

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Семенчук Павло Володимирович

УДК 631.243

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування технологічних параметрів зберігання
насіннєвого зерна**

208 “Агроінженерія”

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

Керівник роботи

Білецький В.Р.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Семенчук Павло Володимирович. Обґрунтування технологічних параметрів зберігання насіннєвого зерна. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

В магістерській роботі обґрунтовано та експериментально підтверджена можливість зберігання насіннєвого зерна в герметичних контейнерах із розрідженим повітряним середовищем. При цьому спосіб зберігання повинен мати такі технологічні параметри: вологість зерна не вище 15,2%, граничний вміст кисню в повітряному середовищі всередині контейнера не нижче 14%, тиск повітряної суміші в робочому об'ємі контейнера 66 кПа. Для підтримання аеробного дихання насіння, що перебуває на зберіганні в контейнері з розрідженою атмосферою, проводять примусову аерацію зернового насипу з метою заміни відпрацьованої повітряної суміші із вмістом кисню нижче 14% на свіже зовнішнє повітря.

Навіть після тривалого зберігання (20 місяців) елітне насіння ярої пшениці категорії РС-3 у контейнері з розрідженою атмосферою зберігало свої посівні якості (чистота насіння 97,9%, вологість 13,5%, лабораторна схожість 95,2%, маса 1000 насінин 37 грам, зараженість хворобами 0,1%, комахами 2,8 шт/кг, сторонні запахи відсутні), при цьому природні втрати зерна за час зберігання не перевищували допустимі норми.

Ключові слова: насіння, сушка, зберігання, аерація, герметичні контейнери.

ANNOTATION

Semenchuk Pavlo Volodymyrovych. Substantiation of technological parameters of seed storage. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

The master's thesis substantiates and experimentally confirms the possibility of storing seed grain in sealed containers with a rarefied air environment. In this case, the storage method should have the following technological parameters: grain moisture content not exceeding 15.2%, maximum oxygen content in the air environment inside the container not lower than 14%, and air mixture pressure in the working volume of the container of 66 kPa. To maintain aerobic respiration of seeds stored in a container with a rarefied atmosphere, forced aeration of the grain bin is carried out to replace the exhaust air mixture with an oxygen content below 14% with fresh outside air.

Even after prolonged storage (20 months), elite spring wheat seeds of the RS-3 category in a container with a rarefied atmosphere retained their sowing qualities (seed purity 97.9%, moisture content 13.5%, laboratory germination 95.2%, weight of 1000 seeds 37 grams, disease infestation 0.1%, insect infestation 2.8 pcs/kg, no foreign odours), while natural grain losses during storage did not exceed the permissible norms.

Keywords: seeds, drying, storage, aeration, sealed containers.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАЯВНИХ РЕЖИМІВ ТА ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЄВОГО ЗЕРНА.....	8
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКЦІЇ ГЕРМЕТИЧНОГО КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЄВОГО ЗЕРНА В РОЗРІДЖЕНІЙ АТМОСФЕРІ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	22
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЄВОГО ЗЕРНА В РОЗРІДЖЕНІЙ АТМОСФЕРІ.....	32
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Уся історія розвитку людства пов'язана з виробництвом і зберіганням різноманітних продуктів тваринного та рослинного походження. Згадки про важливість зберігання зерна в давнину можна знайти в Біблії.

І в наші дні зберігання зерна й особливо насінневого фонду не втратило своєї значущості, тому що зі зростанням чисельності населення на землі щорічно приблизно на 6% знижується частка оброблюваної землі на душу населення.

Дефіцит продуктів харчування у світі вже зараз становить понад 60 млн. т [1].

Тому зберегти і довести до столу споживачів усю вирощену зернову продукцію є актуальним і першочерговим завданням усіх працівників агропромислового комплексу.

Ресурси зерна і продуктів його переробки мають стратегічне значення в забезпеченні продовольчої безпеки нашої країни, слугують одним із головних джерел зростання національного багатства.

Україна впевнено виходить на провідне місце у світі з виробництва та експорту зерна, за останні роки країна отримує досить високі валові збори зерна. Не останню роль у цьому процесі відіграють селянсько-фермерські господарства, зайняті виробництвом зерна. Але в сучасних економічних умовах, коли скоротився обсяг державних закупівель, і знизилася роль заготівельних елеваторів, господарствам не тільки доводиться виробляти зерно, а й зберігати його в очікуванні сезонного підвищення цін. Через слабку оснащеність і технічну базу господарств, а часом, незнання технологій зберігання мають місце зростання незапланованих втрат маси та якості зерна.

Основними причинами цих втрат є: біологічні втрати (що виникають у процесі дихання зерна, інтенсивність якого залежить від температури та

вологості докільля); втрати від життєдіяльності комах-шкідників, гризунів, які можуть проникнути в зернову масу.

Посів насінням низької якості навіть за сприятливих погодних умов призводить до зниження врожайності більш ніж на 10%.

Розроблення, застосування у виробництві науково обґрунтованих способів і технологій зберігання насіннєвого зерна, модернізація наявних зерноскладів та обладнання для зберігання зернової маси є актуальною науковою задачею, розв'язання якої дасть змогу уникнути втрат продукції та забезпечити виробників зерна – якісним насіннєвим матеріалом.

Об'єкт дослідження – технологічний процес зберігання насіннєвого зерна в металевому контейнері з розрідженим повітряним середовищем і примусовою аерацією міжзернового простору.

Предмет дослідження – експериментальні залежності зберігання насіннєвого зерна в металевому контейнері, дослідження утворення конденсату вологи під час аерації зернової маси та технологічні параметри контейнера.

Метою роботи є підвищення ефективності зберігання насіннєвого зерна в розрідженій атмосфері та визначення технологічних параметрів.

У зв'язку з поставленою метою в цій роботі вирішувалися такі науково-практичні завдання:

- проаналізувати науково-виробничий досвід зберігання насіннєвого зерна, виявити резерви підвищення ефективності технологічного процесу зберігання;
- експериментально уточнити раціональні значення параметрів зберігання насіннєвого зерна в розрідженій атмосфері;
- провести тривале зберігання насіннєвого зерна в розрідженій атмосфері.

Методи наукового дослідження. Під час виконання експериментальних досліджень застосовувалися як стандартні так і розроблені методики. Дослідження проводили на сертифікованому обладнанні, опрацювання результатів проводили з використанням методів математичної статистики та

програми Statistica 8. Оцінювання об'єкта дослідження під час проведення лабораторних і натурних випробувань здійснювали згідно з діючих ДСТУ.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Семенчук П.В.** Аналіз наявних режимів зберігання зерна. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 245-248.

2. Білецький В. Р., **Семенчук П. В.** Конструкції герметичного контейнера для зберігання насінневого зерна в розрідженій атмосфері. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 57-60.

3. Білецький В.Р., **Семенчук П.В.**, Хоменко С.М. Аналіз існуючих способів зберігання насінневого зерна. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для виробництва представляє розроблений металевий контейнер з розрідженим повітряним середовищем і примусовою аерацією міжзернового простору для зберігання насінневого зерна.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 44 сторінки комп'ютерного тексту, містить 16 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НАЯВНИХ РЕЖИМІВ ТА ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЄВОГО ЗЕРНА

Дослідженням фізіолого-біохімічних і техніко-технологічних засад зберігання зерна присвячено праці Є.А. Агрономова, І.В. Баскакова, В.Л. Кретовича, Л.А. Трісвятського, А.Н. Рєпіна, М.М. Кулешова, І.Г. Строни, М.Г. Голіка, М.Г. Хорошайлова, Б.В. Лесика, В.І. Аніскіна. У своїх роботах більшість дослідників виділяють такі режими зберігання зернових мас, як зберігання в сухому стані, в охолодженому стані та в герметичних умовах (без доступу повітря) [1].

В основі наявних режимів зберігання зернових мас лежать способи сповільнення життєвих циклів зерна за рахунок приведення його в стан ксероанабіозу, термоанабіозу або аноксидіозу. Кожен із цих станів передбачає властивий тільки йому режим зберігання зерна. У стан ксероанабіозу зерно можна привести шляхом його зневоднення, за рахунок чого знизити фізіологічну активність більшості компонентів зернової маси. Критична вологість для всіх зернових і зернобобових культур становить 12-14%. Зневоднення зерна до значень, нижчих за критичний, призводить до того, що в зерні значно сповільнюється газообмін, усі живі організми, які перебувають у зернової масі впадають в анабіотичний стан, виняток становлять лише комахи-шкідники [1].

Режим зберігання зерна в сухому стані нині найбільш поширений, він дає змогу зберігати зерно тривалий час, водночас підтримує високий рівень життєдіяльності насіння та його якісні показники. Досвід виробничої діяльності показав, що очищені від домішок і незаражені зернові маси можна зберігати без переміщення у звичайних зернових складах 4 - 5 років, а в силосах елеватора - 2 -3 роки. У звичайних зернових складах зерно можна зберігати у високих настигах, що, по-перше, дає змогу з найбільшою ефективністю використовувати

приміщення; по-друге, створюються умови для збереження якості зерна, бо температура і вологість зерна піддаються меншим коливанням, ніж у зерновому насипі невеликої висоти [1].

Сухе зерно можна перевозити всіма видами транспорту на далекі відстані. Перевезення сирого зерна допустиме лише на короткі дистанції.

Водночас режим зберігання зерна в сухому стані має і деякі недоліки. До недоліків необхідно віднести необхідність проведення систематичного спостереження за станом зернової маси, своєчасне вентильовання та достатню ізоляцію від зовнішніх впливів (різких коливань температури зовнішнього повітря та його підвищеної вологості), а також боротьбу зі шкідниками, які здатні існувати й розмножуватися в зерні з вологістю нижче критичної [1].

Інша причина псування сухої зернової маси – утворення краплинної вологи і підвищення вологості в якійсь її ділянці внаслідок перепадів температур і явища термовологопровідності [1].

Принцип термоанабіозу досягається за рахунок охолодження зернової маси в період зберігання. До охолодження чутливі всі живі компоненти, закладеної на зберігання, зернової маси включно з мікроорганізмами, комахами та кліщами [1].

Зберігання зерна в охолодженому стані є одним з ефективних засобів, забезпечення скорочення втрат зерна. Навіть при зберіганні сухого зерна його охолодження дає помітний додатковий ефект і збільшує ступінь консервування сухої зернової маси [1].

Низька теплопровідність зерна сприяє практичному застосуванню зберігання зернових мас в охолодженому стані, оскільки у великих масах зерна дає змогу зберегти знижені температури протягом тривалого часу. Необхідно охолоджувати зерно незалежно від передбачуваних термінів зберігання, а також перед його транспортуванням, це сприяє збереженню якісних показників зерна під час перебування в дорозі [1].

Охолодженими вважаються тільки партії зерна, що мають у насипі температуру не більше 10°C. При цьому зернові маси з температурою в усіх шарах насипу від 0 до 10 °С вважаються охолодженими в першому ступені, а з температурою нижче 0 °С – другого ступеня [1].

Технології охолодження зернових мас можна розділити на дві групи: природне (пасивне) і штучне (активне). За природного охолодження зерна його не переміщують і не нагнітають у нього холодне повітря. З настанням холодної погоди температуру зерна знижують за рахунок провітрювання зерносковищ, влаштовуючи в них вентиляцію за допомогою витяжних труб або відкриваючи двері, фрамуги та вікна [1].

Ефективність природного охолодження багато в чому залежить від різниці температури зовнішнього повітря і зернової маси, а також тривалості періоду охолодження. Короткочасне природне охолодження не може забезпечити достатньої ефективності зниження температури зерна, тому що холодне повітря, циркулюючи в зерносковищі, повільно й нерівномірно охолоджує зерно. Нерівномірність охолодження пов'язана з низькою теплопровідністю зернової маси, завдяки чому її внутрішні ділянки піддаються охолодженню повільно.

Незважаючи на недоліки природного охолодження, його доволі широко застосовують, особливо в умовах центральної та північної зони України, тому що воно не потребує витрат енергії та значних трудових витрат [1].

У стан аноксидіозу зерно можна привести за рахунок зниження потреби зернових мас у кисні шляхом ізоляції зерна від атмосферного повітря або поміщення зерна в спеціальне газове середовище, що не містить кисню.

Для створення спеціального безкисневого середовища використовують один із трьох методів [1]:

1 – накопичення вуглекислого газу в замкненому об'ємі, де зберігатиметься зерно, природним чином, тобто за рахунок продуктів дихання зерна і всіх живих організмів, які перебувають у цьому об'ємі;

2 – створення в об'ємі із зерном вакууму;

3 – введення в об'єм із зерновою масою газів, які витісняють повітря з міжзернового простору.

Перший метод найдоступніший і найдешевший, але основний недолік його полягає в тому, що потрібен значний час, протягом, якого необхідний наявний у зерносховищі кисень буде замінений продуктами дихання зерна, комах і мікроорганізмів. Протягом цього часу, можливо, значна зміна якості зерна.

Метод консервації зерна за рахунок поміщення його у вакуум широкого поширення не набув через великі технологічні складнощі та матеріальні витрати на створення герметичних сховищ [1].

Зберігання сухого зерна, як показали дослідження зарубіжних учених, у повному вакуумі можливе лише за його вологості, не вищої за 8%, при цьому в зерні припиняються всі життєдіяльні процеси, зерно зберігає свою харчову цінність, але різко падають показники схожості зерна, такі самі процеси спостерігаються й у процесі зберігання в спеціальному газовому середовищі.

Для зберігання зернової маси в спеціальному газовому середовищі використовуються металеві силоси. Для створення газового середовища використовується діоксид вуглецю. У процесі закладання зернової маси в неї додають шматки сухого льоду, який під час танення виділяє діоксид вуглецю, здатний швидко витіснити повітря з міжзернового простору. Так само як газове середовище можна використовувати суміш газів (86-88% азоту, 11-13% діоксиду вуглецю, 0,5-1% кисню), утворених унаслідок спалювання природного газу. Однак це досить дорогий спосіб створення безкисневого середовища [1].

На практиці застосовують режим зберігання зерна без доступу повітря тільки в тих випадках, коли необхідно забезпечити збереження зерна з підвищеною вологістю. Для зберігання насінневого зерна він неприйнятний, оскільки повністю припиняє всі життєдіяльні процеси, що протікають у зерні в процесі зберігання [1].

Останнім часом дедалі більшого поширення став набувати четвертий режим зберігання зернових мас, який передбачає хімічне консервування зерна.

Хімічне консервування зазвичай застосовується в тих випадках, коли перші три режими з якоїсь із причин застосувати неможливо. Зазвичай це надходження на зберігання зерна підвищеної вологості, сушіння якого економічно недоцільне або на нього немає часу [1].

Під час хімічного консервування зернової маси до неї додають консерванти, які приводять зерно до стану абіозу або анабіозу, пригнічують розвиток мікроорганізмів, що спричиняють псування зерна, а особливо цвілевих грибків.

Як консерванти використовують метабісульфіт (піросульфід) натрію ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), низькомолекулярні карбонові кислоти, особливо пропіонову та препарати на її основі Пропкорн, Кемстор, а також органічні кислоти мурашину, оцтову та бензойну. Консервувальні складки використовуються в дозах від 0,5 до 17% від маси зерна [1].

Сучасні консервувальні складки можуть гарантовано зберегти зерно протягом 30...50 діб і використовуються здебільшого лише для зберігання фуражного зерна, оскільки дають змогу забезпечити хороше засвоєння тваринами зерна, обробленого консервувальними складками, оскільки вони не є чужорідними сполуками [1].

Для зберігання продовольчого та насінневого зерна спосіб із використанням консерваційних складків не застосовується, оскільки погіршує харчові та хлібопекарські властивості зерна, і різко знижує показники схожості зерна та енергії його проростання. Найперспективнішим напрямком зберігання зерна в Україні і, особливо за кордоном, стало застосування технології комбінованих режимів зберігання [1].

Найпоширенішою технологією зберігання зерна є технологія з попереднім сушінням зерна і подальшим його зберіганням в охолодженому стані. Ця технологія дає змогу зберегти зерно з підвищеною якістю, але вона потребує високих енергетичних і матеріальних витрат [1].

З усіх розглянутих режимів зберігання зерна на практиці застосовуються зберігання в сухому або охолодженому стані, а також комбінація цих двох режимів [1].

Під час вивчення передового досвіду та сучасних наукових досліджень ми не знайшли матеріалів щодо зберігання насінневого зерна в умовах розрідженої атмосфери або регульованого повітряного середовища. А цей режим може бути вельми перспективним, тому що, імовірно, зерно споживає для підтримання своїх життєдіяльних функцій меншу кількість повітря, ніж мікроорганізми та комахи-шкідники, які перебувають у зерновій масі. Отже, обмеження вмісту повітря в міжзерновому просторі насамперед вплине на життєву активність комах і мікроорганізми. Водночас розрідження атмосфери не повинно призвести до зміни способу дихання зерна, воно має залишитися аеробним [1].

Для зберігання насінневого зерна використовують два основні способи: зберігання в тарі (в мішках) і насипом.

Тарний спосіб зберігання зерна застосовується тільки під час зберігання елітного насіння і насіння першої репродукції. Зберігають також у тарі насіння, що має тендітну оболонку або легко розтріскується (арахіс, суха квасоля тощо).

Основним видом тари для зерна є мішки, виготовлені з лляної, напівлляної, льон-джутової, льон-джутокенафної та пенькоджутової тканини. Вид тканини, використаної для пошиття мішка, визначає міцність мішка. Мішки можуть бути звичайної міцності без кольорової смуги або з підвищеною міцністю з однією або кількома кольоровими смужками [3].

Для затарювання і зашивання мішків застосовуються комплекс затарювання мішків КЗМ – 1. На кожен затарений і зашитий мішок із насінням кріпиться спеціальний ярлик із зазначенням категорії насіння.

Мішки укладають на піддони висотою 12 - 15 см штабелями. Для цього на піддон кладуть по три мішки в кожен ряд штабеля, під час укладання до двох паралельно покладених мішків перпендикулярно кладуть третій, у наступному

ряду мішки розміщують у зворотному порядку, отримуючи надійну "зв'язку" мішків [3].

Усі мішки під час формування штабеля укладають всередину зашитою стороною, між штабелями залишають проходи 1 – 2 метри для контролю за зберіганням і за потреби перекладання мішків [3].

Між штабелями і стінками зерносховища залишають прохід не менше 0,75 м. Раціональна висота штабеля для зернових і зернобобових культур становить 6-8 мішків, але за нестачі площ для зберігання зерна допускається висота штабеля до 20 мішків, рис. 1 [3].



Рис. 1.1. Тарний спосіб зберігання зерна [3].

Тара з лляної, напівлляної, льоноджутової, льоноджутокенафної та пенькоджутової тканини має гарну гігроскопічність, що призводить до зміни вологості зерна, яке зберігається. Влітку і восени насіння підсихає, а взимку і навесні істотно підвищує свою вологість. Інтервал коливань вологості зерна може досягати до 2,5-3%, що доводить вологість насіння, яке зберігається, в окремі періоди до 16...16,5% [3].

Останнім часом для зберігання зерна стали використовувати паперові та поліетиленові мішки. Перевагою паперових мішків є їхня відносна дешевизна, поліетиленових - відсутність гігроскопічності.

Ефективне зберігання насіння в поліетиленовому пакуванні, яке обмежує доступ вологи до насіння і тим самим знижує інтенсивність дихання насіння, може бути, якщо насіння в поліетиленові мішки закладали абсолютно сухим (початкова вологість 9-10%). При сезонному зберіганні насіння, що закладається з вологістю близькою до критичної, достатньо паперової упаковки [3].

Загалом недоліками тарного способу зберігання зерна є його висока собівартість, викликана трудомісткістю робіт, додатковими витратами на тару та придбання комплексів для затарювання мішків, велика частка ручної праці, що виконується під час робіт із формування штабелів і перекладання мішків.

Основним способом зберігання насіннєвого і фуражного зерна, в даний час, є зберігання зерна насипом, яке в свою чергу підрозділяється на підлогове і силосне [3].

Залежно від цільового призначення і стану зерна встановлюється висота насипання зернової маси. З максимально можливою висотою насипу зберігають продовольче і фуражне зерно, що має докритичну вологість, пройшло післязбиральне дозрівання і очищене від домішок [3].

Для партій такого зерна висота насипу може бути обмежена тільки висотою і міцністю самого зерносховища.

Партії насіннєвого зерна для збереження життєздатності насіння зберігають у зерносховищах за висоти насипу від 1 до 3 метрів.

Аналіз літературних джерел показав, що зниження висоти насипу насіннєвого зерна зумовлено специфікою вентилявання зернової маси.

Перевагами способу зберігання насіннєвого зерна насипом є [3]:

- більш повне використання площі та об'єму зерносховища;
- можливість використовувати засоби механізації для переміщення зернової маси;

- зручність проведення контролю за збереженням зерна, за всіма прийнятими напрямками;

- можливість боротьби зі шкідниками зернових продуктів.

До недоліків цього способу слід віднести значні витрати на будівництво та утримання (підготовку до приймання врожаю) зерносклади.

До недоліків цього способу слід віднести значні витрати на будівництво та утримання (підготовку до приймання врожаю) зерносклади.

Усі зерносклади можна поділити на зерносклади та елеватори. Зерносклади – це споруди з горизонтальними або похилими підлогами, призначені для зберігання зерна насипом по всій площі складу [3].

Зернові склади класифікують залежно від способу розміщення зерна, ступеня механізації навантажувально-розвантажувальних робіт, терміну зберігання зерна та виду будівельного матеріалу. Найпоширеніша форма - прямокутник [3].

Сучасні зерносклади (рис. 1.2) характеризуються використанням таких технологічних прийомів [3]:

- механізацією транспортних і навантажувально-розвантажувальних робіт;
- контролем температури й вологості зерна;
- регулюванням температури й вологості зерна, що зберігається, шляхом вентиляції повітрям;
- додатковою обробкою зерна перед і в процесі зберігання з метою підтримання його якості (очищення, сушіння, охолодження, дезінсекція тощо).

Зерносклади будь-якого типу зазвичай будують неопалюваними, без горючих покриттів [3].

Залежно від способів зберігання зерна зерносклади, що споруджуються в сільськогосподарських підприємствах і хлібоприймальних пунктах, поділяються на такі типи [3]:

- закромні, де зерно зберігають в окремих ємностях - закромах (відсіках);

- підлогові, де зерно зберігають насипом на горизонтальній або похилій підлозі, а насіннєве зерно - у тарі на горизонтальній підлозі;
- комбіновані, в яких зерно зберігають насипом на підлозі та в окремих засіках;
- бункерні, в яких зерно зберігають в окремих бункерах або силосах.



Рис. 1.2. Зберігання зерна в зерноскладі насипом: 1 – вентиляційні установки; 2 – датчики контролю температури зерна [3].

Закромні зерносклади найбільш зручні для роздільного зберігання відносно невеликих партій зерна різної якості та призначення. Ці сховища насамперед придатні для сортового і насіннєвого зерна, яке повинно зберігатися невисоким шаром за сортами і категоріями в умовах, що виключають можливість змішування зерна, яке лежить поряд. Для утворення засіків зерносклад усередині розгороджують перегородками з чистих дощок на відділення, які і є найпростішими засіками. Усі засіки влаштовують однакової місткості, оскільки це дає змогу уніфікувати розміри елементів і деталей для їх виготовлення. У разі потреби місткість кожного засіку може бути зменшена або збільшена шляхом встановлення додаткових перегородок або зняттям їх [3].

Місткість окремих закромів для зберігання насіннєвого зерна приймають не більше 25 т за гранично допустимої висоти завантаження зерна в них 3 м. Закрома розташовують групами у 2...4 ряди з утворенням між ними поздовжніх проходів, призначених для завантаження і розвантаження зерна, а також

поперечних проходів із безпосередніми виходами назовні. Ширину поздовжніх проходів приймають залежно від габаритів механізмів, призначених для переміщення і обробки зерна, але не менше 2 м [3].

У підлогових зерноскладах зерно засипають на підлогу. Висота насипу залежить від стану зерна і зазвичай не перевищує біля стін 2,5 м, а посередині зерноскладу – 5 м, і воно зазвичай застосовується для зберігання продовольчого і фуражного зерна.

Комбінований спосіб зберігання зазвичай застосовують, якщо потрібне роздільне зберігання невеликих партій зерна різних культур, призначень або в зерноскладі одночасно зберігається зерно з використанням різних способів зберігання (наприклад зберігання насипом і тарний спосіб зберігання) [3].

Площу зерноскладу перегороджують пересувними щитами висотою 2,5 - 4 метри [3].

Закромні та підлогові зерносклади розраховуються на експлуатацію їх із застосуванням пересувних машин пересувних транспортерів, тракторних навантажувачів тощо. Зерно приймають і відпускають через розпашні ворота.

У період зберігання зернової маси в зерноскладі встановлюють причину псування або зниження якості зерна. Тому незважаючи на значні матеріальні витрати зерносклади ретельно готують до приймання нового врожаю [3].

Підготовку до приймання починають одразу після вивезення старої зернової маси [3].

Для запобігання потраплянню в зерносклад дощової води біля нього роблять вимощення або водостічні канали. Якщо відволожуються стіни, то їх зсередини обшивають дошками або панелями з ДСП на висоту передбачуваного насипу зерна. Між панелями і стіною влаштовують повітряний проміжок 20-40 мм, для природної вентиляції. Усі тріщини в будівельних конструкціях закладають промасленою ганчіркою або цементують.

Після звільнення зернового складу від зерна інвентар, все обладнання та приміщення складу очищають від залишків зерна і сміття. Мішки та брезенти

прогривають у гарячій воді (70...90 °С), просушують і прибирають на зберігання в окреме приміщення. Після цього склади обробляють фосфорорганічними сполуками - карбофосом, хлорофосом тощо. Проводять заходи, спрямовані на знищення комах-шкідників хлібних злаків і гризунів, дезінсекцію та дезактивацію приміщення [3].

У сучасних умовах спосіб зберігання зерна в металевих ємностях (силосах) є найперспективнішим та економічно доцільним через низьку вартість зберігання та швидкість будівництва самого сховища. Так у США, Канаді, Франції та інших країнах у металевих ємностях зберігаються понад 70% зерна, укладеного на довгострокове зберігання. При цьому зерно добре очищається від домішок, воно повністю проходить процес післязбирального дозрівання і має вологість 13...14%. Вартість зберігання 1 тонни зерна в металевій ємності в 2...3 рази нижча, ніж зберігання в складах із залізобетонних конструкцій або цегли. При будівництві металевих сховищ питома витрата сталі становить 10...18 кг на тону зерна [3].

Аналіз конструкції металевих ємностей, що використовуються для зберігання зерна як у нас у країні, так і за кордоном, показав, що в частині планувальних рішень їх виконано як окремо стоячі силоси у вигляді циліндра великого діаметру висотою до 30 метрів [3]. У верхній частині металевий силос має конусну кришку, у нижній частині - плоске, але найчастіше конусне днище. Для транспортувальних засобів із завантаження та вивантаження зерна металеві силоси мають надсилосні та підсилосні галереї, крім того, вони комплектуються спеціальним обладнанням для вентилявання та газової обробки зерна [3].

Завантаження металевих силосів здійснюється конвеєром через верхній отвір, водночас досягається повне використання герметичного об'єму, а вивантаження - через випускні лійки в днищі (рис. 1.3).

Днище силосу виготовляють із невеликим нахилом, тому близько 15-18% зерна при розвантаженні силосу потребують підгортання, що здійснюється за допомогою вивантажувального пристрою зі спонукачем потоку.

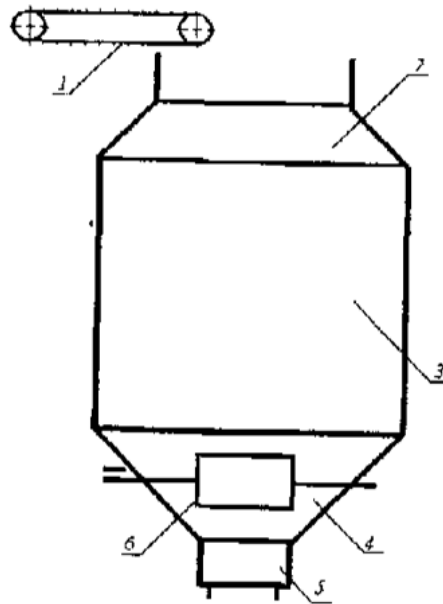


Рис. 1.3. Пристрій силосу для зберігання зерна: 1 – завантажувальний конвеєр; 2 – верхня частина силосу; 3 – ємність силосу; 4 – випускна горловина; 5 – вивантажувальний пристрій; 6 – спонукач потоку [7].

Аналіз наукової літератури показав, що поряд з усіма перевагами способів зберігання зерна в металевих ємностях не використовується ні в нас у країні ні за кордоном для зберігання насіннєвого зерна [3]. Це обумовлено тим, що металеві силоси, які випускаються промисловістю, мають об'єми, які в кілька разів перевищують потребу господарств, зайнятих зберіганням насіннєвого зерна, що неминуче призводить до недозавантаження силосу або до пересортиці насіннєвого матеріалу.

Крім того, металеві силоси мають низку особливостей, які необхідно враховувати під час розроблення режимів зберігання насіннєвого зерна. Зокрема, внаслідок того, що зі зростанням висоти зернового насипу в силосі складаються несприятливі умови для зміни складу повітря всередині металевої місткості та накопичення вуглекислого газу в глибинних шарах зернового насипу, для видалення якого необхідно проводити активну вентиляцію зерна.

У розроблених проєктах як вітчизняних, так і зарубіжних металевих сховищ силосного типу для активної вентиляції зернової маси здебільшого використовують влаштування аеродинамічного днища на базі аерожелобів закритого типу.

Найперспективнішим способом правильної організації дихання зерна є аерація зернової маси, оскільки швидкість фільтрації в насипі за аерації значно нижча, ніж за активного вентилявання. Дослідні дані та розрахунки показали, що за зниження температури зерна на однакову величину питомі витрати електроенергії будуть у 2...2.5 рази нижчими порівняно з активною вентиляцією, хоча час обробки зерна повітрям буде більшим [3, 5, 6].

До недоліків способу зберігання насіннєвого зерна в металевих силосах слід також зарахувати ускладнену боротьбу зі шкідниками хлібних злаків, які можуть опинитися в зерновому насипі всередині металевого силосу.

Складність і висока трудомісткість проведення процесу контролю над якістю зберігання насіннєвого зерна веде до збільшення експлуатаційних витрат.

Висновки по розділу

Аналіз наукової літератури засвідчив, що нині відсутні дослідження конструктивно-режимних параметрів зберігання насіннєвого зерна в металевих ємностях силосного типу в умовах розрідженої атмосфери, які б давали змогу проводити примусову аерацію зернової маси [70]. Вирішення цих питань є одним із завдань магістерської роботи.

контрольний вакуумметр 5, ємність з осушувачем повітря, заповнену технічним силікагелем 4, і атмосферний електромагнітний клапан 3 [2].



Рис. 2.2. Загальний вигляд герметичного контейнера для зберігання насіннєвого зерна в розрідженій атмосфері [2].

У нижній частині корпусу є розвантажувальна горловина, до якої через герметичну прокладку приєднана ємність для збору вуглекислого газу 8, що утворюється в результаті дихання зерна. Щоб зерно не потрапляло в кишень, на дні корпусу контейнера є захисна сітка 7. Процес аерації повітря в міжзерновому просторі здійснюється за допомогою вакуумного насоса 9. Для автоматичної аерації міжзернового простору і створення необхідного розрідження повітря в конструкцію герметичного контейнера входить контрольно-керувальний пристрій 12, який з'єднаний з датчиками контролю тиску 10 і концентрації кисню в повітрі 11. Періодичний контроль стану повітряної атмосфери всередині герметичного контейнера може здійснювати оператор за допомогою персонального комп'ютера 13, який з'єднаний із датчиком контролю температури та вологості повітря в міжзерновому просторі 6 [2].

Для здійснення способу зберігання зерна в контейнері з розрідженим повітряним середовищем, контейнер через горловину заповнюється зерном.

Потім кришка 2 герметично закривається. Після ввімкнення контрольно-керувального пристрою 12 починається процес вакуумування, для чого в пристрій подається команда на ввімкнення вакуумного насоса 9. Насос виконує відкачування повітря з контейнера, доки тиск повітряної суміші в контейнері не досягне величини, за якої підтримуватиметься аеробне дихання зерна та порушуватиметься життєдіяльність комах-шкідників. За цього тиску повітря зерно зберігатиметься всередині герметичного контейнера, не втрачаючи своїх властивостей. Вуглекислий газ, що утворився в процесі дихання, через свою вагу опускатиметься на дно контейнера і накопичуватиметься в ємності-накопичувачі 8.

Спосіб зберігання зерна в герметичному контейнері з регульованим повітряним середовищем передбачає періодичну примусову аерацію повітря в міжзерновому просторі. Аерація проводиться в разі зниження концентрації кисню в контейнері нижче за критичну величину, за якої зерно може перейти на анаеробне дихання, а також у разі підвищення температури та вологості повітря в міжзерновому просторі. Процес зміни виду дихання зерна фіксується датчиками концентрації кисню 11, температура і вологість повітря в міжзерновому просторі контролюється датчиком 6. При отриманні відповідного сигналу від цих датчиків контрольно-керувальний пристрій вмикає вакуумний насос 9. Проводиться відкачування повітря зі зниженим вмістом кисню з контейнера. Відкачування відбувається доти, доки вакуумметричний тиск не знизиться до мінімально можливого для вакуумного насоса значення, а потім вакуумний насос вимикається, і відкривається атмосферний електромагнітний клапан 3, через який свіже повітря, проходячи через місткість з осушувачем повітря 4, заповнює міжзерновий простір у контейнері. Після того, як буде замінено повітря в контейнері, атмосферні електромагнітні клапани закриваються, і повторно вмикається вакуумний насос. Проводиться відкачування повітря доти, доки вакуумметричний тиск не досягне величини, заданої технологічним процесом. Періодичний контроль умов зберігання насінневого зерна в герметичному контейнері з регульованим повітряним

середовищем може здійснювати оператор за допомогою персонального комп'ютера 13, до якого під'єднано датчик контролю температури та вологості повітря в міжзерновому просторі, контрольно-керувальний пристрій, датчики тиску газу та концентрації кисню в повітрі [2].

Лабораторні дослідження проводилися з метою підтвердження результатів теоретичних досліджень щодо можливості зберігання насіннєвого зерна в герметичному контейнері з розрідженою атмосферою та вивчення впливу конструктивно-режимних параметрів герметичного контейнера на репродуктивні властивості насіння і життєдіяльні функції комах шкідників хлібних злаків.

Лабораторні дослідження проводилися на експериментальній установці, загальний вигляд якої представлено на рис. 3.1.



Рис. 2.3. Загальний вигляд лабораторної установки: 1 – бак для зберігання зерна; 2 – герметична кришка бака; 3 – атмосферний золотник із вентиляем; 4 – контрольний вакуумметр GSGJ 27100; 5 – вакуумний золотник із вентиляем; 6 – вакуумний насос MHR-A998A з вакуумметром; 7 – газосигналізатор комбінований багатоконпонентний портативний СК-2; 8 – вхідний штуцер із фільтром для забору проб газу з контейнера; 9 – вихідний штуцер для відводу газової проби в контейнер; 10 – повітряний фільтр, 11 – зарядний пристрій.

Лабораторна установка складається з бака 1 з герметичною кришкою 2, на якій змонтовано контрольний вакуумметр 4 GSGJ 27100. На стінках бака встановлені золотники з вентилями 3 для подачі повітря з навколишнього

середовища в бак у процесі аерації зернового насипу. Видалення забрудненого повітря з бака і створення розрідженої атмосфери всередині бака здійснювалося за допомогою вакуумного насоса марки МНР - А998А через золотник із вентиляем 5. Контроль вмісту кисню в повітрі всередині бака здійснювався комбінованим багатокомпонентним сигналізатором 7 марки СК-2, що працює в режимі O₂.

Забір повітря для контролю вмісту в ньому кисню проводили через штуцер 8, з'єднаний поліетиленовою трубкою через повітряний фільтр 10 з комбінованим сигналізатором, повітря після аналізу в газосигналізаторі 7 повертали в бак через штуцер 9 по поліетиленовій трубці. Підзарядка акумулятора сигналізатора здійснювалася за допомогою пристрою 10 від електричної мережі 220В.

Контроль вологості зерна здійснювався за допомогою вологоміра ІВДМ-2-01 (рис. 2.4.)



Рис. 2.4. Вологомір ІВДМ-2-01: 1 – вимірювальний блок; 2 – об'ємний зонд; 3 – з'єднувальний кабель.

Вологомір має діапазон вимірювання вологості зернових культур від 4% до 35% і абсолютну похибку вимірювання 1%, час вимірювання 1 сек. Для зв'язку з комп'ютером є порт RS 232.

Під час лабораторних досліджень оптимальних конструктивно-технологічних параметрів герметичного контейнера з розрідженою атмосферою як зразковий матеріал обрали насіння ярої пшениці ", згідно з технічними вимогами [2, 4]. Перед закладанням зерна в контейнер воно сортувалося, з нього було видалено механічно пошкоджене насіння і сторонні рослинні включення.

За параметри оптимізації було прийнято такі конструктивно-технологічні параметри, що впливають на схожість насіння після періоду сезонного зберігання:

- вологість зерна, що закладається на зберігання (W);
- граничний вміст кисню в повітрі, яке перебуває в міжзерновому просторі (C_k);
- тиск повітряної суміші (розрідження атмосфери) в контейнері (P);
- ступінь заповнення об'єму контейнера зерном (V_p).

Під час проведення лабораторних досліджень встановлювалися конструктивно-технологічні параметри варіювання.

По закінченню періоду експериментального зберігання здійснювалася перевірка насіння зерна на схожість, згідно з вимогами державного стандарту [22].

Із зерна одного контейнера відбирали чотири проби по 100 насінин у кожній. Чашки Петрі, які використовували як ложе для пророщування насіння, попередньо мили гарячою водою з мийним засобом, обполіскували 1%-вим розчином марганцевокислого калію, а потім водою, а оскільки пророщування проводили на ложі з фільтрувального паперу, то перед уживанням дезінфікували спиртом.

Пророщування насіння проводили стандартно, тобто насіння розкладали в чашках між шарами зволоженого фільтрувального паперу (три шари паперу на дно чашки і один шар прикривав насіння).

Чашки Петрі з насінням поміщали для пророщування в термостат одна на одну, верхню чашку в кожній стопці накривали склом.

Насіння пророщували в термостаті за постійної температури 20°C у темряві. Температуру в термостаті перевіряли тричі на день, що давало змогу підтримувати її в межах +1°C від обраної норми, також щоденно проводили контроль зволоження ложа, за потреби фільтрувальний папір змочували водою кімнатної температури, перезволоження не допускали. Під час перевірки зволоження одночасно проводили вентиляцію в термостаті і в чашках Петрі. Вода в піддоні на дні термостата змінювалася кожні три дні.

Оцінювання та облік пророслого насіння для визначення схожості та енергії проростання проводили через 3 і 7 діб випробувань.

До числа нормально пророслого насіння належало насіння, що має не менше двох нормально розвинених корінців розміром більше довжини насінини і паросток розміром не менше половини його довжини, з первинними листочками, які проглядаються і займають не менше половини довжини колеоптиле.

До непророслого насіння належало набрякле насіння, яке до моменту остаточного обліку схожості не проросло, але має здоровий вигляд і під час натискання пінцетом не розвалювалося, а також тверде насіння, яке до встановленого терміну визначення схожості не набрякло та не змінило зовнішнього вигляду.

Для підтвердження результатів теоретичних і лабораторних досліджень проводилися натурні дослідження. До завдань натурних досліджень входило:

- дослідження впливу способу зберігання на посівні якості насіння та його природний убуток насіннєвого зерна;
- дослідження впливу способу зберігання насіннєвого зерна на фізіологічні показники рослин і структури врожаю.

Методика дослідження впливу умов зберігання на посівні якості та природний убуток насіннєвого зерна передбачала проведення порівняльних випробувань запропонованого способу зберігання в герметичному контейнері з розрідженою атмосферою з наявним варіантом зберігання в стандартному

металевому силосі фірми Hurab, моделі 18-00603, об'ємом 10 м³, із системою активної вентиляції та висотою засипання зерна менше ніж 5 метрів.

Під час випробувань було використано репродуктивне насіння категорії РС-3 перед закладанням зерна на зберігання, яке мало такі сортові та посівні якості [4]:

- сортова чистота не менше ніж 98%;
- чистота насіння не менше ніж 98%;
- вміст насіння інших рослин не більше ніж 40 шт./кг;
- лабораторна схожість не менше ніж 92%;
- маса 1000 насінин не менше ніж 37 г;
- вологість насіння до 15%, а для тих, які закладають на зберігання терміном понад 12 місяців у металевих силосах не більше ніж 12%.

Протягом усього періоду зберігання було організовано систематичне спостереження за якістю і станом насінневого зерна. Для цього проводили періодичний контроль за температурою і вологістю насіння, досліджували органолептичні показники якості (запах і колір насіння).

Найчутливішим показником, що вказує на активізацію життєдіяльних процесів і самозаймання зерна під час зберігання, є підвищення температури зернової маси, яке є незалежним від зміни температури навколишнього середовища.

Контроль температури проводили за кожним з обраних способів зберігання. Для вимірювання температури зерна в металевому силосі застосовувалася електротермічна установка МАРС-5М. Герметичний металевий контейнер із розрідженою атмосферою мав автоматичну систему контролю температури з використанням реєстратора вологості й температури повітря моделі DT-171.

Для спостережень за станом зерна в силосах і контейнерах робили спеціальні отвори з кришками, що щільно загвинчуються. Періодичність спостереження за температурою насіння встановлювали залежно від найвищої

температури, виявленої в окремих шарах зернового насипу. Якщо температура насипу була менш як 10 °С, то спостереження проводили 1 раз на 15 днів, якщо 10 - 20 °С, то 1 раз на 10 днів. Підвищення температури насінневого зерна не пов'язане зі зміною температури навколишнього середовища було сигналом для початку активної вентиляції зернової маси з метою її охолодження. Температура зернового насипу в цьому випадку контролювалася щодня.

Вологість насінневого зерна, що зберігається в силосі, контролювалася через кожні 10 днів.

Контрольні проби для визначення вологості насінневого зерна бралися у верхньому шарі зернового насипу на глибині 0,3 м. Для контролю вологості насінневого зерна застосовувався вологомір ІВДМ-2-01. У разі виявлення збільшення вологості зерна в окремих ділянках зернового насипу, що може виникнути в разі активізації дихання зерна, високої теплопровідності стінок контейнера та взаємодії з навколишнім середовищем, вживали термінових заходів щодо її вирівнювання.

Для визначення стороннього запаху зерна із середньої проби відбирали наважку зерна масою близько 100 г, після чого зерно поміщали на сито і пропарювали протягом 2...3 хвилин над посудиною з киплячою водою. Пропарене зерно поміщали на чистий аркуш паперу і визначали наявність стороннього запаху [2].

Для визначення впливу способу зберігання насінневого зерна на біологічний розвиток рослини та структуру врожаю проводили контрольну сівбу насіння ярої пшениці та фенологічні спостереження [1, 4].

Контрольну сівбу проводили на дослідній ділянці, яка мала типові для Житомирського району ґрунтово-кліматичні умови (ґрунт дерново-підзолистий сірий лісовий). Ділянка мала рівний рельєф із невеликим одноманітним ухилом 1/75.

На всій площі дослідної ділянки протягом 4 років висівали одні й ті самі культури, застосовували єдину систему добрив і єдину технологію обробітку

грунту. Ділянка не мала плям із найбіднішим і найродючішим ґрунтом, із вираженими плямами злісних бур'янів (пирію та осоту). Дослідну ділянку попередньо було розбито на ділянки, кількість ділянок визначали з умови чотириразового повторення досліду [4]. Площа кожної ділянки становила 250 м² (ширина ділянки 10 м, довжина 25 м). Усі ділянки розташовувалися на одній дослідній ділянці у два яруси.

Дослідна ділянка мала бічні та кінцеві захисні смуги. Бічні захисні смуги були розташовані вздовж довгих боків ділянок, для унеможливлення впливу рослин сусідніх варіантів, ширина бічної захисної смуги становила 0,5 - 1 м. Кінцеві захисні смуги мали ширину щонайменше 5 м і використовувалися для розвороту машин і знарядь з обох кінців ділянок.

Висновки по розділі

В другому розділі магістерської роботи розроблена конструкція герметичного контейнера для зберігання насінневого зерна в розрідженій атмосфері та методика проведення дослідження.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЄВОГО ЗЕРНА В РОЗРІДЖЕНІЙ АТМОСФЕРІ

Дослідження технологічних параметрів герметичного металевго контейнера з розрідженою атмосферою зводилося до визначення оптимальних значень вологості насіннєвого зерна, що закладається, ступеня заповнення об'єму металевго контейнера зерною масою, тиску розрідженої повітряної суміші усередині металевго контейнера, граничного вмісту кисню у повітряній суміші, за якого необхідно починати аерацію зернової маси.

Для визначення технологічних параметрів контейнера для зберігання насіннєвого зерна з розрідженою атмосферою і підтвердження результатів теоретичних досліджень був проведений чотирифакторний експеримент, що реалізує план Бокса-Бенкіна другого порядку [3, 6, 8].

Отримані під час експериментів результати дали змогу визначити рівняння множинної регресії та встановити зв'язок між схожістю насіння Y_i параметрами зберігання насіннєвого зерна в умовах розрідженої атмосфери, де:

X_1 – вологість насіння, %.

X_2 – граничний вміст кисню в повітрі, %.

X_3 – тиск повітряної суміші, кПа.

X_4 – ступінь заповнення контейнера, %.

На рис. 3.1 показано проросле насіння пшениці після зберігання в герметичному контейнері з розрідженою атмосферою.

Обробка результатів експерименту зводилася до розрахунку коефіцієнтів регресії, які визначалися методом математичної статистики за допомогою комп'ютерної програми Statistica v8. На підставі отриманих значень коефіцієнтів було отримано математичну модель залежності схожості насіннєвого зерна від параметрів його зберігання:

$$\begin{aligned}
 Y = & 97.42 - 3.70X_1 - 3.30X_2 - 1.90X_3 - 2.092X_4 + 0.24X_1X_2 + 1.1X_1X_3 \\
 & - 1.16X_1X_4 + 0.8X_2X_3 - 0.12X_2X_4 - 1.1X_3X_4 - 8.2X_1^2 - 4.22X_2^2 \\
 & - 5.12X_3^2 - 3.81X_4^2
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

У результаті отримане рівняння регресії характеризується коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,9169$ і коефіцієнтом регресії $R = 0,9575$, що свідчить про високу достовірність відповідності отриманих результатів експериментів і даної математичної моделі.

Перевірку значущості коефіцієнтів моделі було проведено за допомогою критерію Стюдента, табличне значення якого за дисперсії відтворюваності в паралельних дослідах, що прийнята 0,271, та кількості ступенів свободи $f = 10$ становило 2,23.

Перевірка значущості коефіцієнтів моделі засвідчила, що коефіцієнти мають фактичне значення критерію Стюдента, вище за табличне значення, а отже, параметри X_1 (вологість зерна), X_2 (критичний вміст кисню в повітрі), X_3 (тиск розрідженого повітряного середовища всередині герметичного контейнера) є значущими. Ступінь заповнення контейнера насіннєвим зерном X_4 в обраних межах проведення експерименту не чинить істотного впливу на схожість зерна.

На підставі отриманої математичної моделі (3.1) було побудовано графічні залежності схожості насіннєвого зерна від технологічних параметрів контейнерного зберігання в умовах розрідженого повітряного середовища.

На рис. 3.2 показано графік залежності схожості зерен ярої пшениці від вологості зерна під час закладання його на зберігання та вмісту кисню в розрідженій атмосфері повітряного середовища всередині герметичного контейнера, на рис. 3.3 – графік залежності схожості зерен ярої пшениці від вологості зерна та тиску розрідженої атмосфери в контейнері.

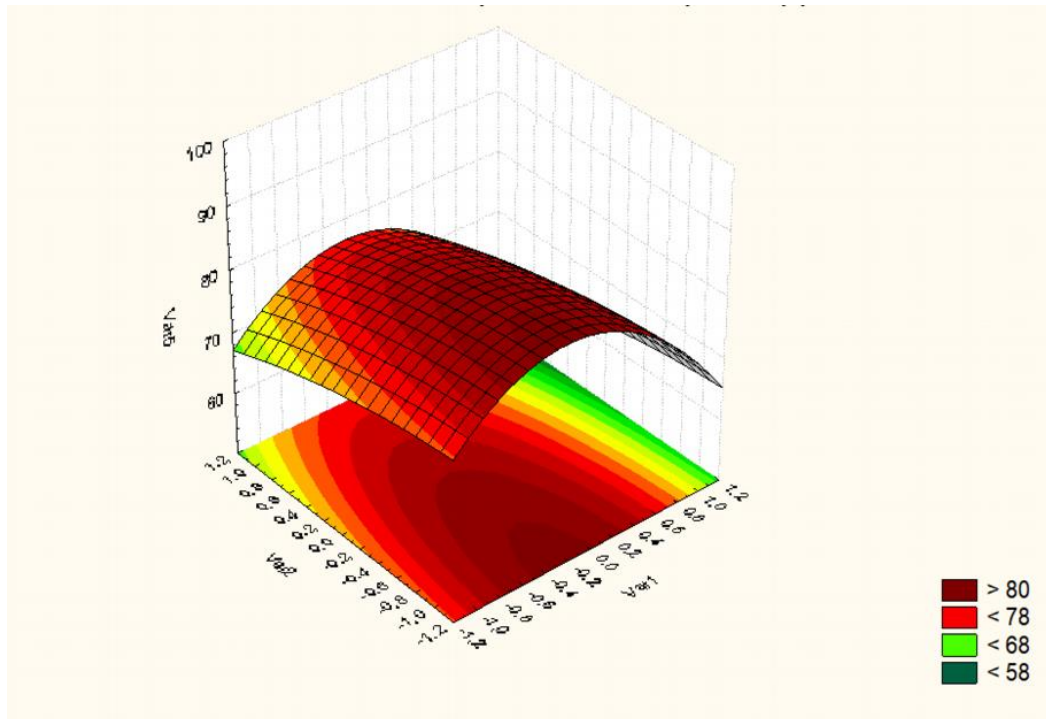


Рис. 3.1. Графік залежності схожості зерен ярої пшениці від вологості зерна під час закладання його на зберігання та вмісту кисню в розрідженій атмосфері повітряного середовища всередині герметичного контейнера.

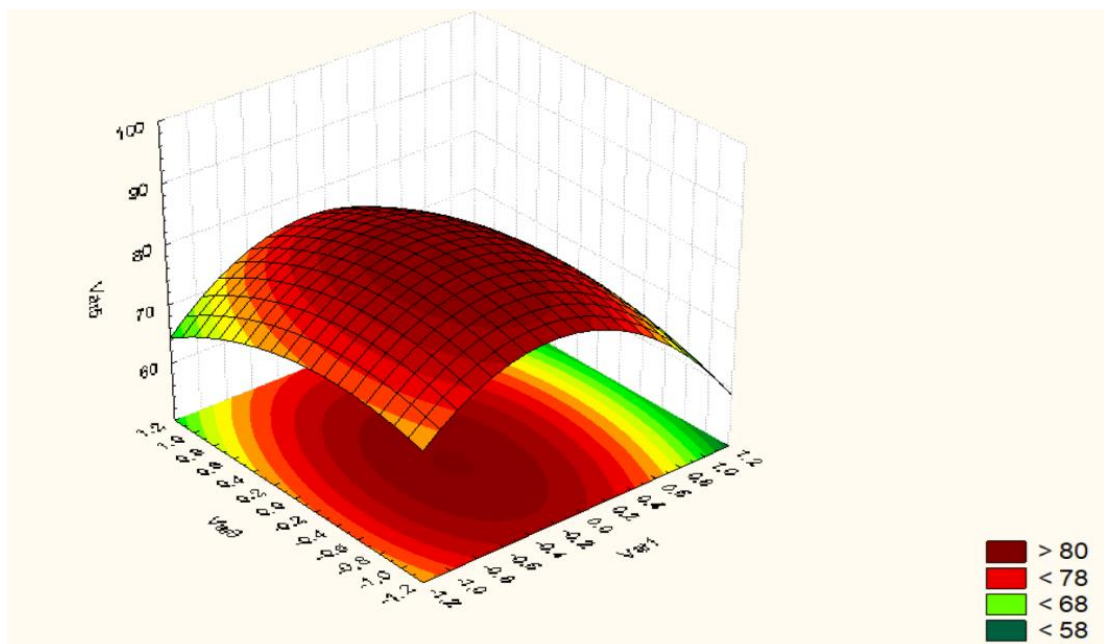


Рис. 3.2. Графік залежності схожості зерен ярої пшениці від вологості зерна та тиску розрідженої атмосфери в контейнері.

Графік залежності схожості зерна ярої пшениці від вологості зерна і ступеня заповнення контейнера показано на рис. 3.4.

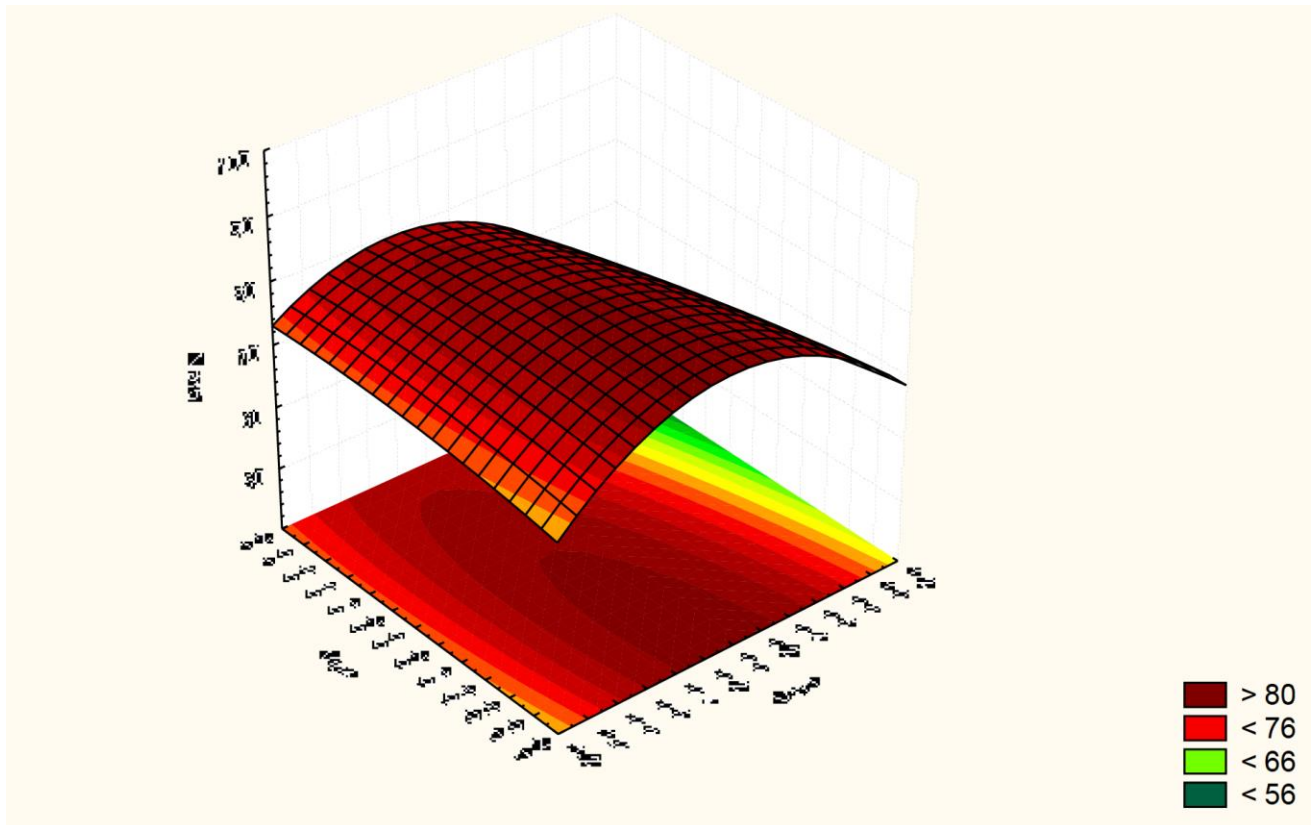


Рис. 3.3. Графік залежності схожості зерна ярої пшениці від вологості зерна і ступеня заповнення контейнера.

Аналіз отриманих графічних залежностей дозволив зробити такі висновки:

- по-перше – зерно, що закладається на зберігання в контейнер, повинно мати вологість не більше ніж 15,2%, тобто зберігання зерна в контейнері в умовах розрідженої атмосфери не вимагає сушіння зерна до критичного значення вологості 14%, що дасть змогу скоротити час перебування зерна в сушильній установці та призведе до скорочення енергетичних і часових витрат, а також дасть змогу зменшити ушкодження зерна під час сушіння завдяки створенню більш щадного режиму сушіння;

- по-друге – для збереження схожості зерна необхідно в процесі зберігання підтримувати розрідження повітря в контейнері, що дорівнює 0,66 МПа.

- по-третє – для збереження схожості насіннєвого зерна примусову аерацію зернового насипу, що перебуває в герметичному контейнері з розрідженою атмосферою, необхідно починати за досягнення концентрації кисню в повітряній суміші щонайменше 14%.

Після визначення робочого тиску зберігання насіннєвого зерна в герметичному контейнері та критичної концентрації вуглекислого газу, за якого необхідно починати аерацію зернового насипу..

Маса вуглекислого газу під час зберігання насіння пшениці, яке має шпаруватість зернової маси, що дорівнює 0,4 та концентрацію CO₂ в повітряній суміші 7%, становитиме 0,0105 кг.

За результатами лабораторних досліджень конструктивно-технологічних параметрів герметичного контейнера з розрідженою атмосферою для зберігання насіннєвого зерна можна зробити такий висновок.

Технологія зберігання насіннєвого зерна в контейнері в умовах розрідженої атмосфери дає змогу зберегти його схожість. При цьому можна закладати на зберігання зерно в контейнер вологістю близько 15%; створювати і підтримувати в період зберігання розрідження повітря в межах 0,66 МПА; проводити заміну відпрацьованої повітряної суміші в робочому об'ємі контейнера за зниження концентрації кисню в ній до 14%. Контейнер із розрідженою атмосферою повинен мати ємність для накопичення вуглекислого газу, об'єм якої має становити близько 8,8 літрів на один кубічний метр робочого об'єму герметичного контейнера.

Під час лабораторних досліджень впливу розрідженості атмосфери в герметичному контейнері на життєдіяльність комах-шкідників хлібних злаків було проведено досліди. Результати проведених експериментів наведено в гістограмах (рис. 3.4, 3.5).

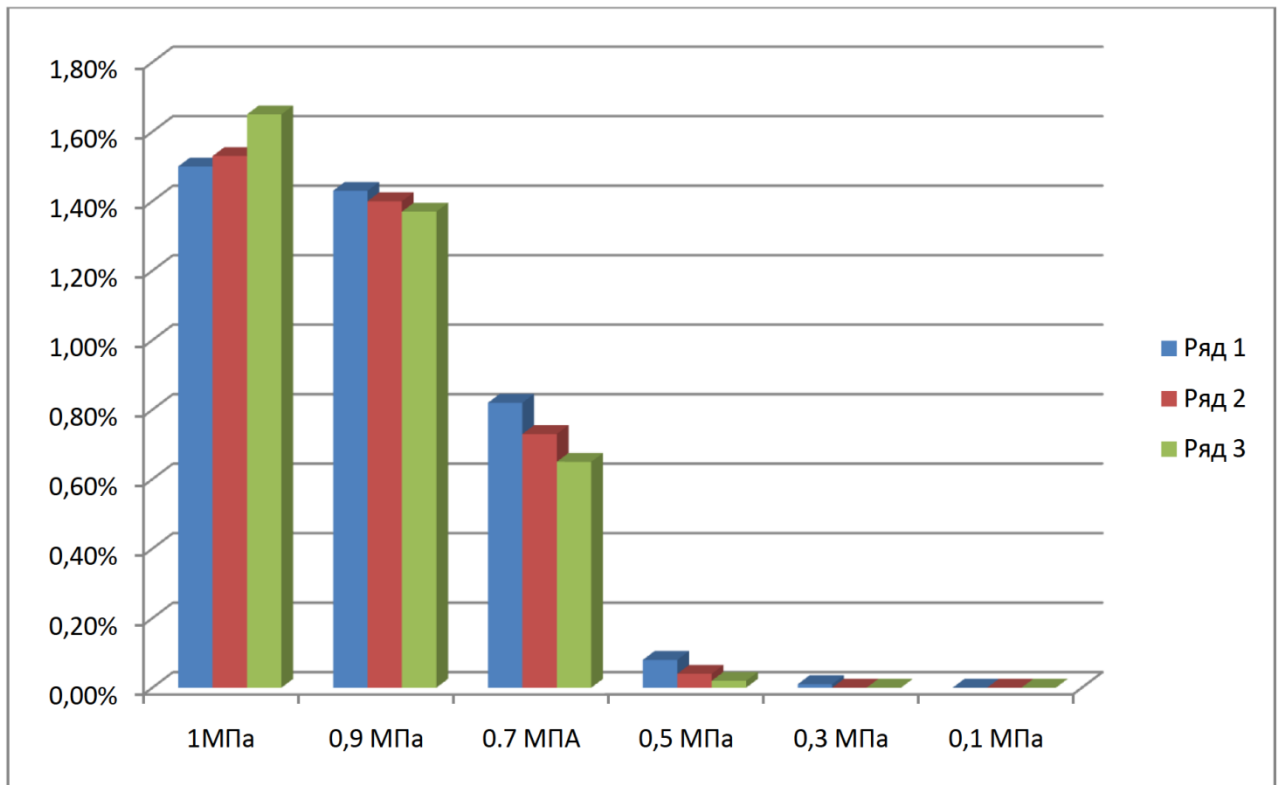


Рис. 3.4. Гістограма впливу розрідженої атмосфери на життєдіяльність Амбарного довгоносика: Ряд 1 – 24 години інкубації комах; Ряд 2 – 48 годин інкубації комах; Ряд 3 – 72 години інкубації комах.

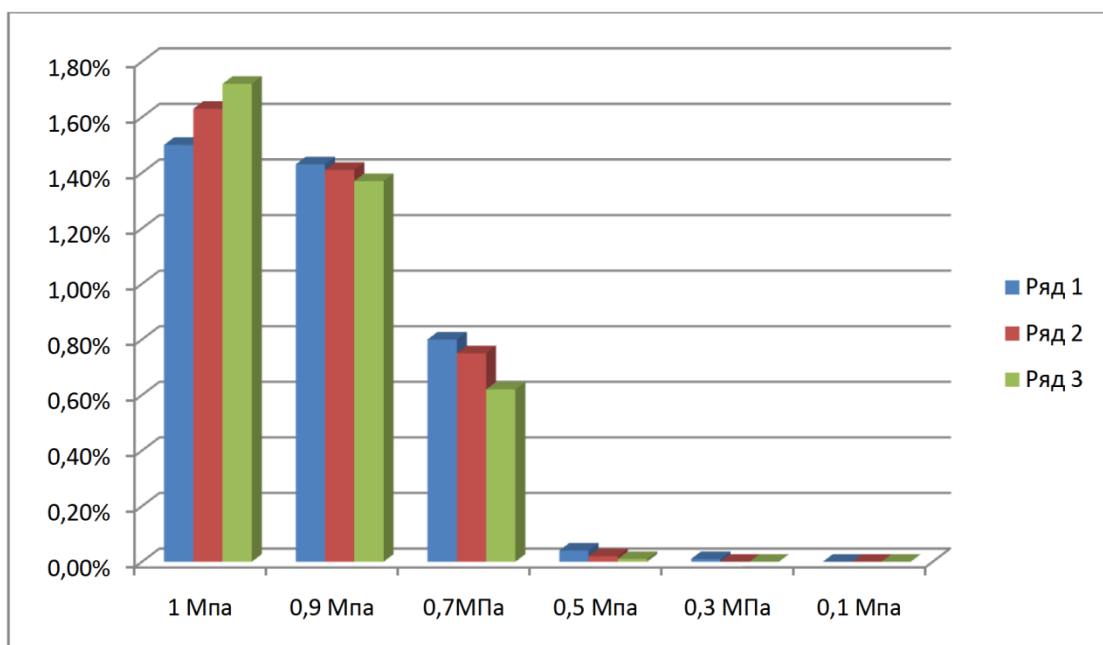


Рис. 3.5. Гістограма впливу розрідженої атмосфери на життєдіяльність Зернової молі: Ряд 1 – 24 години інкубації комах; Ряд 2 – 48 годин інкубації комах; Ряд 3 – 72 години інкубації комах.

Аналіз гістограми показав, що за відсутності розрідженості повітря (атмосферний тиск 1МПа) Комірний довгоносик продовжує розвиватися і його життєдіяльність у зерні стає активнішою, про що свідчить зростання концентрації вуглекислого газу в міжзерновому просторі з 1,5 % до 1,65%. Зі зростанням розрідженості атмосферного повітря починає знижуватися і процес життєдіяльності комах.

Так само під час лабораторного дослідження впливу розрідженості атмосфери в міжзерновому просторі на життєдіяльність комах-шкідників зернових культур були проведені досліди щодо здатності комах відновлювати свій життєдіяльний функціонал після перебування в розрідженій атмосфері. Для цього після знаходження в розрідженій атмосфері протягом 72 годин, комах витримували протягом 720 годин у сприятливих умовах для розвитку (атмосферний тиск 1МПа, температура і вологість повітря відповідно 30 °С і 65%).

Результати проведених експериментів представлено на гістограмах (рис. 3.6, 3.7).

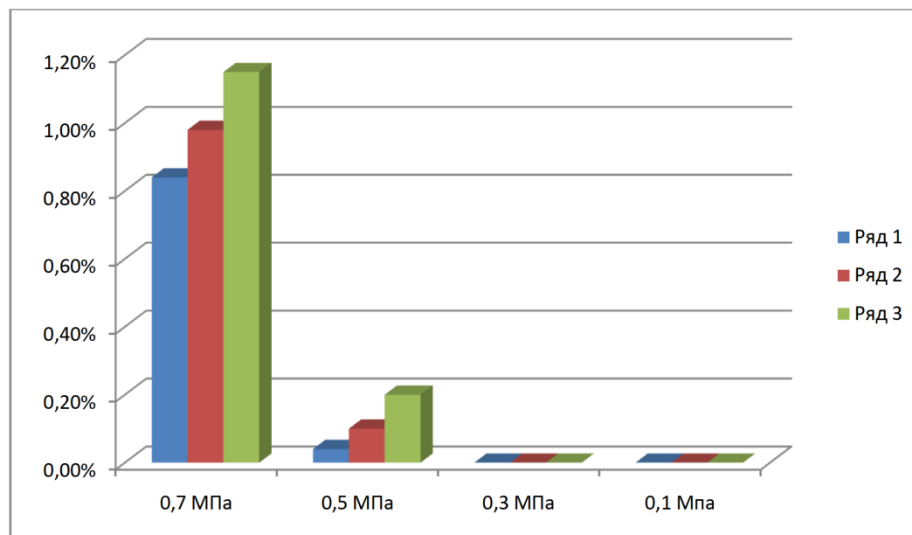


Рис. 3.6. Гістограма відновлення життєдіяльних функцій Комірного довгоносика після знаходження його в розрідженій атмосфері: Ряд 1 – 240 години інкубації комах; Ряд 2 – 480 годин інкубації комах; Ряд 3 – 720 годин інкубації комах.

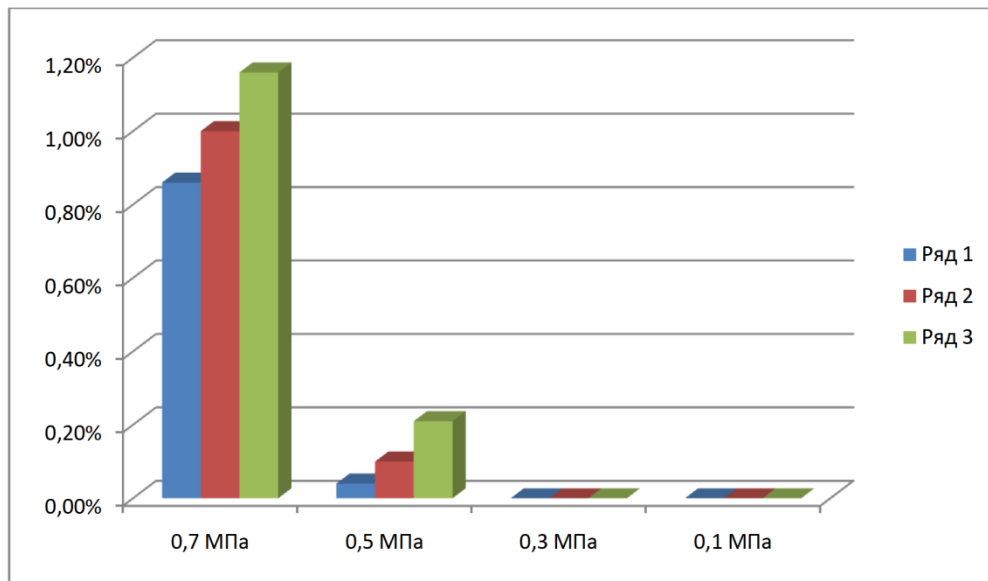


Рис. 3.7. Гістограма відновлення життєдіяльних функцій Зернової молі після знаходження її в розрідженій атмосфері: Ряд 1 – 240 години інкубації комах Ряд 2 – 480 годин інкубації комах; Ряд 3 – 720 годин інкубації комах.

Результати лабораторних досліджень з вивчення впливу розрідженої атмосфери на життєдіяльність комах-шкідників зернових культур показали, що за розрідження атмосфери сповільнюється життєдіяльність комах, які перебувають у зерні. Так, за тиску повітря 0,7 МПа виділення комахами вуглекислого газу скоротилося в 4 рази, а за 0,5 МПа виділення скоротилося майже в 20 разів. За тиску повітря 0,3 МПа і нижче спостерігалось припинення виділення вуглекислого газу, що свідчило про те, що комахи гинули через нестачу повітря або впадали в анабіозний стан.

Тому технологія зберігання насінневого зерна в контейнері в умовах розрідженої атмосфери повинна містити режим, за якого будуть створені умови для знищення комах-шкідників, які перебувають у зерновій масі.

Відповідно до результатів проведених експериментів, під час яких було встановлено, що знищення комах можливе за умови витримки зернової маси, яка перебуває в контейнері, під тиском 0,3 МПа протягом 72 годин. На схожість зерна така витримка не впливає.

Дослідження впливу умов зберігання насіннєвого зерна в металевих силосах на посівну якість насіннєвого зерна передбачало проведення порівняльних випробувань варіантів зберігання:

1 – у стандартному металевому силосі фірми HuaboMode № 18 - 00603 об'ємом 10,44 м³, встановленому на відкритому майданчику (рис. 3.8);

2 – запропонованого варіанту зберігання насіннєвого зерна в герметичному контейнері з розрідженою атмосферою, встановленому в приміщенні зерноскладу.



Рис. 3.8. Металеві силоси для зберігання насіннєвого зерна фірми HuaboMode № 18 – 00603

Під час порівняльних випробувань нами було встановлено, що під час зберігання насіннєвого зерна в металевому силосі HuaboMode № 18 - 00603, незважаючи на досить високий ступінь його герметичності, умови зберігання насіннєвого зерна, а отже й показники якості, значною мірою залежали від зміни зовнішніх кліматичних умов (температури, вологості зовнішнього повітря, сонячної радіації). Ступінь впливу зазначених параметрів кліматичних умов також був різним на різні шари зернового насипу.

Протягом усього періоду зберігання насінневого зерна найбільший вплив на температурно-вологісний режим пристінних і верхніх шарів зернової маси мала добова зміна температури зовнішнього повітря.

Зазвичай середня різниця температур між пристінним і центральним шаром зернового насипу всередині металевого силосу дорівнювала 4...7 оС. В окремі дні восени та навесні різниця доходила до 9.8...12.4 оС, що спричиняло підвищення відносної вологості повітряної суміші в зерновій масі. При цьому завдяки високій теплопровідності металевій стінки силосу, її температура опускалася нижче точки роси повітряної суміші, яка перебуває в міжзерновому просторі. На глибині 50 мм від стінки і кришки силосу вологість повітряної суміші дорівнювала 95-98%. Це створювало умови для утворення на внутрішній поверхні стінки силосу конденсату вологи та відпотівання зерна.

Для просушування та охолодження зерна використовувалася система активної вентиляції, встановлена на металевому силосі. За максимальної витрати повітря 6 м³/т., вона забезпечувала зниження вологості відпотілого зерна, яке перебувало в периферійних шарах зернового насипу, до 13...14% протягом 9...12 годин. З огляду на конкретні кліматичні умови Рязанської області в осінні місяці активну вентиляцію зерна можна було проводити тільки вночі, коли температура зовнішнього повітря була нижчою за температуру зернової маси в силосі. Фактичний час, доступний для активної вентиляції, був 5,5...7,8 годин, що розтягувало процес охолодження і підсушування зерна на кілька діб.

У не повністю висушеному насінні спостерігався процес утворення вільної води, що сприяла розвитку в пристінному шарі зернового насипу не спороутворювальних бактерій *Herbicolla* та плісняви, представленої грибками *Aspergillus*. Розвиток бактерій і грибків у пристінному шарі зернового насипу (завтовшки менш як 50 мм), обсяг яких становить близько 7% загального обсягу зерна, спричиняв втрату репродуктивних властивостей насіння. Схожість і живучість насіння через 8 місяців зберігання становила відповідно 82,5 і 87,5%, через 20 місяців зберігання – 69,3 і 83,6%.

Під час натурних випробувань було відмічено, що у весняно-літній період зберігання насіннєвого зерна в металевому силосі на тепловий стан насіння в пристінному та верхньому шарі зернового насипу починає чинити істотний вплив сонячна радіація. Із середини травня до середини вересня в денний час доби коливання температури насіння в пристінному шарі зернового насипу на глибині 50 мм становили 15...32 °С. Температура насіння в цей самий час у поверхневому шарі зернового насипу, через сприятливіший для нагрівання кут нахилу кришки силосу до горизонту, на тій самій глибині була на 4...8 градусів вищою, ніж у пристінному. Переміщення теплого повітря від пристінного і верхнього шару зернового насипу всередині металевого елеватора до центрального шару, де вологість повітря була 43...62%, не приводило до утворення конденсату, бо температура повітря в центральному шарі за весь час спостережень жодного разу не опускалася нижче точки роси.

За температури зерна вище 10 °С у металевому силосі спостерігалось зростання зараженості насіння мікроорганізмами та комахами-шкідниками хлібних злаків.

Зміна органолептичних властивостей зерна спостерігалися весь період зберігання особливо в придонному шарі зернового насипу, де накопичувався вуглекислий газ.

Після зберігання насіннєвого зерна в металевому силосі NuaboMode № 18-00603 воно мало щуплий вигляд, значні зміни кольору та наявність стороннього запаху.

Використання герметичних металевих контейнерів з розрідженою атмосферою в закритому приміщенні зерноскладу дало змогу обмежити теплообмін зернової маси, яка перебуває всередині контейнера, з навколишнім середовищем, що знизило різницю температур між шарами зернового насипу до 1,4...2,6 °С. Такі коливання температури повітряної суміші всередині зернового насипу, за зниженого вологовмісту повітряної суміші, через розріджену

атмосферу всередині контейнера, не створювало умови для утворення конденсату вологи.

Причиною проведення аерації зернового насипу в контейнері було тільки зниження вмісту кисню в повітряній суміші всередині ємності накопичувача вуглекислого газу. Частота проведення аерації знижувалася під час охолодження зернової маси. Завдяки використанню абсорбційного осушувача вологість зовнішнього повітря, що надходить до контейнера під час аерації, знижувалася на 24-29%, що дало змогу уникнути утворення конденсації вологи всередині контейнера і проводити аерацію в будь-який час доби. Час проведення примусової аерації становив 46...53 хвилини.

Зростання зараженості зерна мікроорганізмами та комахами, а також зміни кольору та запаху насіння при зберіганні його в герметичному контейнері з розрідженим повітряним середовищем за весь час проведення натурних випробувань виявлено не було.

Результати розрахунків природних втрат зерна та їх структура представлені у вигляді кругових діаграм на рис. 3.9.

З кругових діаграм видно, що під час зберігання насіннєвого зерна в металевому силосі NuaboMode № 18 - 00603 більша частина природних втрат пов'язана з витрачанням твердої речовини зерна на його дихання. Це свідчить про виникнення в процесі зберігання умов, за яких зерно через нестачу кисню в повітряній суміші металевого силосу, було змушене перейти на анаеробне дихання. Втрати за рахунок витрачання твердої речовини становили 25...34% від загальних природних втрат. Втрати від зниження чистоти зерна та витрачання твердої речовини на його дихання є непоправними.

Природні втрати маси насіннєвого зерна за його зберігання в герметичному металевому контейнері з регульованою атмосферою з усіх досліджуваних способів зберігання мали мінімальне значення. Основну частку в структурі цих втрат становили втрати від зміни вологості насіння, вона дорівнювала 89...92% і була незалежна від терміну зберігання.

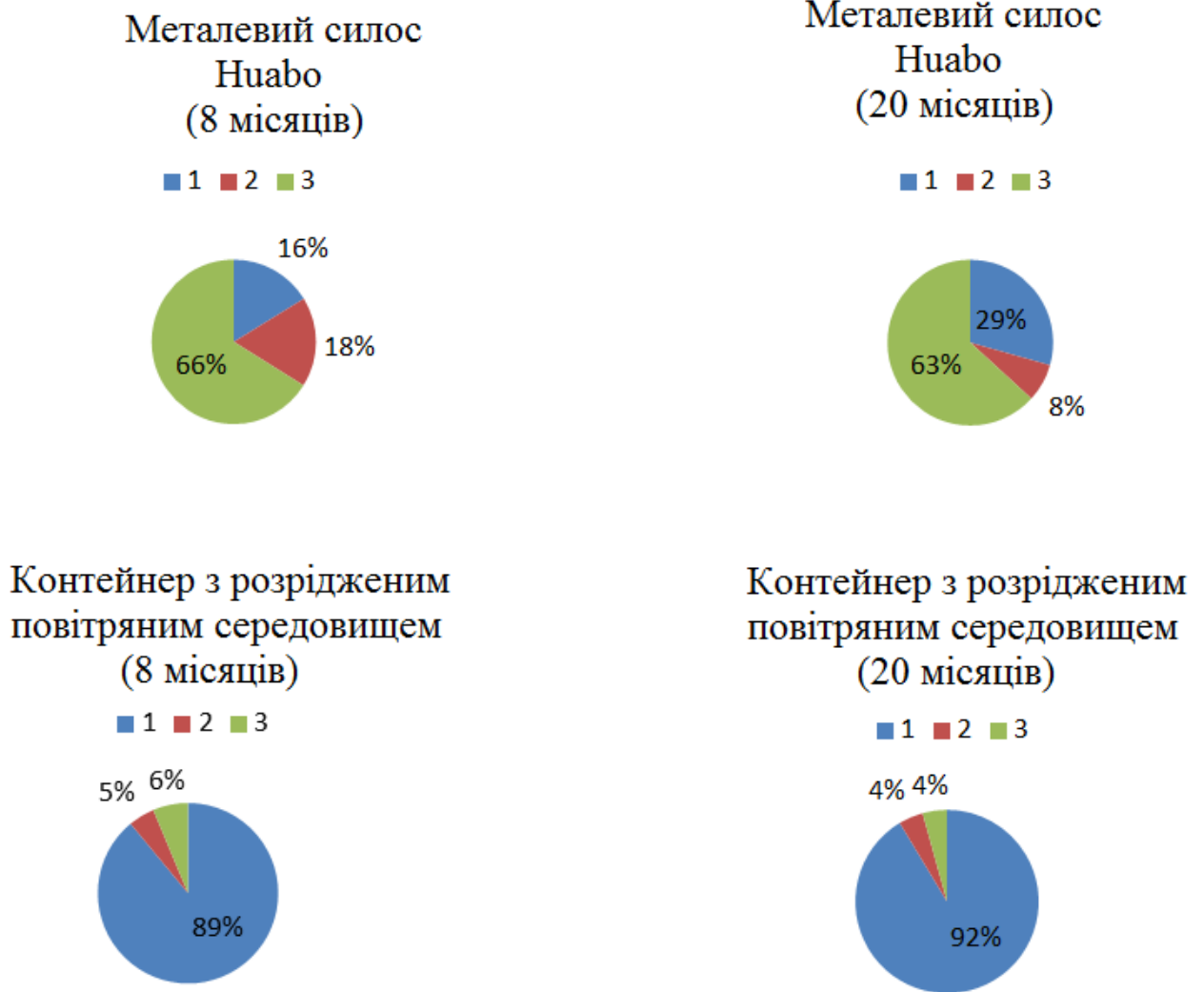


Рис. 3.9. Діаграми зміни показників вагомості природних втрат зерна за різних способів і термінів його зберігання: Показник природних втрат зерна за рахунок: 1 – зміни його вологості; 2 – зміни чистоти; 3 – витрати твердої речовини на дихання.

Втрати від зміни чистоти насіння та витрачання твердої речовини зерна на його дихання були приблизно рівними. У сумі вони становили 8...10%.

Для вивчення впливу умов зберігання насіннєвого зерна на морфофізіологічні показники та структуру врожаю ярої пшениці в умовах Житомирської області було закладено досліди у 2023 році. Досліди проходили на дослідній ділянці з дерново-підзолистим ґрунтом.

Середня врожайність у рослин з насіння, що зберігалось в герметичних контейнерах з розрідженою атмосферою, становила 54.1...55.1 ц/га, у металевому силосі 23.2...24.4 ц/га.

Відповідно до отриманих результатів можна зробити висновок, що зберігання насіннєвого зерна в герметичних контейнерах з розрідженою атмосферою дає змогу в умовах малих і середніх селянсько-фермерських господарств позитивно впливати на фенологічні показники рослин і структуру врожаю.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті аналізу вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури і сучасного виробничого досвіду було встановлено, що застосування металевих силосів для зберігання насіннєвого зерна знаходить широке застосування. Водночас цей спосіб має низку суттєвих недоліків, а саме: складну енерговитратну систему активної вентиляції; можливість накопичення вуглекислого газу в придонному шарі силосу та переходу зерна, яке перебуває в цьому шарі, на анаеробне дихання; ускладнена боротьба з комахами-шкідниками; низький рівень автоматизації умов зберігання насіння.

Обґрунтовано та експериментально підтверджено, що можливе зберігання насіннєвого зерна в герметичних контейнерах із розрідженим повітряним середовищем. При цьому спосіб зберігання повинен мати такі технологічні параметри: вологість зерна не вище 15,2%, граничний вміст кисню в повітряному середовищі всередині контейнера не нижче 14%, тиск повітряної суміші в робочому об'ємі контейнера 66 кПа. Для підтримання аеробного дихання насіння, що перебуває на зберіганні в контейнері з розрідженою атмосферою, проводять примусову аерацію зернового насипу з метою заміни відпрацьованої повітряної суміші із вмістом кисню нижче 14% на свіже зовнішнє повітря.

Навіть після тривалого зберігання (20 місяців) елітне насіння ярої пшениці категорії РС-3 у контейнері з розрідженою атмосферою зберігало свої посівні якості (чистота насіння 97,9%, вологість 13,5%, лабораторна схожість 95,2%, маса 1000 насінин 37 грам, зараженість хворобами 0,1%, комахами 2,8 шт/кг, сторонні запахи відсутні), при цьому природні втрати зерна за час зберігання не перевищували допустимі норми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. **Семенчук П.В.** Аналіз наявних режимів зберігання зерна. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 245-248.
2. Білецький В. Р., **Семенчук П. В.** Конструкції герметичного контейнера для зберігання насінневого зерна в розрідженій атмосфері. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 57-60.
3. Білецький В.Р., **Семенчук П.В.**, Хоменко С.М. Аналіз існуючих способів зберігання насінневого зерна. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).
4. Abadov M.K., Bayramov E.Ə. Un istehsalının texnologiyası.Laboratoriya praktikumu. Bakı: Elm, 2011. 124.
5. Delcour J.A., Hoseney R.C. Principles of cereal science and technology. 3rd edition. AACC Internatioanal, Inc. 2010. 232 p.
6. Ganjyal g. Extrusion Cooking: Cereal Grains Processing. 2nd Edition. Woodhead Publishing, 2020. 546 p.
7. Gomez M.I., House L.R., Rooney L.W., Dendy D.A.V. (Eds.) Utilization of Sorghum and Millets. ICRISAT, 1992. 228 p.
8. Owens G. (Ed.) Cereals Processing Technology. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2001. 235 p.

9. Sharma R., Dar B.N., Sharma S. (eds.) Cereal Processing Technologies: Impact on Nutritional, Functional, and Biological Properties. CRC Press, 2024. 509 p.
10. Мерко І.Т., Моргун В.О. Наукові основи і технологія переробки зерна. Одеса: Друк, 2001. 348 с.
11. Шаповаленко О.І., Євтушенко О.О. Технологія зберігання та переробки зерна. Конспект лекцій для студентів освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 181 «Харчові технології» денної та заочної форм навчання.— К.: НУХТ, 2017. 96 с.
12. Park S.H., Vining G.G. (Ed.) Statistical Process Monitoring and Optimization. Marcel Dekker, 2000. 510 p.
13. Quenouille M.H. The Design and Analysis of Experiments. Hafner Publishing Company, 1953. 253 p.
14. Rekab K., Shaikh M. Statistical Design of Experiments with Engineering Applications. aylor & Francis, CRC Press, 2005. 252 p.
15. Tamhane A.C. Statistical Analysis of Designed Experiments: Theory and Applications. John Wiley & Sons, 2009. 679 p.