

СОКОЛОВСЬКА ОЛЕНА

Одеський національний технологічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-4326-1932>e-mail: sokolovskaya_alena@ukr.net

ВАЛЕВСЬКА ЛЮДМИЛА

Одеський національний технологічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-0511-5643>e-mail: ludmila_valev@ukr.net

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ ЗЕРНА В МЕТАЛЕВИХ СИЛОСАХ ПРИ ТРИВАЛОМУ ЗБЕРІГАННІ

Температура зерна в сховищі – це складний процес, що визначається взаємодією різних факторів. Важливо встановлювати ефективні системи моніторингу та управління, щоб забезпечити оптимальні умови для зберігання та уникнути негативних наслідків, таких як самозаймання чи псування продукції. Нами проведено дослідження зміни температури сформованих шарів зерна при його зберіганні в металевих силосах. Встановлено вплив природних умов та розташування силосів на зберігання зерна та надано рекомендації щодо його зберігання в металевих силосах.

Ключові слова: термометрія, металевий силос, зберігання зерна, якість зерна, термомідрівська.

SOKOLOVSKA OLENA, VALEVSKA LIUDMYLA

Odesa National University of Technology

GRAIN TEMPERATURE CONTROL IN METAL SILOS WITH LONG-TERM STORAGE

The temperature of grain in storage is a complex process determined by the interaction of various factors. It is important to establish effective monitoring and management systems to ensure optimal storage conditions and avoid negative consequences such as spontaneous combustion or product spoilage.

Grain temperature plays an important role in maintaining its quality during storage. Temperature control is a key element to avoid problems such as spontaneous combustion, fungal and bacterial growth, and to ensure optimal storage conditions. Grain thermometry is an important part of monitoring grain storage and processing conditions in elevators and warehouses. Temperature plays an important role in maintaining quality and avoiding problems such as self-ignition. Various factors can affect the change in grain temperature during storage: climatic conditions, grain moisture, location of thermometers, grain condition, storage period, seasonal changes, level of ventilation, etc.

Proper management of these factors is important to maintain grain quality and prevent potential problems such as spontaneous combustion or mold growth. We conducted a study of temperature changes in the formed layers of grain during its storage in metal silos. The influence of natural conditions and the location of silos on the storage of grain was established and recommendations were given for its storage in metal silos. Special attention should be paid to the contact zones with the surface of the grain embankment and the zones adjacent to the walls of the slurry, they are the most sensitive to temperature changes. The air temperature in the silo affects the temperature of the upper layers of the grain mass, which are in direct contact with it.

When the ambient temperature rises, the air temperature in the silo rises, because the metal surfaces of the silo have high thermal conductivity.

Keywords: thermometry, metal silo, grain storage, grain quality, thermal suspension.

Постановка проблеми

Основним завданням збереження зерна є забезпечення надійних умов для зберігання зерна з недопущенням втрати його якості.

Актуальним на сьогоднішній день стає питання розвитку переробних зернових підприємств, які в свою чергу пов'язані зі зберіганням сировини в елеваторах. Поширення набули металеві елеватори, які на відміну від залізобетонних значно дешевші та потребують меншого часу для їх зведення. Але постають питання, як зберегти зерно в металевих силосах, як часто контролювати температуру в ньому, за яких умов навколишнього середовища краще його там зберігати та як веде себе зернова маса у різних шарах насипу.

Термометрія зерна є важливим елементом системи моніторингу в елеваторах та сховищах, допомагаючи уникнути псування та зберегти якість зерна.

Основні аспекти температурного контролю зерна включають:

Моніторинг температури: Регулярний моніторинг температури в різних частинах зернового масиву є важливим. Сучасні системи моніторингу можуть використовувати термометри, які автоматично передають дані.

Місце розміщення термометрів: Термометри можуть бути розміщені в різних частинах сховища чи елеватора, таких як середина, верхня частина та нижня частина, оскільки температура може варіюватися в різних частинах.

Точність і калібрування термометрів: Точність та калібрування термометрів є важливими для вірного вимірювання температури. Неправильне вимірювання може призвести до недооцінювання проблем.

Технології автоматизації: Використання сучасних технологій, таких як системи автоматизації, може допомогти в автоматичному контролі та реагуванні на зміни температури.

Видалення тепла: В деяких випадках може бути використана вентиляція для видалення тепла з зернового масиву та підтримання оптимальних умов.

Взаємодія із зовнішніми умовами: Метеорологічні умови, такі як температура повітря, також можуть впливати на температуру зерна, тому важливо враховувати ці фактори.

Контроль за температурою важливий для забезпечення безпеки зберігання зерна та підтримання його якості протягом тривалого періоду зберігання. Правильне управління температурою є ключем до успішного зберігання зерна.

Термометрія зерна має велике значення в агропромисловому секторі і зерновому господарстві. Основні значення термометрії зерна включають:

Контроль температури для збереження якості: Термометрія дозволяє визначити температурні режими в сховищах зерна. Підтримання оптимальної температури є ключовим фактором для збереження якості та вартості зерна. Високі температури можуть призвести до самозаймання або псування продукції, тому важливо моніторити та контролювати температуру під час зберігання.

Аналіз останніх досліджень

Температура зернової маси – це важливий показник, що характеризує стан зернової маси при зберіганні. Підвищення температури зернової маси, що не відповідає зміні температури навколишнього середовища, свідчить про активацію фізіологічних процесів та початок процесу самозігрівання.

Найголовнішою причиною псування зерна при зберіганні є відсутність контролю за температурою. Це викликає переміщення вологи від однієї частини маси зернових до іншої, де вона може акумулюватися і викликати псування зерна. Хоча переміщення вологи може трапитися в будь-який час, коли температура відрізняється в різних частинах сховища, найкритичніший момент виникає, коли тепле зерно зберігається при холодній зимовій температурі.

Зерно зазвичай закладається на зберігання з власною температурою 10-25°C, а іноді і вище.

До пізньої осені або ранньої зими середня температура знижується до - 5°C і нижче. Це падіння температури викликає охолодження повітря і зберігання зерна поруч зі стінами сховища ускладнюється. Так як зерно володіє досить хорошими ізолюючими властивостями, велика частина зерна і повітря в центрі сховища залишаються приблизно тієї ж температури, як і коли його поклали на зберігання [1–3].

Ці відмінності в температурі викликають повільне пересування вологи і повітря. Така природна циркуляція повітря називається конвекційними потоками. Вони розвиваються в результаті того, що повітря і зерно знаходиться близько до стін сховища. Охолодження робить повітря важчим, і воно осідає ближче до підлоги сховища. Коли повітря рухається нижче, а потім до центру сховища, воно стає теплішим, менш щільним і легшим. Це змушує повітряні потоки підніматися через тепле зерно, і його температура зростає. Коли збільшується температура повітря, можливість утримувати вологу росте, і воно починає абсорбувати невелику кількість вологи.

Повільно повітря піднімається до більш холодного зерна нагорі сховища, де температура нижча. Частина вологи випадає в осад у зерно шляхом конденсації вологи на поверхні зерна і проникнення вологи всередину холодного зберігання зерна. Проблема переміщення вологи є першим свідченням того, що на поверхні зерна утворюється кірка. Вона є тонким поверхневим зернистим шаром, який трохи вологий, слизовий і липкий. Іноді при зберіганні зерна змерзаються або злипаються разом [4–7].

Різкі перепади температури зовнішнього повітря протягом доби є особливо шкідливими для зернових мас, що зберігаються в силосах. В результаті різких коливань температур на внутрішніх поверхнях силосу конденсується волога, поява якої призводить до інтенсифікації фізіологічних процесів в зерновій масі, і як наслідок, псування зерна (проростання, самозігрівання, пліснявіння, тощо). Крім того, через перепади денних і нічних температур в металевому силосі можуть виникати циклічні напруження стиску і розширення, що можуть призвести до ущільнення зернової маси і її злежування [8, 9]. Конвекційні потоки та міграція вологи в металевих силосах при різних погодних умовах наведено на рис 1.

Температура зерна при закладці на зберігання у заготівельний період становить плюс (10...22) °C, тобто дорівнює температурі зовнішнього повітря. В зимовий період зовнішні температури падають до мінус (1...20) °C, і зерно, близьке до стінок зерносховища, охолоджується до температур близьких до температури зимового повітря, в той час як зерно, близьке до центру бункера, ще тепле, що пояснюється низькою теплопровідністю зерна.

Чим більшої місткості бункери, тим більше часу потрібно для переміщення теплоти з центру на периферію. При теплоті зерні в центрі сховища і холодному зерні на периферії виникають конвекційні повітряні потоки, що переміщуються вниз, в області холодного зерна, і вгору, в області теплового зерна в центрі сховища.

Конвекційні потоки викликані різницею густин холодного і теплового повітря. При переміщенні тепле повітря з центру зернової маси сховища переміщує малі кількості вологи з зерна. Потім при контакті теплового повітря з холодним зерном у верхній частині зерна і з холодним дахом бункера волога конденсується на холодних поверхнях. Частина вологи також переміщується між теплим і холодним зерном внаслідок дифузії. Комбінація факторів конвекційних потоків і дифузії призводить до поступового зволоження зерна у верхніх шарах центральній частині бункера. При достатньому зволоженні і при підвищенні температури зовнішнього повітря зерно покривається пліснявою і в ньому збільшується кількість комах.

Оптимальна температура зберігання зерна залежить від географічних чинників і погодних умов. У цілому при виборі рекомендованих температур зберігання зерна можна керуватися таким принципом: температура зерна повинна бути трохи вище середніх температур найхолодніших зимових місяців і нижче

середніх температур самих теплих літніх місяців. Для реалізації цих рекомендацій необхідно часто контролювати температуру зерна, а на початку нового сезону бажано застосовувати заходи для зміни температури зерна [1–4].

Термометрія зерна – це процес спостереження за температурою зернової маси при її зберіганні або переробці. Процес термометрії зернових вкрай важливий, оскільки це єдиний спосіб виявлення вогнищ самозігрівання зерна – провісників серйозних втрат зерна в період його зберігання, а часом і аварійних руйнівних наслідків, що загрожують життю людей і майна підприємства.

Контроль температури зерна – важлива умова ефективного збереження якісних показників. Зростання температури в процесі зберігання зернових мас зумовлене процесами так званого «самогрівання зерна» – мимовільного підвищення температури зернових мас через слабку теплопровідність. Самозігрівання відбувається нерівномірно, у тих ділянках зернової маси, де віддача тепла в навколишнє середовище стає нижчою за утворення тепла в точці маси. Тепло, що утворилося, як правило затримується в зерні і температура продовжує безупинно зростати [6–8, 10].

Запобігання самозайманню та псуванню: Зерно може генерувати тепло через хімічні і біологічні процеси, які відбуваються в ньому під час зберігання. Термометрія дозволяє виявити рост температури, що може свідчити про початок самозаймання. Вчасне виявлення цього явища дозволяє уникнути великих втрат зерна.

Ефективне управління зберіганням: Моніторинг температури є частиною ефективного управління зберіганням. Це включає в себе оптимізацію умов зберігання, реагування на будь-які зміни в температурі та прийняття заходів для забезпечення найкращих умов для зберігання зерна.

Безпека та попередження про ризики: Моніторинг температури є частиною систем безпеки в агропромисловому секторі. Це дозволяє попереджати про можливі ризики і вживати вчасних заходів для їхнього усунення.

Зменшення витрат і втрат: Ефективний контроль температури допомагає зменшити витрати та втрати зерна, оскільки він сприяє запобіганню його псуванню або втратам через самозаймання.

Загальною метою термометрії зерна є забезпечення безпеки, якості та ефективного управління зберіганням зернових культур, що є важливим елементом у сучасній агропромисловій діяльності.

Метою роботи є дослідження зміни температури сформованих шарів зерна при його зберіганні в металевих силосах різного діаметру.

Об'єкт дослідження – термометрія зерна при зберіганні на підприємстві в Одеській області.

Предметом дослідження були характеристики та статистичні дані температури зерна при зберіганні в різних силосах.

Методи досліджень обрали загальноприйнятні і спеціальні математико-статистичні та графоаналітичні методи. Обробку отриманих підприємстві табличних даних проводили комбінованим графоаналітичним методом, для чого на основі табличних значень будували відповідні гістограми та графіки, які давали наочне уявлення про температуру зерна при зберіганні. При побудові гістограм та діаграм використовували стандартні засоби табличного процесора Microsoft Excel 2007.

Виклад основного матеріалу

Нами проводився аналіз процесу зберігання зерна пшениці у в металевих силосах діаметром 18 м, загальною висотою – 30,83 м. У силос було закладено зерно пшениці третього класу з показниками: вологість 14,0 %, вміст смітцевої домішки 1,5 %, вміст зернової домішки 5,0 %. Зерно зберігалось у силосі з 17.09.2022 по 7.12.2022 р. Для контролю температури зернової маси силоси обладнані системою термометрії. Пристрій контролю температури зерна з цифровим дисплеєм дозволяє виводити цифрові дані температури зернової маси, що зберігається в силосах. Система термометрії (рис. 1) у силосі складається з 11 термопідвісок, на яких встановлено по 12 датчиків з кроком 2,3 м. Для подачі в силос повітря використовували вентилятор марки НР – 30.

Для встановлення залежності температури зернового насипу від зовнішніх факторів (вплив нагрітих стін, даху силосу, температури повітряного шару всередині силосу) побудовані графіки зміни температури зернового насипу у різні місяці, у дні коли різниця денної і нічної температури була максимальною.

Оскільки погодні умови на протязі доби змінюються і різниця температур у день і вночі може складати до 15 °С, треба пам'ятати про конденсацію який може утворитися внаслідок нагріву силоса у день і його охолодження вночі, що в свою чергу може призвести до зміни якості зерна (проростання, пліснявіння чи самозігрівання). Температура зерна при закладці на зберігання у заготівельний період становить плюс (10 ...22) °С, тобто дорівнює температурі зовнішнього повітря. В зимовий період зовнішні температури падають до мінус (1...20) °С, і зерно, близьке до стінок зерносховища, охолоджується до температур близьких до температури зимового повітря, в той час як зерно, близьке до центру бункера, ще тепле, що пояснюється низькою теплопровідністю зерна [7, 8].

При спостереженні за зерном, потрібно одночасно враховувати температуру зовнішнього повітря та повітря в силосі. Слід зауважити, що необхідно враховувати як денну, так і нічну температури повітря. Різкі перепади температури зовнішнього повітря протягом доби є особливо шкідливими для зернових мас, що зберігаються в силосах. В результаті різких коливань температур на внутрішніх поверхнях силосу конденсується волога, поява якої призводить до інтенсифікації фізіологічних процесів в зернової масі, і як наслідок, псування зерна (проростання, самозігрівання, пліснявіння тощо). Крім того, через перепади денних

і нічних температур в силосі можуть виникати циклічні напруження стиску і розширення, що можуть призвести до ущільнення зернової маси і її злежування [7, 8].

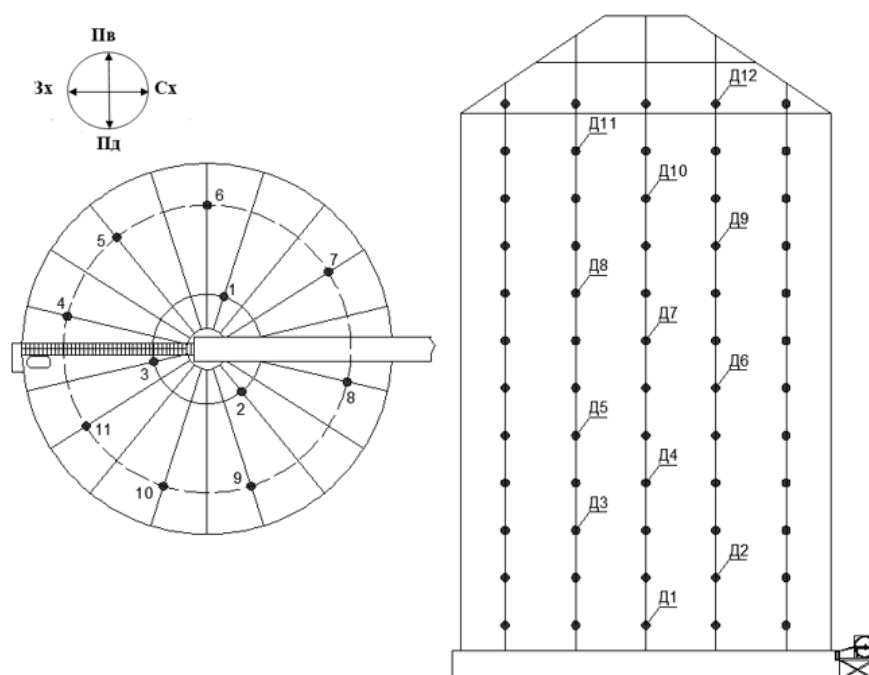


Рис. 1. План розміщення термопідвісок та термодатчиків у силосі

Найбільш піддається впливу температурою повітря – верхній шар зернового насипу, а саме "конус" в його вершині, як найбільш контактуюча поверхня, оскільки денна температура сприяє нагріву металевій конструкції силосу і як наслідок декілька підвищують температуру повітря у силосі.

На рис. 2 наведено зміни температури зерна у металевому силосі за значенням середньої температури по термопідвісці.

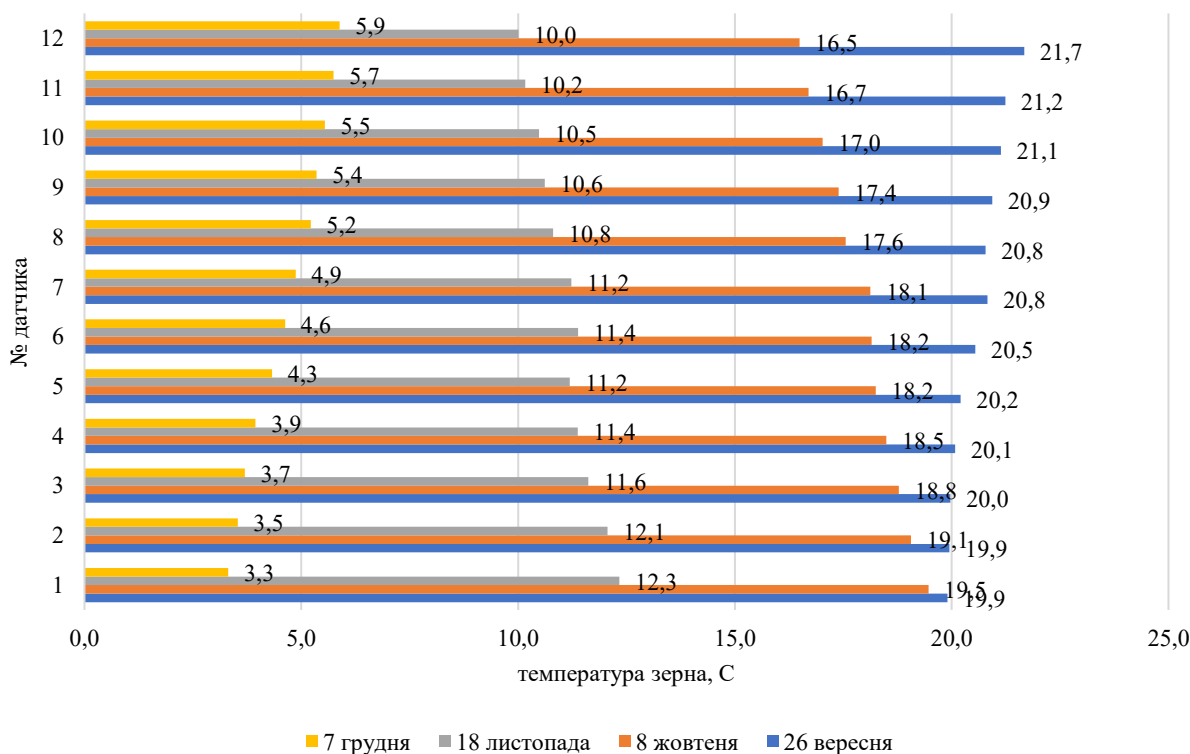


Рис. 2. Зміни температури зерна у металевому силосі по висоті

Отже, завдяки міграції вологи у силосі, можна спостерігати, що в залежності від погодних умов, по різному відбувається розподіл температури в середині силосу. Конвекційні потоки викликані різницею густин холодного і теплого повітря. При переміщенні тепле повітря з центру зернової маси сховища переміщує малі кількості вологи з зерна. Потім при контакті теплого повітря з холодним зерном у верхній частині зерна і з холодним дахом бункера волога конденсується на холодних поверхнях. Частина вологи також переміщується між теплим і холодним зерном внаслідок дифузії. Комбінація факторів конвекційних потоків і дифузії призводить до поступового зволоження зерна у верхніх шарах центральної частини бункера. При достатньому зволоженні і при підвищенні температури зовнішнього повітря зерно покривається пліснявою і в ньому збільшується кількість комах. Конденсація вологи на зерні також відбувається в літні місяці, коли вологе тепле повітря контактує з холодним зерном.

Оптимальна температура зберігання зерна залежить від географічних чинників. Нами було розглянуто вплив розташування силосів на температуру зерна.

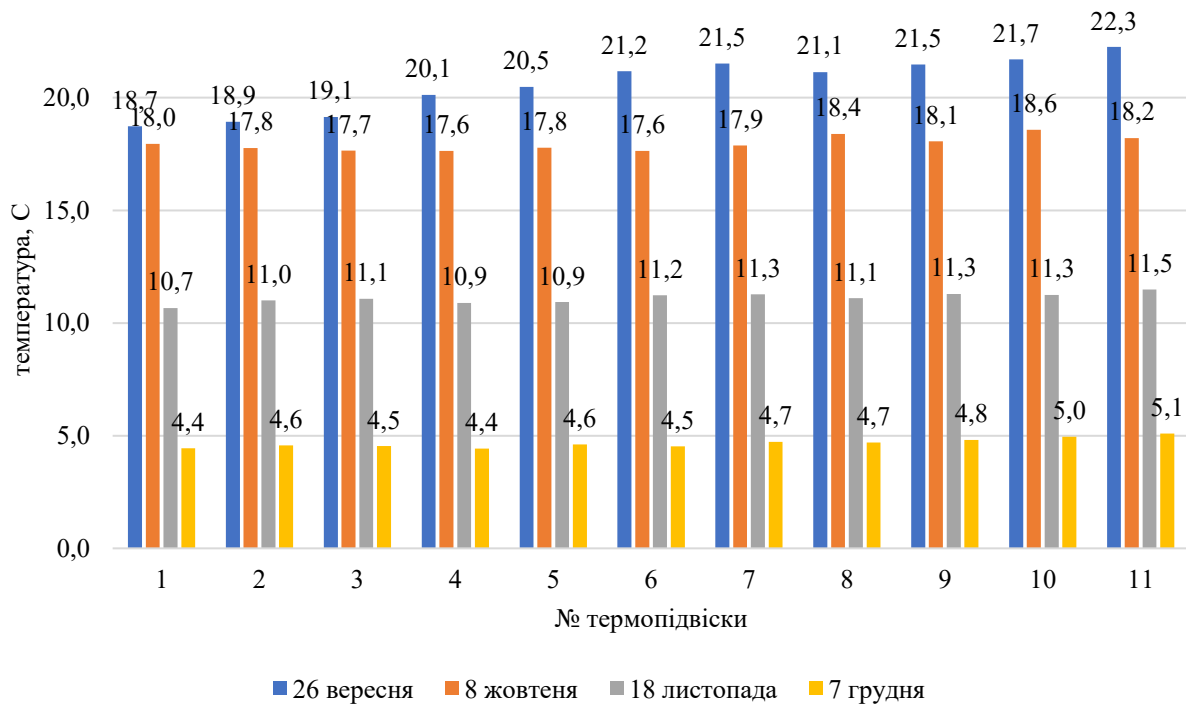


Рис. 3. Зміни температури зерна у металевому силосі по термopідвіскам

Встановлено, що термopідвіски № 9, 10, 11 розташовані на південній стороні фіксують більшу температуру. Також, слід відзначити, що температура зерна к стінок силосі, дещо вища за температуру зерна у середині силосу. Це пов'язано з високою теплопровідністю стін і покрівлі, що може викликати коливання температури всередині силосу і конденсацію вологи.

Висновки

Контроль температури зерна – найбільш ефективний і доступний практично спосіб відстеження результатів біохімічних процесів, що протікають у зерновому насипу під час зберігання зерна в зерносховищах.

При виборі рекомендованих температур зберігання зерна необхідно керуватися таким принципом: температура зерна повинна бути трохи вище середніх температур найхолодніших зимових місяців і нижче середніх температур самих теплих літніх місяців. Для реалізації цих рекомендацій необхідно часто контролювати температуру зерна, а на початку нового сезону бажано застосовувати заходи для зміни температури зерна.

Температура зернової маси залежить також від якості зерна, що надходить на зберігання. Графіки зміни температур зернової маси свідчать, що процес зберігання протікав стабільно.

Температура зерна при зберігання в силосі залежить від географічних чинників та їх розташування. Силоси, що знаходяться всередині елеватора, піддаються меншому впливу зовнішнього середовища, ніж зовнішні силоси.

Розміщення термopідвісок відповідно до сторін світу показало, що на півночі та північному сході зосереджені значно нижчі температури, ніж на південному заході, що характерно для даних сторін.

Виходячи з отриманих даних простежується, що при параметрах навколишнього середовища станом на 18.11.2022 найменше впливають різницю температури шарів зерна в силосі.

При підвищенні температури навколишнього середовища, температура повітря в силосі підвищується, оскільки металеві поверхні силосу мають високу теплопровідність;

За період зберігання з 17.09.2022 по 7.12.2022 року температура зерна відповідала безпечним умовам, отже була обрана правильна стратегія його зберігання.

Література

1. Станкевич Г.М., Овсянникова Л.К., Соколовська О.Г. Обробка та зберігання дрібнонасінневих олійних культур : монографія. Одеса : КП «Одеська міська друкарня», 2016. 128 с.
2. Овсянникова Л.К., Шевчук О.М., Соколовська О.Г. Дослідження температури насіння сорго при зберіганні в металевих силосах. Наукові праці ОНАХТ Міністерство освіти і науки України. Одеса, 2012. Вип. 42. Том 1. С. 6–11.
3. Овсянникова Л.К., Соколовська О.Г., Валевська Л.О., Горішна І.С., Юрковська В.В. Дослідження температури зерна проса при зберіганні в металевих силосах. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі / ХДУХТ. 2019. Вип. 1 (29). С. 265–275.
4. Іщенко В., Мостіпан Т., Гайдено О. Періодичність перевірки температури зерна в складі. <https://agro-business.com.ua/agro/zberihannia/item/17591-periodichnist-perevirki-temperaturi-zerna-v-skladi.html>
5. Жук А.В., Постнікова М.В. Контроль температурного режиму в зерносховищі. II Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція пам'яті В.В. Овчарова «Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем» Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного. С. 87–88.
6. Сухина А. Зберігання зерна: все під контролем. Пропозиція. 2018. № 10. <https://propozitsiya.com/ua/zberigannya-zerna-vse-pid-kontrolem>
7. Изменение температуры зерна при хранении в складах. <https://www.activestudy.info/izmenenie-temperatury-zerna-pri-xranenii-v-skladax/>
8. Особливості зберігання зерна в зимовий період. <https://www.cherk-consumer.gov.ua/novyny/4111-osoblyvosti-zberihannia-zerna-v-zymovyi-period>
9. Чинники, що визначають тривалість зберігання зерна. <https://agroexpert.ua/chynnyky-shcho-vyznachaiut-tryvalist-zberihannia-zerna/>
10. Зберігання зерна. <https://gcs.com.ua/ua/zerno>

References

1. Stankevych H.M., Ovsianynkova L.K., Sokolovska O.H. Obrobka ta zberihannia dribnonasinnnyevykh oliinykh kultur : monohrafiia. Odesa : KP «Odeska miska drukarnia», 2016. 128 s.
2. Ovsianynkova L.K., Shevchuk O.M., Sokolovska O.H. Doslidzhennia temperatury nasinnia sorho pry zberihanni v metalovykh sylosakh. Naukovi pratsi ONAKhT Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. Odesa, 2012. Vyp. 42. Tom 1. S. 6–11.
3. Ovsianynkova L.K., Sokolovska O.H., Valevska L.O., Horishna I.S., Yurkovska V.V. Doslidzhennia temperatury zerna prosa pry zberihanni v metalovykh sylosakh. Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli / KhDUKhT. 2019. Vyp. 1 (29). S. 265–275.
4. Ishchenko V., Mostipan T., Haidenko O. Periodychnist perevirky temperatury zerna v skladi. <https://agro-business.com.ua/agro/zberihannia/item/17591-periodichnist-perevirki-temperaturi-zerna-v-skladi.html>
5. Zhuk A.V., Postnikova M.V. Kontrol temperaturnoho rezhymu v zernoskhovyshchi. II Vseukrainska naukovo-praktychna internet-konferentsiia pamiati V.V. Ovcharova «Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku elektrotekhnichnykh system» Tavriiskiy derzhavnyi ahrotekhnolohichnyi universytet imeni Dmytra Motornoho. S. 87–88.
6. Sukhyna A. Zberihannia zerna: vse pid kontrolem. Propozytsiia. 2018. № 10. <https://propozitsiya.com/ua/zberigannya-zerna-vse-pid-kontrolem>
7. Yzmenenye temperatury zerna pry khranenny v skladakh. <https://www.activestudy.info/izmenenie-temperatury-zerna-pri-xranenii-v-skladax/>
8. Osoblyvosti zberihannia zerna v zymovyi period. <https://www.cherk-consumer.gov.ua/novyny/4111-osoblyvosti-zberihannia-zerna-v-zymovyi-period>
9. Chynnyky, shcho vyznachaiut tryvalist zberihannia zerna. <https://agroexpert.ua/chynnyky-shcho-vyznachaiut-tryvalist-zberihannia-zerna/>
10. Zberihannia zerna. <https://gcs.com.ua/ua/zerno>