шершнев, Ю. Ю. "Застосування озону для обробки зерна та збереження його якості під час зберігання." *Наукові праці*, вип. 12, 2020, с. 75–85.
 - 62.Bai, Y., & Zhang, J. "Comparison of ozone and UV-C treatment for microbial decontamination in cereal grains." *Food Research International*, т. 137, 2021, 109454. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109454>
 - 63.Hussain, M., & Jabeen, N. "Effectiveness of ozone, infrared, and UV-C treatments in postharvest decontamination of grains." *Food Control*, т. 116, 2020, 107308. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107308>
 - 64.Коваленко М.В. Економічне обґрунтування інноваційних технологій зберігання зерна // Економіка та суспільство. — 2022. — № 16. — С. 53-59.
 - 65.Бараболя О. В., Кириченко Д. В. Перспективні технології зберігання зерна під час надзвичайних ситуацій // Збірник наукових праць «Вісник Полтавської державної аграрної академії». — 2022. — № 1. — С. 12-18.



Тестові питання

1. **Яка інноваційна технологія очищення зерна використовує ультразвукові хвилі для відділення забруднень?**
 - a) Пневматичний метод
 - b) Ультразвукова обробка
 - c) Магнітне очищення
2. **Яка з наступних технологій дозволяє використовувати високі температури для очищення зерна від шкідників?**
 - a) Парова обробка
 - b) Інфрачервоне випромінювання
 - c) Озонування
3. **Яка інноваційна технологія очищення зерна дозволяє використовувати газове середовище для знищення мікроорганізмів?**
 - a) Озонування
 - b) Пневматичний метод
 - c) Підігрівання
4. **Яка технологія застосовується для очищення зерна від шкідників без використання хімічних речовин?**
 - a) Озонування
 - b) Ультрафіолетове опромінення
 - c) Інфрачервоне випромінювання
5. **Який метод очищення зерна вважається найбільш перспективним для збільшення терміну зберігання без застосування хімічних речовин?**
 - a) Озонування
 - b) Пневматичний метод
 - c) Ультразвукове очищення
6. **Яка з перерахованих технологій використовується для автоматизації процесу очищення зерна та управління якістю?**
 - a) Високочастотний нагрів
 - b) Інтернет речей (IoT)
 - c) Штучний інтелект
7. **Який метод очищення зерна використовує електростатичні сили для відділення дрібних часток?**
 - a) Пневматичний метод
 - b) Магнітне очищення
 - c) Електростатичний метод
8. **Яка з наступних технологій допомагає зменшити використання хімічних засобів для знезараження зерна?**
 - a) Озонування

- b) Ультрафіолетове випромінювання
 - c) Підігрівання
9. **Яка з перерахованих технологій використовує інфрачервоні промені для видалення забруднень?**
- a) Магнітне очищення
 - b) Інфрачервоне випромінювання
 - c) Ультразвукова обробка
10. **Яка з інноваційних технологій очищення зерна використовується для виявлення та видалення мікробіологічних забруднень?**
- a) Озонування
 - b) Ультрафіолетове опромінення
 - c) Вібраційне очищення
11. **Який метод очищення зерна заснований на використанні магнітних полів для відокремлення металевих часток?**
- a) Магнітне очищення
 - b) Пневматичний метод
 - c) Ультразвукова обробка
12. • **Яка технологія очищення зерна використовується для видалення дрібних часток та пилу за допомогою повітряного потоку?**
- a) Пневматичний метод
 - b) Інфрачервоне випромінювання
 - c) Магнітне очищення
13. • **Який інноваційний метод очищення зерна базується на використанні високочастотних хвиль для руйнування забруднень?**
- a) Ультразвукове очищення
 - b) Озонування
 - c) Ультрафіолетове опромінення
14. • **Яка з наступних технологій очищення зерна дозволяє видаляти шкідників за допомогою змін температури в середині зерна?**
- a) Парова обробка
 - b) Інфрачервоне випромінювання
 - c) Теплове оброблення
15. • **Яка з наступних технологій сушіння зерна використовує низькотемпературний метод для збереження якості продукту?**
- a) Вакуумне сушіння
 - b) Гаряче повітряне сушіння
 - c) Мікрохвильове сушіння
16. • **Яка інноваційна технологія сушіння зерна дозволяє уникнути перегріву продукту та зберегти його поживні властивості?**
- a) Сонячне сушіння
 - b) Сушіння в умовах низького тиску
 - c) Сушіння з використанням нанотехнологій

- 17.● **Яка технологія сушіння зерна за допомогою використання інфрачервоних променів забезпечує швидке випаровування вологи з зерна?**
- a) Сушіння за допомогою гарячого повітря
 - b) Інфрачервоне сушіння
 - c) Сушіння в обігрівачах
- 18.● **Яка з наступних технологій сушіння зерна використовує активне видалення вологи при низькому тиску?**
- a) Вакуумне сушіння
 - b) Ультразвукове сушіння
 - c) Мікрохвильове сушіння
- 19.● **Який метод сушіння зерна є ефективним для зменшення часу сушіння і одночасно зберігає структуру зерна?**
- a) Інфрачервоне сушіння
 - b) Сушіння мікрохвильовим методом
 - c) Теплове сушіння
- 20.● **Яка технологія сушіння використовує потік гарячого газу для швидкого видалення вологи з зерна?**
- a) Сушіння за допомогою гарячого повітря
 - b) Вакуумне сушіння
 - c) Ультрафіолетове сушіння
- 21.● **Якому методу сушіння зерна притаманна висока енергоефективність завдяки використанню низькотемпературного процесу?**
- a) Сушіння в низькотемпературних камерах
 - b) Теплове сушіння
 - c) Ультразвукове сушіння
- 22.● **Яка з технологій сушіння зерна може значно скоротити час обробки завдяки швидкому нагріву води всередині зерна?**
- a) Мікрохвильове сушіння
 - b) Теплове сушіння
 - c) Інфрачервоне сушіння
- 23.● **Яка інноваційна технологія сушіння зерна дозволяє підвищити продуктивність і знизити енерговитрати при сушінні великих обсягів зерна?**
- a) Вакуумне сушіння
 - b) Сушіння з використанням нанотехнологій
 - c) Сонячне сушіння
- 24.● **Яка з наступних технологій сушіння використовується для збереження поживних властивостей зерна при низьких температурах?**
- a) Льодовий метод сушіння
 - b) Заморожене сушіння
 - c) Сушіння мікрохвильовим методом

- 25.● **Яка з інноваційних технологій сушіння дозволяє застосовувати оптимальні параметри температури для швидкого висушування зерна?**
а) Інфрачервоне сушіння
б) Гарячий повітряний потік
с) Сонячне сушіння
- 26.● **Який метод сушіння зерна дозволяє знизити ризик перегріву та зберегти його органолептичні властивості?**
а) Мікрохвильове сушіння
б) Вакуумне сушіння
с) Гаряче повітряне сушіння
- 27.● **Яка з наступних технологій вентиляції зернової маси забезпечує найефективніше розподілення повітря для підтримки оптимальних умов зберігання?**
а) Системи з вертикальним потоком повітря
б) Системи з горизонтальним потоком повітря
с) Природна вентиляція
- 28.● **Яка інноваційна технологія вентиляції зернової маси використовує інтелектуальні датчики для автоматичного контролю параметрів повітря?**
а) Інтернет речей (IoT)
б) Використання азотних вентиляторів
с) Використання традиційних вентиляторів
- 29.● **Яка з наступних технологій є найбільш підходящою для забезпечення рівномірного повітряного потоку в зерновій масі?**
а) Гібридні системи вентиляції
б) Системи з горизонтальним потоком повітря
с) Природна вентиляція
- 30.● **Який тип вентиляційної системи є найбільш ефективним для зменшення утворення конденсату в зерновій масі?**
а) Система з автоматичним контролем вологості
б) Система з природним потоком повітря
с) Ручні системи вентиляції
- 31.● **Яка технологія вентиляції дозволяє мінімізувати втрати зерна за рахунок поліпшення параметрів зберігання?**
а) Вентиляція з використанням інфрачервоних променів
б) Вентиляція за допомогою Інтернету речей (IoT)
с) Природна вентиляція
- 32.● **Яка з наступних систем вентиляції зернової маси забезпечує автоматичне коригування параметрів потоку повітря в залежності від умов?**
а) Системи з автоматичним контролем
б) Ручні системи вентиляції
с) Просте механічне вентилявання

- 33.● **Яка інноваційна технологія допомагає уникнути перегріву зерна під час зберігання?**
a) Вентиляція з низькотемпературним повітрям
b) Використання теплових насосів
c) Вентиляція з високою швидкістю повітря
- 34.● **Що є основною перевагою вентиляювання зернової маси за допомогою сенсорних систем?**
a) Автоматичний контроль температури та вологості
b) Використання додаткової енергії для вентиляції
c) Підвищена швидкість повітряного потоку
- 35.● **Яка з технологій вентиляції зернової маси дозволяє контролювати вологість та температуру зерна в реальному часі?**
a) Використання Інтернету речей (IoT)
b) Природне провітрювання
c) Системи з горизонтальним потоком повітря
- 36.● **Яка система вентиляції є найбільш ефективною для уникнення перегріву влітку при зберіганні зерна?**
a) Система з вертикальним потоком повітря
b) Гібридні вентиляційні системи
c) Природна вентиляція
- 37.● **Яка з наведених технологій є основною в автоматизованих системах вентиляції зернових сховищ?**
a) Використання датчиків вологості та температури
b) Ручне регулювання вентиляторів
c) Постійне включення потоку повітря
- 38.● **Яка технологія вентиляції зернової маси дозволяє забезпечити рівномірний повітряний потік в обмежених просторах?**
a) Механічне вентиляювання з фільтрацією повітря
b) Система з горизонтальним потоком повітря
c) Вентиляція з тепловими насосами
- 39.● **Яка з інноваційних технологій дозволяє знизити енерговитрати на вентиляцію зернової маси при збереженні високої ефективності?**
a) Використання низькотемпературних вентиляторів
b) Системи з природним потоком повітря
c) Використання сонячної енергії для вентиляції
- 40.● **Яка з систем вентиляції зернової маси вважається найбільш підходящою для збереження оптимальних умов при різних погодних умовах?**
a) Вентиляція за допомогою Інтернету речей (IoT)
b) Природна вентиляція
c) Вентиляція за допомогою теплових насосів
- 41.● **Яка з технологій вентиляції зернової маси допомагає знижувати ризик розвитку грибків і плісняви?**
a) Використання ультрафіолетових променів

- b) Інтелектуальні системи вентиляції з автоматичним контролем температури та вологості
 - c) Сонячне сушіння
42. • **Яка технологія зберігання зерна є найбільш ефективною для зниження травмування під час транспортування?**
- a) Використання вентиляційних систем
 - b) Автоматизовані конвеєрні лінії
 - c) Ручне завантаження
43. • **Який тип обладнання для очищення зерна дозволяє мінімізувати його механічне пошкодження?**
- a) Вібраційні ситові машини
 - b) Обертальні барабани
 - c) Ротаційні екструдери
44. • **Якого типу механічні машини найкраще підходять для обробки зерна без пошкоджень його структури?**
- a) Ручні млини
 - b) Легкі вібраційні машини
 - c) Традиційні прес-машини
45. • **Яка з технологій дозволяє знижувати механічні пошкодження зерна під час його сушіння?**
- a) Сушіння в ротаційних барабанах
 - b) Інфрачервоні сушарки з низьким рівнем температури
 - c) Сушіння на відкритому повітрі
46. • **Яка з технологій зберігання зерна дозволяє уникнути його деформації та підвищити якість продукції?**
- a) Сушіння за допомогою газового середовища
 - b) Вентиляція з контролем температури та вологості
 - c) Пакування зерна в пластикові мішки
47. • **Яка система транспортування зерна мінімізує його механічне пошкодження?**
- a) Використання вертикальних елеваторів
 - b) Гладкі, неперервні конвеєрні стрічки
 - c) Транспортні трубопроводи
48. • **Яка з наступних характеристик є критично важливою для збереження зерна під час механічної обробки?**
- a) Висока температура
 - b) Повільний рух зерна
 - c) Висока швидкість транспортування
49. • **Яка технологія дозволяє зберегти зерно без пошкоджень, при цьому забезпечуючи його хорошу вентиляцію?**
- a) Використання хімічних консервантів
 - b) Вентиляція з регульованою швидкістю повітря
 - c) Транспортування в герметичних контейнерах

- 50.● **Яка система охолодження зерна допомагає уникнути його перегріву та механічного пошкодження?**
а) Система охолодження рідким азотом
б) Охолоджувачі з розподілом холодного повітря
в) Використання вологого повітря
- 51.● **Яке з наступних обладнань допомагає забезпечити акуратне завантаження зерна з мінімальним травмуванням?**
а) Стандартні обробні машини
б) Автоматизовані системи завантаження
в) Ручні конвеєри
- 52.● **Яка технологія зберігання зерна є найбільш ефективною для зниження механічного пошкодження?**
а) Зберігання в тканинних мішках
б) Зберігання в герметичних контейнерах з контролем вологості
в) Зберігання в цементних силосах
- 53.● **Яка з технологій сушіння зерна забезпечує найменше механічне пошкодження?**
а) Сушіння за допомогою ультрафіолетових променів
б) Сушіння за допомогою низькотемпературних вентиляторів
в) Гарячий повітряний потік
- 54.● **Який метод зберігання зерна дозволяє уникнути травмування при тривалому зберіганні?**
а) Використання сухих зернових камерах з автоматичним контролем
б) Періодичне перекидання зерна вручну
в) Використання високих температур для знезараження
- 55.● **Яка з технологій охолодження зерна забезпечує мінімальні механічні пошкодження в порівнянні з іншими методами?**
а) Охолодження з допомогою твердих газів
б) Охолодження зерна шляхом контролю рівня температури в середині сховища
в) Водяні охолоджувачі
- 56.● **Яка з систем захисту зерна від механічних пошкоджень є найбільш ефективною при його транспортуванні?**
а) Використання захисних пакетів
б) Вакуумні системи для транспортування зерна
в) Системи з пневматичним транспортуванням
- 57.● **Який з інноваційних методів зберігання зерна дозволяє значно зменшити втрати від вологи?**
а) Використання герметичних контейнерів з контролем вологості
б) Зберігання зерна в дерев'яних складах
в) Зберігання зерна без вентиляції
- 58.● **Який метод зберігання зерна забезпечує його максимальну безпеку від шкідників?**
а) Використання азотного середовища

- b) Регулярне провітрювання
 - c) Використання природних консервантів
59. • **Що дозволяє технологія озонування зерна?**
- a) Захист від мікроорганізмів і шкідників
 - b) Зниження вмісту вологи в зерні
 - c) Підвищення температури зерна
60. • **Який з методів знезараження зерна є інноваційним та не використовує хімічних речовин?**
- a) Озонування
 - b) Протравлювання пестицидами
 - c) Обробка зерна гарячим повітрям
61. • **Для чого використовуються спеціалізовані автоматизовані системи в інноваційних методах зберігання зерна?**
- a) Для моніторингу температури та вологості
 - b) Для обробки зерна ультрафіолетовим світлом
 - c) Для упаковки зерна
62. • **Що дозволяє технологія обробки зерна інфрачервоними променями?**
- a) Зниження температури в зернових складах
 - b) Знищення мікроорганізмів без пошкодження зерна
 - c) Підвищення вмісту води в зерні
63. • **Яка технологія є найбільш перспективною для зберігання зерна в умовах безконтактного зберігання?**
- a) Зберігання у вакуумі
 - b) Газове середовище (азот і вуглекислий газ)
 - c) Підвищена вологість навколишнього середовища
64. • **Які переваги надає використання інтернету речей (IoT) для зберігання зерна?**
- a) Зниження витрат на упаковку
 - b) Автоматичний контроль умов зберігання зерна
 - c) Підвищення температури в зернових складах
65. • **Який метод знезараження зерна використовує ультразвукові хвилі?**
- a) Високочастотний ультразвуковий метод
 - b) Обробка озonom
 - c) Протравлення хімічними засобами
66. • **Яка інноваційна технологія зберігання зерна використовується для збереження зерна без застосування хімії?**
- a) Використання вакуумних пакетів
 - b) Системи з автоматичним контролем температури та вологості
 - c) Використання теплоізоляційних матеріалів
67. • **Який з методів вентиляції є інноваційним для зберігання зерна в сучасних складах?**
- a) Використання систем із змінним напрямком повітря

- b) Використання автоматизованих систем з безперервним моніторингом
 - c) Природна вентиляція без контролю
68. • **Що є основною метою застосування технології інфрачервоного випромінювання при зберіганні зерна?**
- a) Зниження вологості зерна
 - b) Дезінфекція зерна без пошкоджень
 - c) Підвищення температури зерна
69. • **Що таке "динамічне зберігання" зерна в сучасних технологіях?**
- a) Зберігання зерна в постійному русі через систему конвеєрів
 - b) Використання інтегрованих технологій для оптимізації умов зберігання
 - c) Постійне переміщення зерна між складами
70. • **Як технологія лазерного сканування використовується в інноваційних методах зберігання зерна?**
- a) Для визначення рівня вологості зерна
 - b) Для моніторингу пошкоджень зерна та шкідників
 - c) Для автоматичного сортування зерна за кольором
71. • **Яка технологія зберігання зерна сприяє збереженню його якості без пошкоджень протягом тривалого часу?**
- a) Зберігання при низьких температурах у герметичних сховищах
 - b) Сушіння на відкритому повітрі
 - c) Зберігання в контейнерах з підвищеною вологістю
72. • **Який з методів знезараження зерна є інноваційним і не використовує хімічних препаратів?**
- a) Озонування
 - b) Протравлення пестицидами
 - c) Терапевтичне оброблення паром
73. • **Що є основною метою використання технології озонування для знезараження зерна?**
- a) Підвищення вологості зерна
 - b) Знищення мікроорганізмів та шкідників
 - c) Збереження температури зерна
74. • **Який метод знезараження зерна забезпечує обробку ультрафіолетовим випромінюванням?**
- a) Хімічне протравлення
 - b) Ультрафіолетова стерилізація
 - c) Протравлення теплою водою
75. • **Для яких цілей використовується технологія холодного плазмового оброблення зерна?**
- a) Для збільшення врожайності зернових культур
 - b) Для знищення мікроорганізмів і шкідників
 - c) Для підвищення рівня вологості в зерні

- 76.● **Що забезпечує застосування біотехнологій при знезараженні зерна?**
- a) Вплив на хімічний склад зерна
 - b) Використання природних процесів для знищення мікроорганізмів
 - c) Підвищення температури зерна
- 77.● **Яка з технологій використовується для знезараження зерна без використання хімічних засобів та високих температур?**
- a) Ультразвукові хвилі
 - b) Протравлення хімічними речовинами
 - c) Низькотемпературна сушка
- 78.● **Який з методів дозволяє зберегти поживну цінність зерна після обробки для знезараження?**
- a) Технологія озонування
 - b) Теплова обробка
 - c) Хімічне протравлення
- 79.● **Яка інноваційна технологія знезараження зерна дозволяє знищити шкідників без пошкодження самого зерна?**
- a) Озонування
 - b) Обробка пестицидами
 - c) Протравлення високими температурами
- 80.● **Що є перевагою використання технології мікрохвильового випромінювання для знезараження зерна?**
- a) Знищення шкідників та збереження поживних речовин
 - b) Підвищення вологості в зерні
 - c) Підвищення температури в складі
- 81.● **Яка технологія дозволяє знезаражувати зерно шляхом генерування високочастотних хвиль?**
- a) Мікрохвильова обробка
 - b) Озонування
 - c) Термічне оброблення
- 82.● **Яка інновація застосовується для дезінфекції зерна при його зберіганні?**
- a) Використання ультрафіолетових променів
 - b) Протравлення хімічними засобами
 - c) Періодичне провітрювання
- 83.● **Що таке метод термічної обробки зерна для знезараження?**
- a) Використання високих температур для знищення мікроорганізмів
 - b) Сушіння зерна в природних умовах
 - c) Протравлення з застосуванням солей
- 84.● **Який з методів знезараження зерна є найбільш екологічно чистим?**
- a) Озонування
 - b) Обробка хімічними речовинами
 - c) Термічне оброблення

- 85.● **Що є основною метою використання нанотехнологій у знезараженні зерна?**
- a) Виведення токсичних речовин з зерна
 - b) Введення наночастинок для знищення мікроорганізмів та шкідників
 - c) Підвищення поживної цінності зерна
- 86.● **Яка з технологій є найбільш перспективною для дезінфекції зерна без впливу на його хімічний склад?**
- a) Озонування
 - b) Протравлення хімічними речовинами
 - c) Обробка зерна параами
- 87.● **Що є основним завданням управління ризиками при зберіганні зерна?**
- a) Максимізація продуктивності збору зерна
 - b) Забезпечення збереження якості зерна та мінімізація втрат
 - c) Підвищення температури зерна для покращення зберігання
- 88.● **Який з методів дозволяє зменшити ризики розвитку плісняви під час зберігання зерна?**
- a) Підвищення вологості
 - b) Контроль температури та вологості зерна
 - c) Використання хімічних протравників
- 89.● **Що є найбільш ефективним заходом для попередження ризиків, пов'язаних з шкідниками при зберіганні зерна?**
- a) Використання пестицидів
 - b) Озонування та інші фізичні методи
 - c) Збільшення вологості зерна
- 90.● **Який із наступних методів є основою для управління ризиками при зберіганні зерна?**
- a) Постійний контроль за мікробіологічними характеристиками зерна
 - b) Вибір оптимальних умов зберігання (температура, вологість, вентиляція)
 - c) Інтенсивне протравлення зерна
- 91.● **Який із факторів є критичним для контролю ризиків псування зерна?**
- a) Рівень кисню в атмосфері
 - b) Температура та вологість зерна
 - c) Вміст поживних речовин
- 92.● **Який метод дозволяє знизити ризик самозігрівання зерна при зберіганні?**
- a) Вентиляція та постійний контроль температури
 - b) Використання низькотемпературних кондиціонерів
 - c) Підвищення вологості зерна
- 93.● **Яка з технологій використовується для мінімізації втрат зерна при зберіганні?**
- a) Озонування

- b) Підвищення вмісту вологи
 - c) Обробка зерна хімічними засобами
94. • **Що є головним завданням при використанні Інтернету речей (IoT) у системах управління ризиками для зберігання зерна?**
- a) Підвищення рівня поживних речовин у зерні
 - b) Моніторинг та автоматичне управління умовами зберігання
 - c) Автоматичне пакування зерна
95. • **Які фактори ризику можуть бути визначені за допомогою сенсорних систем під час зберігання зерна?**
- a) Рівень кисню та вологості зерна
 - b) Вміст вуглекислого газу
 - c) Рівень вуглеводів у зерні
96. • **Що є основним елементом контролю за ризиками при зберіганні зерна у великих елеваторах?**
- a) Автоматизація вентиляції та температурного режиму
 - b) Протравлення зерна хімічними речовинами
 - c) Механічне очищення зерна
97. • **Що є важливим для моніторингу ризиків зараження зерна при зберіганні?**
- a) Підвищення температури в зернохосовищах
 - b) Регулярні перевірки на наявність шкідників та мікроорганізмів
 - c) Використання антибіотиків у зерні
98. • **Який метод допомагає управляти ризиками зберігання зерна в умовах змінного клімату?**
- a) Використання автоматичних систем з контролем мікроклімату
 - b) Підвищення рівня вологості в зернохосовищах
 - c) Зниження температури зберігання
99. • **Яка зернова культура є основною для експорту України?**
- a) Жито
 - b) Кукурудза
 - c) Овес
100. • **Яке місце займає Україна у світовому експорті пшениці?**
- a) Топ-10
 - b) Топ-5
 - c) Топ-20
101. • **Який фактор найбільше впливає на коливання цін на зерно в Україні?**
- a) Внутрішній попит
 - b) Світова кон'юнктура та валютний курс
 - c) Кількість фермерських господарств
102. • **Яка найбільша українська компанія є трейдером зерна?**
- a) Миронівський хлібопродукт
 - b) НІБУЛОН
 - c) Оболонь

- 103.● **Через які порти здійснюється найбільше експортних поставок українського зерна?**
а) Маріупольський, Ізмаїльський
б) Одеський, Чорноморський, Миколаївський
с) Ренійський, Южний
- 104.● **Який чинник найбільше впливає на врожайність зернових в Україні?**
а) Кількість аграрних підприємств
б) Погодні умови та якість ґрунтів
с) Кількість експортних контрактів
- 105.● **Яка основна проблема українського зернового ринку?**
а) Високі ціни на техніку
б) Недостатня логістична інфраструктура
с) Брак трудових ресурсів
- 106.● **Які країни є основними імпортерами українського зерна?**
а) Китай, Єгипет, Туреччина
б) Німеччина, Канада, Франція
с) Аргентина, США, Бразилія
- 107.● **Який показник характеризує рівень урожайності зернових?**
а) Кількість фермерських господарств
б) Центнери з гектара
с) Валовий дохід аграрного сектора
- 108.● **Яка структура аграрного виробництва України є найбільш поширеною у сфері зернових?**
а) Фермерські господарства
б) Аграрні холдинги
с) Державні сільськогосподарські підприємства
- 109.● **Який вид транспорту найбільш ефективний для перевезення зерна на далекі відстані?**
а) Автомобільний
б) Залізничний
с) Водний
- 110.● **Яке основне завдання державної політики в галузі зернового ринку України?**
а) Контроль цін на внутрішньому ринку
б) Підтримка експорту та покращення інфраструктури
с) Обмеження виробництва зернових

Навчальне видання

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ І ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНА

Розділ 1. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА

Навчально-методичний посібник

для здобувачів спеціальності 181 «Харчові технології»
другого (магістерського) рівня вищої освіти

за освітньою програмою «Технологія зернопродуктів та зернові ресурси»

Укладачі:

ФОМІНА Ірина Миколаївна
ГАВРИШ Тетяна Володимирівна
ШАНІНА Ольга Миколаївна
БОРОВІКОВА Наталя Олексіївна

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 8,87

Наклад ___ пр.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44