

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*М. Желобкова*

**ЖЕЛОБКОВА МАРИНА ВАЛЕНТИНІВНА**

УДК 633.15:[631.53.02:66.098.4]–048.78:621.798.1–036.7(043.5)

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ  
В ПОЛІМЕРНИХ ЗЕРНОВИХ РУКАВАХ**

Спеціальність 05.18.02 – технологія зернових, бобових, круп'яних  
продуктів і комбікормів, олійних і луб'яних культур (технічні науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису  
Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій  
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: — доктор технічних наук, професор  
**Станкевич Георгій Миколайович**,  
Одеська національна академія харчових технологій,  
кафедра технології зберігання зерна, професор кафедри.

Офіційні опоненти: — доктор сільськогосподарських наук, професор  
**Кирпа Микола Якович**,  
ДУ Інститут зернових культур НААНУ, заступник  
директора з наукової роботи, завідувач лабораторії методів збереження та стандартизації зерна;

— кандидат технічних наук, доцент  
**Харченко Євген Іванович**,  
Національний університет харчових технологій,  
кафедра технології зберігання і переробки зерна,  
доцент кафедри.

Захист відбудеться 12 травня 2021 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112, ауд. А-234.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112, ауд. А-234.

Автореферат розіслано 12 квітня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
канд. техн. наук, доцент

Т. І. Нікітчина

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Тенденцією останніх років є будівництво значної кількості комерційних елеваторів з новітнім обладнанням, але, зважаючи на вартість їх послуг, численні випадки некоректного проставлення показників якості при прийманні, виробникам зерна доцільно використовувати власні потужності для проведення сушіння та очищення зерна. Будівництво потужних елеваторів для доведення до вимог контрактів великої кількості збіжжя в період жнив є нерациональним, зважаючи на невеликий період ефективної роботи обладнання на протязі року. Тому постає проблема економного та надійного збереження вологого та сирого зерна для подальшої доробки з використанням власного обладнання. Таку можливість надає технологія зберігання зерна в полімерних зернових рукавах (ПЗР). Основний принцип якої полягає в зберіганні зерна в герметичному середовищі. Така технологія дає задовільні результати при збереженні зерна сухого та середньої сухості, а також вологих зернових кормів (силосу). Особливо актуальним це питання є для збереження свіжозібраного зерна кукурудзи, зважаючи на максимальні потреби в сушінні, порівняно з іншими культурами. На цьому етапі постає проблема визначення та вивчення оптимальних та безпечних для якості режимів зберігання свіжозібраного вологого та сирого зерна кукурудзи для подальшої доробки та експортування.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри технології зберігання зерна Одеської національної академії харчових технологій за темою «Підвищення ефективності технологічних процесів в елеваторній промисловості» (2016 р.); «Визначення змін показників якості свіжозібраного зерна кукурудзи при його зберіганні в герметичних умовах» (2017 р.); «Визначення змін показників якості свіжозібраного зерна різних культур при їх зберіганні в різних умовах» (2018 р.).

**Мета і завдання дослідження** цієї роботи було вивчення та наукове обґрунтування можливості використання ПЗР для промислового збереження зерна середньої сухості, а також вологого та сирого зерна кукурудзи для подальшого доведення до вимог експортних контрактів та розробка технологічно ефективного і економічно доцільного способу ведення зазначеного процесу.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі основні завдання:

- провести порівняльні дослідження агротехнологічних характеристик різних гібридів кукурудзи та визначити найбільш придатні для зберігання в ПЗР;
- дослідити вплив анаеробних умов зберігання на фізіологічні процеси, що перебігають в зерні кукурудзи різної вологості впродовж його зберігання;
- визначити вплив анаеробних умов зберігання за різних температур на зміни хімічного складу зерна кукурудзи різної вологості;
- визначити вплив анаеробних умов зберігання за різних температур на перебіг біохімічних процесів у зерні кукурудзи;
- дослідити вплив анаеробних умов зберігання за різних температур на мікробіологічний стан зерна кукурудзи;

– визначити вплив анаеробних умов зберігання на технологічні властивості зерна кукурудзи;

– провести зберігання зерна кукурудзи у ПЗР у виробничих умовах та уточнити гранично допустимі терміни його безпечного зберігання в залежності від вологості зерна та температурних умов зберігання;

– розробити рекомендації промисловості впровадження удосконаленої технології анаеробного зберігання зерна кукурудзи у ПЗР;

– визначити економічну ефективність від впровадження удосконаленої технології.

*Об'єкт дослідження* – технологія зберігання зерна в анаеробних умовах полімерних зернових рукавів.

*Предмет досліджень* – фізико-технологічні властивості зернової маси кукурудзи, її хімічний та біохімічний склад, фізіологічні процеси дихання, мікробіологічний стан, процеси зберігання.

*Методи дослідження* – експериментальні, загальноприйняті і спеціальні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, біохімічні, біологічні, математичні і мікробіологічні з використанням сучасних приладів та обладнання.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що:

– отримано нові дані з фізико-технологічних властивостей зерна кукурудзи різних гібридів та вологості;

– встановлено закономірності фізіологічних процесів, що перебігають в зерні кукурудзи різної вологості при зберіганні в анаеробних умовах;

– встановлено закономірності змін хімічного складу та біохімічних показників зерна кукурудзи різної вологості при зберіганні в анаеробних умовах за різних температур;

– встановлено закономірності впливу анаеробних умов зберігання на санітарно-гігієнічний стан зерна кукурудзи різної вологості;

– визначено вплив технології зберігання зерна в ПЗР на зміни показників якості вологого та сирого зерна кукурудзи;

– обґрунтовано гранично-допустимі безпечні для якості терміни зберігання зерна в ПЗР;

– науково-обґрунтовано технологію зберігання вологого та сирого зерна кукурудзи, що дозволяє зменшити витрати на його доробку за рахунок використання власних потужностей підприємств та гарантувати надійне зберігання.

**Практичне значення отриманих результатів.** На підставі експериментальних та теоретичних досліджень удосконалено технологію зберігання зерна в ПЗР розширивши перелік можливого застосування за рахунок вологого та сирого свіжозібраного зерна кукурудзи, що дозволяє підвищити ефективність використання власного обладнання підприємств. Удосконалена технологія зберігання вологого та сирого зерна перевірена у лабораторних умовах ОНАХТ, а також у виробничих умовах на елеваторах Веснянська та Балинська дільниці ТОВ «Кононівський елеватор». Отримані результати у виробничих умовах підтвердили ефективність запропонованих удосконалень та режимів зберігання сирого зерна кукурудзи в ПЗР.

На підставі отриманих результатів розроблено проект рекомендацій по зберіганню вологого та сирого зерна кукурудзи в ПЗР.

Запропонована технологія зберігання вологого та сирого зерна кукурудзи може бути рекомендована до впровадження на елеваторах, фермерських підприємствах, агрохолдингах. Результати роботи можуть бути використані в навчальному процесі при вивченні дисциплін «Зернознавство», «Технологія зберігання та сушіння зерна», «Науково-дослідна робота студентів», «Інноваційні технології галузі з КП» для студентів за напрямом підготовки 181 – харчові технології, які навчаються за навчальними планами бакалаврів та магістрів.

**Особистий внесок здобувача.** Автор дисертації особисто організував і здійснив аналітичні та експериментальні дослідження в лабораторних умовах, провів аналіз та обробку одержаних результатів, сформулював висновки і рекомендації, підготував матеріали досліджень до публікації, брав участь в апробації результатів та рекомендацій роботи у промислових умовах. Особистий внесок здобувача підтверджено наданими документами та науковими публікаціями.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень оприлюднені на наукових та науково-практичних конференціях і спеціалізованих виставках: 76, 80 науковій конференції викладачів академії (Одеса, ОНАХТ, 2016, 2020); круглих столах «Інновації в переробній галузі» IV, V спеціалізованих виставках «АгроСфера», «ЗерноСфера» (Одеса, 2017, 2018); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів (Харків, ХДУХТ, 2016); XII Міжнародній науково-технічній конференції «Техніка и технология пищевых производств» (Могилів, Білорусь, МГУП, 2018); Міжнародних науково-практичних конференціях «Харчові технології, хлібопродукти і комбікорми» (Одеса, ОНАХТ, 2015, 2016); Міжнародних науково-практичних конференціях «Технології харчових продуктів і комбікормів» (Одеса, ОНАХТ, 2017, 2018, 2020).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи викладено в 14 наукових працях, з яких 2 статті у монографії, 5 статті у фахових виданнях України, з них 1 – у наукометричному виданні, тези 6 доповідей на науково-практичних конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, основного змісту, що включає 4 розділи, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 170 найменувань (12 стор.) та 8 додатків (96 стор.). Основний зміст роботи викладено на 132 стор., включаючи 36 рисунків та 8 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність вибраної теми, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету роботи та завдання досліджень, показано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено дані з апробації, визначено особистий внесок здобувача в проведених дослідженнях та публікаціях за темою дисертаційної роботи.

**Перший розділ** «Сучасний стан та проблеми технології зберігання зерна в полімерних зернових рукавах» містить огляд наукової літератури та патентних джерел. Наведено аналіз наукових публікацій, що стосуються характеристики зерна кукурудзи як об'єкту дослідження, а також безпосередньо технологічних процесів його післязбиральної обробки та зберігання.

Основною операцією післязбиральної доробки зерна кукурудзи залишається його сушіння, оскільки кукурудза, особливо гібриди з великим ФАО надходить на підприємства з вологістю, що значно перевищує базисну. Оскільки використання власних сушилних потужностей є вигіднішим в порівнянні з користуванням послугами сторонніх елеваторів, постає питання якісного збереження вологого та сирого зерна кукурудзи, що є найбільш нестійким при зберіганні. Наразі зберігання зерна середньої сухості в ПЗР досить широко розповсюджено. Питання по зберіганню сирого зерна в ПЗР недостатньо вивчене. Постає завдання глибокого вивчення процесів, що відбуваються в вологому та сирому зерні під час зберігання в ПЗР та цілеспрямованому використанні переваг анаеробного зберігання. На сьогодні залишаються не достатньо вивченими та визначеними фізіологічні, біохімічні зміни, що відбуваються в свіжозібраній зерновій масі під час анаеробного зберігання в умовах ПЗР. Науково не підтверджено терміни безпечного зберігання вологого та сирого зерна кукурудзи в ПЗР в промислових масштабах.

У **другому розділі** «Об'єкти та методи досліджень» сформульовано наукову проблему, обґрунтовано вибір об'єктів та напрямку досліджень, наведено методики експериментальних і теоретичних досліджень. У відповідності до задач дослідження було розроблено програму роботи, яка передбачає проведення загальноприйнятих досліджень змін фізико-технологічних, фізіологічних, біохімічних, показників вологого та сирого зерна кукурудзи, так і досліджень способів його післязбиральної обробки для визначення ефективних режимів зберігання і виявлення найбільш раціонального способу, методики зберігання зерна в ПЗР. Для реалізації поставлених завдань обґрунтовано методи та методики досліджень. Наведено опис основних експериментальних установок. Дослідження проводили на кафедрах Одеської національної академії харчових технологій та у виробничих умовах зернозаготівельних підприємств галузі.

На етапі експериментальних досліджень визначали вплив анаеробних умов зберігання на фізіологічні і біохімічні властивості зерна кукурудзи, хімічний склад, мікробіологічний стан та технологічних властивостей зернових мас кукурудзи продовольчо-кормового призначення. У промислових дослідженнях вивчали зміни фізико-технологічних характеристик зернових мас зерна кукурудзи, зміни показників якості при зберіганні в польових умовах, досліджено зміни температури зерна у різних шарах ПЗР в залежності від змін температури навколишнього середовища, проведено аналіз залежності відповідності якісних показників від термінів зберігання.

Програму проведених теоретичних та експериментальних досліджень наведено на рис. 1.

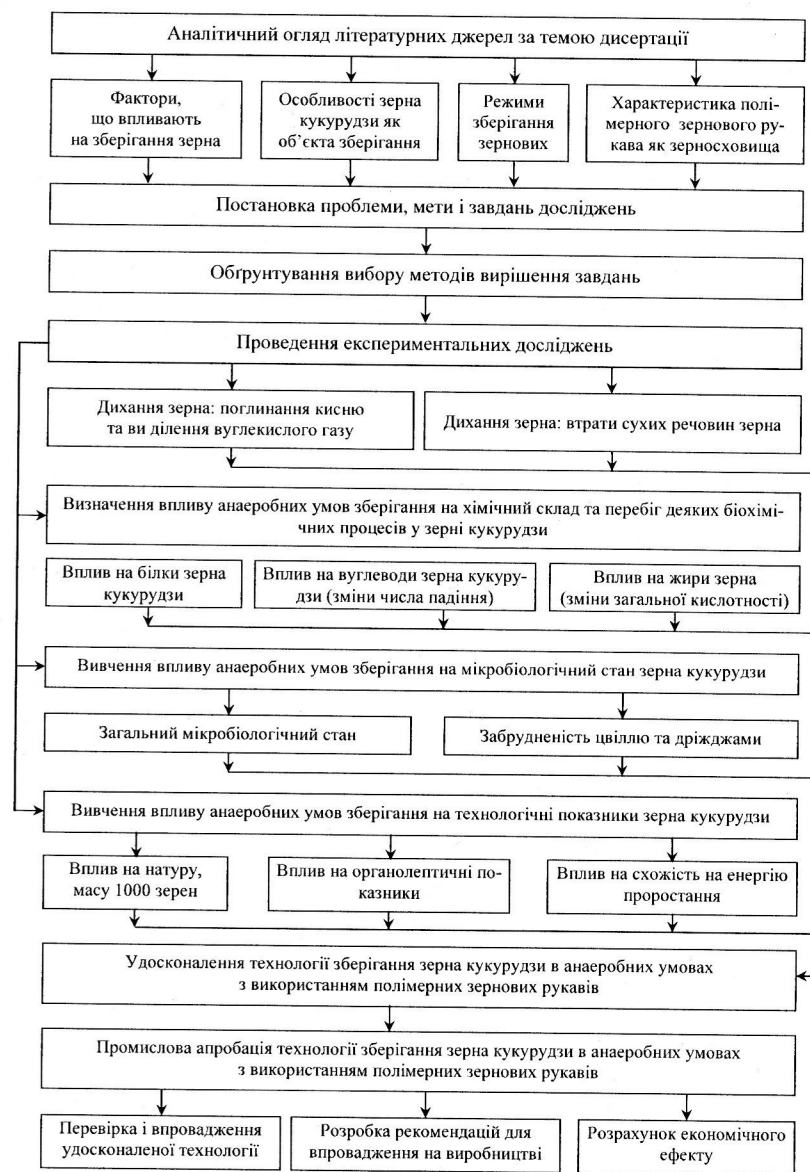


Рис. 1. Програма досліджень

У третьому розділі «Дослідження впливу анаеробних умов зберігання на фізіологічні, технологічні, біохімічні та мікробіологічні властивості зерна кукурудзи» досліджено основні фізіологічні, біохімічні, мікробіологічні та технологічні, властивості сухого, вологого і сирого зерна кукурудзи, на основі яких надалі була удосконалена технологія зберігання зерна кукурудзи у герметичних умовах ПЗР.

На перших етапах досліджень на підприємствах агрохолдингу ПАТ «ТАКО» (наразі ТОВ «АСТ»), розташованих у Житомирській та Київській областях, були проведені дослідження агротехнологічних характеристик зернових мас кукурудзи, з урожаїв різних гібридів насіння кукурудзи, які за своїми властивостями є найбільш придатними до вирощування у агрокліматичних умовах агрохолдингу та мають кращі технологічні властивості при збиранні, зберіганні, доробці та формування цільових партій різним споживачам та експортерам.

У дослідженнях було проведено аналіз зернових мас 10-ти різних гібридів кукурудзи зубовидного типу зібраних у 2013 році: ДК 315, ДК 391, ДК 440, ДКС 3511, ДКС 3705, ДКС 3795, ДКС 4082, ДКС 4490, ДКС 4590, ДКС 4795.

У якості основних показників, за якими проводили оцінку властивостей зернової маси кожної окремої дослідної партії, були взяті окремі агротехнічні показники властивостей зерна кукурудзи (розмір, стан ендосперму, урожайність), а також окремі технологічні властивості зернової маси такі як однорідність дослідної партії зерна за вологістю, вміст зернової домішки (за пошкодженнями та битими зернами), кількістю зіпсованих зерен в отриманій зернової масі та натурі. Ці показники зернової маси є мінімально необхідними для оцінки відповідності товарних партій зерна кукурудзи до найбільш поширених контрактних вимог, можливих витрат при формування товарних партій зерна, а також попередньої оцінки техніко-економічної діяльності агрохолдингу.

Визначені показники якості зернових мас кукурудзи досліджених гібридів наведено в табл. 1.

Таблиця 1  
Характеристики зернових мас досліджених гібридів кукурудзи

| Гібриди         | Вологість, %         | Зернова домішка, % |             | Зіпсовані зерна, % | Натура, г/л | Урожайність, ц/га |
|-----------------|----------------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|-------------------|
|                 |                      | пошкоджені         | биті        |                    |             |                   |
| ДК 315          | 21,91...22,54        | 0,49               | 5,84        | 0,38               | 758         | 111,4             |
| ДК 391          | 23,41...24,18        | 1,36               | 4,31        | 0,33               | 724         | 118,5             |
| ДК 440          | 21,72...21,98        | 1,34               | 6,49        | 0,30               | 712         | 117,0             |
| <b>ДКС 3511</b> | <b>24,97...25,96</b> | <b>0,77</b>        | <b>3,57</b> | <b>0,23</b>        | <b>688</b>  | <b>104,5</b>      |
| <b>ДКС 3705</b> | <b>23,51...24,84</b> | <b>0,57</b>        | <b>2,96</b> | <b>0,19</b>        | <b>675</b>  | <b>108,7</b>      |
| ДКС 3795        | 23,46...24,87        | 1,48               | 6,23        | 0,37               | 695         | 108,8             |
| ДКС 4082        | 23,56...25,49        | 0,99               | 4,40        | 0,40               | 729         | 93,4              |
| ДКС 4490        | 21,67...22,55        | 0,84               | 4,43        | 0,40               | 718         | 91,4              |
| <b>ДКС 4590</b> | <b>22,44...22,71</b> | <b>0,80</b>        | <b>4,02</b> | <b>0,25</b>        | <b>638</b>  | <b>102,4</b>      |
| ДКС 4795        | 22,34...23,34        | 1,11               | 8,45        | 0,29               | 691         | 102,7             |

В результаті проведених агротехнологічних досліджень серед використаних у експерименті гібридів кукурудзи було виявлено три найбільш перспективних види (ДКС 3511, ДКС 3705 і ДКС 4590), які за своїми агротехнічними

властивостями, особливо гібрид ДКС 3705, є найбільш придатними для вирощування на сільськогосподарських угіддях агрохолдингу, а отриманий з них врожай зерна за своїми технологічними властивостями має найкращі показники. За агротехнічними і технологічними своїми властивостями гібрид ДКС 3705 є найбільш перспективним для використання в межах сільськогосподарської і техніко-економічної діяльності агрохолдингу. Однак, з урахуванням того, що зазначені гібриди ДКС 3511, ДКС 3705 і ДКС 4590 середньостиглої групи за класифікацією ФАО відрізняються між собою лише різною тривалістю періоду вегетації, їх можна вважати взаємодоповнюючими, що дозволить підвищити гнучкість агротехнологічних процесів агрохолдингу.

Далі було вивчено закономірності фізіологічних процесів дихання у зерні кукурудзи при зберіганні в герметичних умовах ПЗР, для оцінки можливих термінів безпечного зберігання зерна різної вологості та зменшення витрати на його доробку і зберігання. Дослідження проводили на зерні гібриду кукурудзи зубоподібного типу ДКС 3705, який за попередніми дослідженнями за своїми ботанічними і агротехнічними властивостями виявився кращим для використання на продовольчі і непродовольчі потреби та для експортування.

Для експериментальних досліджень інтенсивності дихання зерна був використаний дослідний стенд, розроблений на кафедрі технології зберігання зерна ОНАХТ на основі багатокомпонентного індивідуального сигналізатора-аналізатора газів ДОЗОР-С-М, виробництва НВП «ОПІОН» (м. Харків), який дозволяє визначати концентрацію вуглекислого газу і кисню в багатокомпонентних газових сумішах та повітрі.

Для проведення експериментів було відібрано по два зразка зерна з усередненою вологістю 14 та 21 % для зберігання за температур 4, 11 та 18 °С (всього 6 зразків зерна). Обрані значення вологості зерна та температур є найбільш характерними для умов осінньо-зимового періоду масового збирання врожаю кукурудзи.

У кожній з 6-ти ємностей із зерном за допомогою газоаналізатора визначили початкові показники вмісту кисню і вуглекислого газу та надалі щотижня впродовж всього періоду зберігання зразків зерна у ємностях з зерном визначали показники газового середовища. Загальна тривалість зберігання зразків зерна склала 3 місяці.

За результатами експериментів для всіх зразків зерна, що зберігались в герметичних умовах за різних температур, були отримані чисельні значення маси поглинутого кисню і виділеного вуглекислого газу, на основі яких надалі були розраховані втрати сухих речовин зерном і виділення ним теплової енергії. На основі отриманих даних було побудовано кінетичні криві, які дають наочне уявлення про характер закономірностей фізіології дихання зерна та процесів, що їх супроводжують, а також дозволяють виявити тенденції впливу обраних у експерименті умов зберігання зерна різної вологості на інтенсивність протікання фізіологічних процесів за різних температур, які імітують умови зберігання зерна у осінньо-зимовий період.

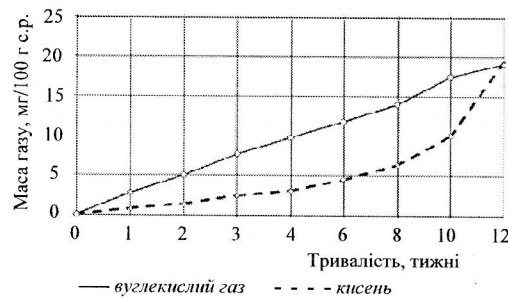


Рис. 2. Кінетика процесів поглинання кисню і виділення вуглекислого газу зерном кукурудзи з початковою вологістю 21 % при зберіганні в анаеробних умовах за температури 11°C

зерні з різною початковою вологістю, є те, що у зразках з вологістю вище кондиційної (14 %), вони протікають більш інтенсивніше. Внаслідок цього, за перші чотири тижні експерименту усереднені показники поглинутого кисню і виділеного вуглекислого газу у зразках з початковою вологістю 21 % перевищують показники відповідних процесів, що перебігають у зразку з вологістю 14 %, на 166 % за кількістю поглинутого кисню та на 191 % за кількістю виділеного вуглекислого газу.

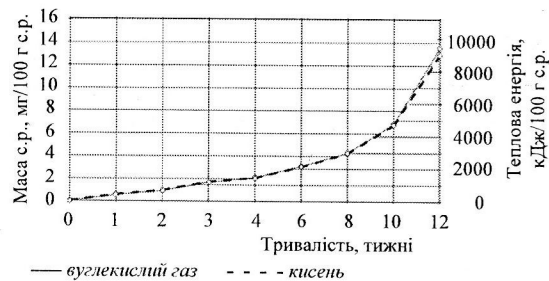


Рис. 3. Кінетика втрати сухих речовин і виділення теплової енергії зерном кукурудзи з початковою вологістю 21 % при зберіганні в анаеробних умовах за температури 11°C

логістю 21 % перевищують аналогічні показники зерна з початковою вологістю 14 % на 191 %.

Після четвертого тижня зберігання у зразках зерна з різною початковою вологістю, що зберігалися за температури 11 °C, також спостерігаються певні зміни у характері та інтенсивності процесів дихання. Так, впродовж наступних шести тижнів зберігання (з 4-го по 10-тий тиждень), так само, як і у зразку з кондиційною вологістю (14 %), процес аеробного дихання супроводжується більш вираженим поглинанням кисню, ніж виділенням вуглекислого газу. При

На рис. 2 наведено кінетику процесів поглинання кисню і виділення вуглекислого газу зерном кукурудзи з початковою вологістю 21 % при зберіганні в герметичних умовах за температури 11°C, які є найбільш типовими з точки зору вологості зерна кукурудзи та температури її зберігання.

Аналіз кінетичних графіків для інших параметрів зерна і умов зберігання показав, що характерною відмінністю протікання зазначених процесів у

На рис. 3 наведено кінетику втрат сухих речовин і виділення теплової енергії зерном кукурудзи з початковою вологістю 21 % при зберіганні в герметичних умовах за температури 11°C.

Аналіз отриманих даних показав, що тенденції зміни втрачених сухих речовин і виділеної теплової енергії за перші чотири тижні експерименту у зразках зерна з початковою во-

логістю 21 % перевищують аналогічні показники зерна з початковою вологістю 14 % на 191 %.

цьому, інтенсивність протікання цих процесів у зерні з вологістю 21 % перевищує на 5 % інтенсивність поглинання кисню і на 206 % перевищує інтенсивність виділення вуглекислого газу, порівняно зі зразком з кондиційною вологістю 14 %.

Починаючи з 10-го тижня зберігання у зерна із початковою вологістю 21 % змінився тип дихання зерна з виключно аеробного на змішаний, що виражається у зміні співвідношення кількості поглинутого кисню до виділеного вуглекислого газу. Ця особливість пов'язана зі зменшенням вмісту кисню у газовому середовищі дослідного зразка – з 19,63 % на початку експерименту, до 1,72 % починаючи з 10-го тижня дослідження. При цьому, інтенсивність перебігу процесів поглинання кисню і виділення вуглекислого газу у зерна з початковою вологістю 21 % є вищою за відповідні показники зразка з кондиційною вологістю та перевищують їх на 3,3 % і 459 % відповідно.

Крім того, відповідно зі зміною типу дихання, змінюється й кінетика втрат сухих речовин і виділення теплової енергії – у зразка зерна з початковою вологістю 21 % втрати сухих речовин та кількість виділеної теплової енергії при зберіганні впродовж останніх двох тижнів перевищує аналогічні показники зерна з кондиційною вологістю відповідно на 490 % та 442 %.

Зведені дані з результатів дослідження фізіологічних процесів у зерні кукурудзи при зберіганні в герметичних умовах впродовж 3 місяців наведено у табл. 4.

Таблиця 4  
Результати дослідження фізіологічних процесів у зерні кукурудзи при зберіганні в герметичних умовах впродовж 3 місяців

| Умови зберігання             | Тип дихання | Газообмін, мг/100 г с.р. |                             | Втрати с.р., мг/100 г с.р. | Виділення теплоти, кДж/100 г с.р. |
|------------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
|                              |             | поглинання кисню         | виділення вуглекислого газу |                            |                                   |
| початкова вологість зерна, % | 4           | 2,57                     | 2,01                        | 1,37                       | 946                               |
|                              | 11          | 12,42                    | 5,03                        | 3,43                       | 2364                              |
|                              | 18          | 18,74                    | 14,98                       | 10,22                      | 7045                              |
| 21                           | аер.        | 13,74                    | 4,49                        | 3,06                       | 2110                              |
|                              | аер. і зм.  | 19,13                    | 19,39                       | 13,57                      | 9011                              |
|                              | аер. і зм.  | 24,64                    | 26,90                       | 21,68                      | 11648                             |

Примітка: аер., зм., анаер. – відповідно аеробне, змішане і анаеробне типи дихання

З даних табл. 4 видно, що зниження температурних режимів зберігання зерна кукурудзи з різною початковою вологістю у герметичних умовах сприяє зменшенню інтенсивності перебігу природних фізіологічних процесів в ньому та, відповідно, природних втрат його сухих речовин.

Таким чином, встановлені закономірності перебігу фізіологічних процесів у зерні кукурудзи з різною початковою вологістю при зберіганні в герметичних умовах за різних температур дозволяють прогнозувати характеристики газообмінних процесів у зерновій масі, природні втрати сухих речовин та виділення теплоти при зберіганні зерна.

На наступному етапі досліджень було вивчено хімічний склад зерна кукурудзи до та після 3-х місячного зберігання за різних температур. У дослідженнях визначали вологість зерна, масову частку білка, вуглеводів і їх фракційний склад (крохмаль, моно- та дисахариди, клітковину), жиру та золи.

Проведені порівняльні дослідження показали, що за вмістом зазначених основних складових, визначених на суху речовину, при зберіганні впродовж 3-х місяців змін практично не відмічено. Спостерігаються лише невеликі розбіжності у межах похибки експериментів.

Однак відбулися зміни вологості зразків зерна кукурудзи: вона у всіх зразках зерна зросла на 0,07...2,23 %, що викликано поглинанням парів води, яка виділяється у процесі дихання зерна. Оскільки на процес дихання витрачаються сухі речовини зерна, то у кінці зберігання відмічено зниження кількості моно- і дисахаридів на 1,15...6,53 %, а також крохмалю на 1,1...4,99 %. Останнє пояснюється перебігом біохімічних процесів гідролізу крохмалю з утворенням низькомолекулярних вуглеводів.

Відомо, що у після збирання зерна кукурудзи певний період продовжуються процеси післязбирального дозрівання зерна кукурудзи, за якого перебігають певні біохімічні процеси, викликані зокрема активністю різних ферментативних систем. Зважаючи на це, нами надалі було досліджено вплив анаеробних умов зберігання зерна кукурудзи на закономірності зміни показника якості «число падіння», який побічно характеризує активність ферменту  $\alpha$ -амілази.

Встановлення закономірностей зміни показника якості «число падіння» в залежності від вологості зерна кукурудзи, температурних умов та тривалості його анаеробного зберігання, дозволить оперативно здійснювати експрес-контроль стану зерна кукурудзи різної вологості, що зберігається в полімерних зернових рукавах. У проведених дослідженнях було вивчено кінетику зміни «числа падіння» залежно від вологості зерна кукурудзи, температурних умов та тривалості його зберігання.

Дослідження проводили на гібриді зерна кукурудзи зубоподібного типу ДКС 3705. Експериментальні пакети, які імітують полімерні рукави для герметичного зберігання зерна, мали довжину 300 мм та ширину 100 мм та були виготовлені з плівки промислових ПЗР, склеєних за допомогою армованої клейкої стрічки для забезпечення максимально рівня герметичності. Пакети заповнювали з ущільненням зерном кукурудзи зазначеного гібриду.

Визначення показника «число падіння» (ЧП) проводили методом Хагберга-Пертена, який є стандартизованим методом (ICC 107/1, ISO 3093-2004, AAC 56-81B), який застосовується в зерновій та зернопереробній галузі в усьому світі. Визначення числа падіння проводили на приладі ПЧП-7 (з замкненою системою охолодження).

Відібрані свіжозібрані зразки зерна кукурудзи з початковою усередненою вологістю 14 %, 21 % та 28 % зберігали в анаеробних умовах за температур 18 °C, 11 °C і 4 °C. Необхідні температурні умови зберігання забезпечували у холодильнику ENIEM ( $4 \pm 1$  °C), підвальному приміщенні ( $11 \pm 3$  °C) та термостаті ТС-80М ( $18 \pm 0,3$  °C). У проведених дослідженнях зерно кукурудзи зберігали впродовж 3-місяців (12 тижнів) та щотижня визначали число падіння.

Кінетику зміни числа падіння в різних за початковою вологістю зразках зерна, що зберігалися за різних температурних умов, представляли у вигляді гістограм. На рис. 1 наведено кінетику зміни числа падіння в зерні кукурудзи з початковою вологістю 14 %, 21 % та 28 %, що зберігалися за підвищеної температури 18 °C впродовж 3 місяців (12 тижнів).

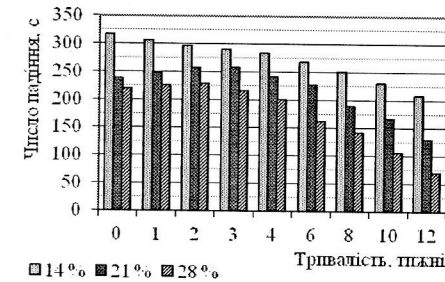


Рис. 4. Кінетика зміни числа падіння у зразках зерна кукурудзи з початковою вологістю 14 %, 21 % і 28 %, що зберігалися в анаеробних умовах впродовж трьох місяців за температури 18 °C

У зразку зерна кукурудзи із початковою високою вологістю 28 %, що зберігався за температури +18 °C (рис. 4), спостерігаються такі тенденції зміни числа падіння, які викликані зміною активності  $\alpha$ -амілази. Впродовж перших двох тижнів зберігання відбувається підвищення ЧП в середньому на 4,5 %, а в подальшому спостерігається поступове його зменшення: ЧП знижується впродовж 3-го тижня зберігання на 5,2 % та впродовж 4-го тижня на 7,3 %.

У подальшому, впродовж наступних другого та третього місяця зберігання, спостерігається продовження вельми інтенсивної тенденції зниження числа падіння у зразку зерна з вологістю 28 °C: ЧП знизилося відповідно на 29,7 % та на 50 %. При цьому, починаючи з четвертого тижня експерименту, кожні наступні два тижні зберігання супроводжуються зниженням числа падіння: на 19,3 % з 4-го по 6-й тижень зберігання, на 12,9 % з 6-го по 8-й, на 25,4 % з 8-го по 10-й та на 33 % з 10-го по 12-й тижні.

Виявлені тенденції зміни числа падіння і пов'язаної з ним  $\alpha$ -амілазної активності кукурудзи в залежності від вологості зерна, які встановлені при зберіганні зерна за температури 18 °C, зберігаються і за нижчих досліджених температур зберігання (11 °C та 4 °C).

Зіставлення між собою тенденцій зміни числа падіння викликане відповідними змінами  $\alpha$ -амілазної активності у зразках з початковою вологістю 14 %, 21 % і 28 %, що зберігалися при певних однакових температурних умовах, свідчить про те, що в залежності від початкової вологості зерна, змінюється й характер перебігу зазначених процесів в ньому. При цьому, для зразків зерна із початковою вологістю 14 %, є характерною тенденція із поступового зниження числа падіння впродовж всього терміну зберігання. В той же час, у зразках з початковою вологістю 21 % і 28 %, на початку дослідження спостерігається тенденція часткового підвищення числа падіння, яке залежно від початкової вологості зерна може мати різну тривалість та мати різну інтенсивність перебігу. Після цього початкового періоду, який пов'язаний з післязбиральним дозріванням зерна, у зразках із початковою вологістю вище кондиційної, число падіння до кінця 3-го місяця зберігання поступово знижується.

Виявлену закономірність можна пояснити поступовим завершенням процесів післязбирального дозрівання зерна з підвищеною вологістю, що підтвер-

джується дослідженнями інших авторів. В той же час, зіставлення між собою тенденцій зміни числа падіння у зразках з однаковою початковою вологістю, що зберігались за різних температурних умов, показує, що зміна температурного режиму анаеробного зберігання зерна практично не впливає на характер тенденцій, а лише змінює інтенсивність їх перебігу.

Таким чином, встановлено, що температурні умови зберігання зерна кукурудзи змінюють число падіння таким чином.

При зміні температурних умов зберігання з 18 °C до 11 °C у зразках зерна:

– з початковою вологістю 14 % ЧП зменшується на 28,4 %;

– з початковою вологістю 21 % протягом першого 3-тижневого періоду зберігання ЧП зростає на 15 %, а згодом, впродовж наступних 9-ти тижнів зберігання, воно зменшується на 45 %;

– з початковою вологістю 28 % період підвищення числа падіння зростає з 2-х до 3-х тижнів, при цьому ЧП зростає на 120 %, а далі до кінця 3-го місяця воно знижується на 44 %.

При зниженні температурних умов зберігання з 11 °C до 4 °C, тобто ще на 7 °C, у зразках зерна:

– з початковою вологістю 14 % число падіння поступово до кінця 3-го місяця ЧП зменшується на 24,4 %;

– з початковою вологістю 21 % період збільшення числа падіння зростає з 3-х до 4-х тижнів, при цьому ЧП зростає на 191 %, а далі впродовж наступних 8 тижнів ЧП знижується на 35 %;

– з початковою вологістю 28 % період збільшення числа падіння зростає також з 3-х до 4-х тижнів, при цьому ЧП збільшується на 123 %, а у подальшому протягом наступних 8 тижнів ЧП знижується на 58 %.

Для узагальнення виявлених закономірностей зміни числа падіння при зберіганні зерна кукурудзи вологістю  $w = 14...28$  % за температур  $t = 4...18$  °C (які віддзеркалюють зміни амілазної активності) методом найменших квадратів було отримано емпіричне рівняння, що описує залежність числа падіння (ЧП, с) від вказаних факторів – вологості зерна кукурудзи ( $w$ , %), температурних умов ( $t$ , °C) та тривалості зберігання ( $\tau$ , тижні), яке має такий вигляд

$$\text{ЧП} = 340,49 - 3,55w + 4,12t + 8,45\tau - 0,19w\tau - 0,65t\tau - 0,63\tau^2.$$

Середньоквадратичне відхилення  $s$  для розрахункових значень числа падіння складає 11,30 %, що говорить про задовільну збіжність з експериментальними даними.

Як видно з отриманого рівняння, число падіння має нелінійну залежність від розглянутих факторів  $w$ ,  $t$  та  $\tau$ . Статистична значущість коефіцієнтів парної взаємодії  $w$  і  $t$  та  $t$  і  $\tau$ , що дорівнюють відповідно 0,19 та 0,65, вказує на не однозначний вплив цих факторів на значення та закономірності зміни числа падіння. Зважаючи на параболічну залежність числа падіння від тривалості анаеробного зберігання зерна кукурудзи та негативний знак цієї залежності (коефіцієнт  $-0,63$ ), по осі тривалості зберігання  $\tau$  число падіння при вологості зерна вище кондиційної має максимум, положення якого залежить не лише від тривалості зберігання зерна, але й від температурних умов зберігання зерна (на що вказує значущий коефіцієнт парної взаємодії  $-0,65$ ).

Більш наочний вигляд цих залежностей показано на рис. 5.

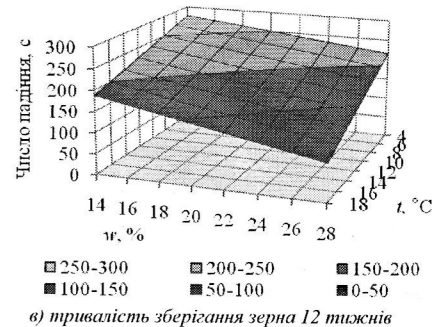
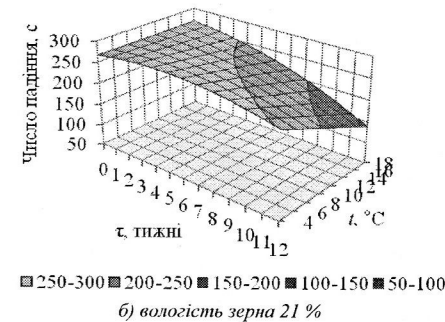
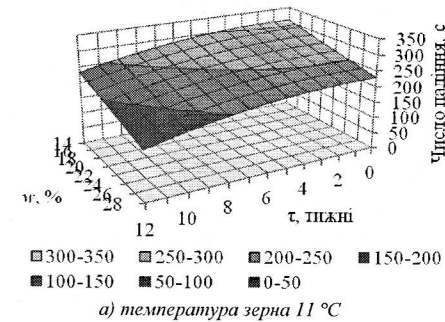


Рис. 5. Залежність числа падіння від вологості і температури зерна кукурудзи та тривалості зберігання в анаеробних умовах

Підкреслимо, що усі встановлені тенденції зміни числа падіння зерна кукурудзи, що спостерігались у проведених дослідженнях, імовірно можна пояснити відповідними змінами амілазної активності, яка і лежить в основі методу визначення числа падіння та, як відомо з літературних джерел, має з ним обернену нелінійну кореляційну залежність.

Проведені дослідження показали, що у зразках зерна кукурудзи з початковою вологістю 14 % незалежно від температурних умов протягом зберігання впродовж 3 місяців спостерігається стійка тенденція до поступового зниження числа падіння. У зразках зерна кукурудзи з початковою вологістю понад 14 %, на початку зберігання спостерігається період зростання числа падіння, інтенсивність якого залежить від початкової вологості зерна і температурних умов його анаеробного зберігання. Цей період зростання ЧП в інтервалах вологості зерна кукурудзи 14...28 % та температур його зберігання 4...18 °C лежить в межах 2...4 тижнів. Після завершення процесів післязбирання дозрівання у свіжозібраному зерні кукурудзи, подальше його зберігання призводить до поступового зменшення числа падіння.

Накопичення результатів аналогічних досліджень на інших сортах та гібридах кукурудзи дозволить у подальшому уточнити кореляційну залежність числа падіння від амілазної активності зерна кукурудзи, уточнити експрес-метод для контролю

якості зерна кукурудзи при зберіганні у ПЗР, обґрунтувати оптимальні терміни її безпечного зберігання, а також запропонувати номограму для їх прогнозування.

Ще одним важливим показником, що може охарактеризувати властивості зернової маси кукурудзи та надати інформацію про перебіг біохімічних процесів у зерні впродовж його зберігання, є показник загальної кислотності. Тому, поряд з визначенням числа падіння, у зразках зерна кукурудзи з вологістю 14, 21 та 28 %, що зберігались за температур 18,11 та 4 °C визначали загальну кислотність та кінетику її зміни. У дослідях використовували стандартну методику визначення загальної кислотності зерна за «водною бовтанкою» у градуссах Неймана.

Кінетику перебігу процесів зміни показника загальної кислотності в різних за початковою вологістю зразках зерна, що зберігались за підвищеної температури (+18 °C), яка нині може спостерігатись у жовтні-грудні, наведено на рис. 3.25.

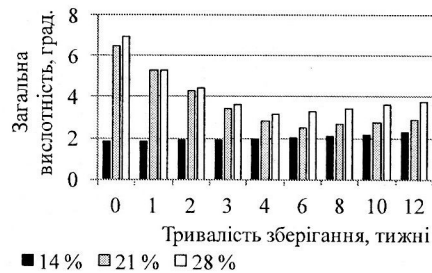


Рис. 6. Кінетика зміни загальної кислотності зразків зерна кукурудзи з початковою вологістю 14 %, 21 % і 28 %, що зберігались в анаеробних умовах за температури +18 °C

Наочно видно, що при зберіганні зерна з кондиційною початковою вологістю 14 % за температури +18 °C (див. рис. 6) відмічена тенденція поступового зростання загальної кислотності з 1,83 до 2,29 градусів Неймана. Однак, при зберіганні зерна з підвищеною початковою вологістю, спостерігається дещо інша тенденція. У зерновій масі кукурудзи з початковою вологістю 28 % впродовж 1-го місяця зберігання відбувається стрімке зниження кислотності зерна з 6,97 град. до 3,15 град., тобто на 54,8 %, з них протягом кожного тижня зниження відповідно було на 24,1 %, 15,7 %, 18,8 % та 13,0 %. У подальшому, впродовж наступних 2-го та 3-го місяців зберігання спостерігається зміна напряму попередньої тенденції в бік підвищення. Починаючи з четвертого тижня, кожні наступні два тижні зберігання загальна кислотність зростає відповідно на 5,7 %, 3,9 %, 4,3 %, 5,0 %, досягнувши наприкінці 3-го місяця 3,79 град. Схожа тенденція кінетичних змін кислотності притаманна і для зерна з вологістю 21 %.

Виявлені кінетичні особливості зміни загальної кислотності зерна кукурудзи вірогідно можна пояснити тим, що у зразку кукурудзи із кондиційною вологістю 14 % відбуваються процеси, які є характерними для технічно дозрілого зерна. У зразках же з підвищеною вологістю відбуваються біохімічні процеси, характерні для завершення формування дозрілого зерна, які призводять до зниження кислотності. Після завершення цього етапу, під впливом підвищеної температури відбуваються певні біохімічні процеси, які призводять до зростання кислотності кукурудзи, що характерно для зберігання зерна при підвищених температурних умовах.

Одним із основних критеріїв безпеки зберігання та подальшої переробки будь-якої зернової сировини є дотримання її належного санітарно-гігієнічного стану, що відповідає нормованим показникам мікробної контамінації. Ступінь

обсіменіння та інтенсивність і особливості розвитку мікроорганізмів, що присутні в зерновій масі, суттєво впливають на показники якості зерна як об'єкту зберігання та подальшого використання, що має важливе практичне значення.

Враховуючи вищезазначене, було досліджено зміни мікробіологічного стану свіжозібраних у Житомирській обл. у 2019 р. зразків зерна кукурудзи з різною вологістю при їх зберіганні за різних температурних умов протягом 12 тижнів.

Визначали показники загального поверхневого обсіменіння мікроорганізмами, у тому числі МАФАНМ, кількість плісневих грибів і дріжджів у зразках зерна кукурудзи з середньою вологістю 14 %, 21 % і 28 %, закладених на зберігання у анаеробних умовах за температур +4 °C, +11 °C та 18 °C, які є характерними для умов зберігання зерна кукурудзи у осінньо-зимовий період.

Анаеробні умови створювали шляхом герметизації клейкою стрічкою мішечків, виготовлених і тришарового полімеру, що використовується для виробництва промислових ПЗР. Для досліджень після певного часу зберігання мішечки із зерном відбирали: у перший місяць зберігання щотижня, а на другому та третьому місяці — через кожні 2 тижні.

Перед розміщенням на зберігання були визначені показники МАФАНМ (тис. КУО/г) контрольних зразків зерна кукурудзи з вологістю 14 %, 21 % та 28 %, які склали відповідно 51...59, 550...570 та 560...670. Обсіменіння зразків плісневими грибами і дріжджами (КУО/г) було на рівні відповідно 90...180, 470...590 та 660...700.

Далі, на основі визначення динаміки змін вмісту мікроорганізмів під час зберігання, були побудовані графічні залежності (гістограми та графіки), що дали наочне уявлення про зміни мікробіологічного стану зразків зерна. Так, на рис. 1 наведено динаміку загального мікробіологічного стану (гістограми) та забрудненості плісневими грибами і дріжджами (графіки) зразків зерна кукурудзи з підвищеною початковою вологістю 21 % і 28 %, що зберігались в анаеробних умовах за осінніх температур +11 °C та +18 °C.

Аналіз наведених на рис. 7 гістограм показав, що впродовж всього 3-х місячного зберігання в анаеробних умовах зразків зерна їх загальне поверхневе обсіменіння поступово зменшувалось і в кінці 3-х місячного терміну зберігання за температури +11 °C склало для зерна з вологістю 21 % і 28 % відповідно (тис. КУО/г) 270 та 340. Видно, що загальне поверхневе обсіменіння у зерна вологістю 21 % значно менше, ніж у зерна з вологістю 28 %, що пояснюється меншим вмістом вологи в ньому. Це цілком зрозуміло, оскільки спостерігається поступове відмирання аеробної мікрофлори і зменшення вмісту вологи, що сприяє зменшенню кількості мікрофлори, незалежно від способу дихання.

Така ж тенденція поступового зменшення загального поверхневого обсіменіння спостерігалась і при зберіганні зразків зерна за температури +18 °C. За цієї підвищеної температури загальне поверхневе обсіменіння зразків зерна у кінці зберігання склало (тис. КУО/г) 180 та 210 відповідно для зерна з вологістю 21 % і 28 %. Якщо порівнювати вплив вологості зерна та температурних умов його зберігання на стан мікробіологічного обсіменіння, то результати досліджень підтверджують загальновідомі тенденції — зменшення вологості

зерна та температури його зберігання знижують загальне поверхнєве обсіменіння.

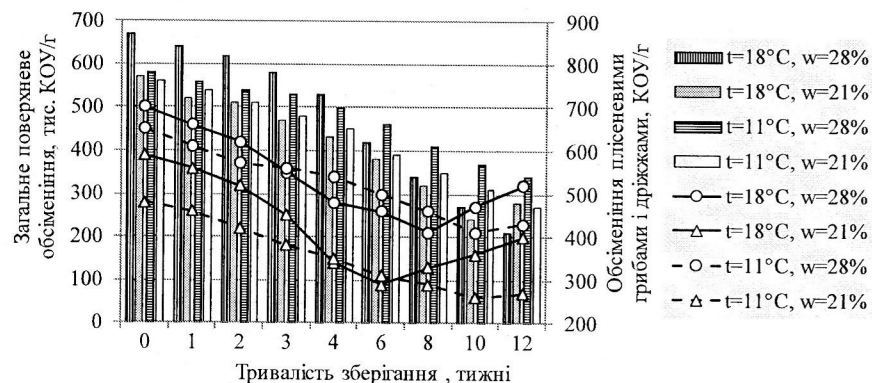


Рис. 7. Динаміка зміни загального мікробіологічного стану та забрудненості плісневими грибами і дріжджами зразків зерна кукурудзи з початковою вологістю 21 % та 28 %, що зберігалися в анаеробних умовах за температури +11°C і +18°C

Що стосується обсіменіння зразків зерна кукурудзи плісневими грибами і дріжджами, то, як видно з рис. 7 (суцільні та пунктирні лінії), загальні тенденції зменшення обсіменіння схожі з описаними вище. Можна відмітити стійке зниження обсіменіння зерна, однак у зерна, за деяких умов зберігання, починаючи з 6 тижня спостерігається певне зростання КУО, що може слугувати ознакою для обмеження термінів його зберігання.

При зберіганні зерна з вологістю 14 % за досліджених температур +4...+18 °C, а також зерна з початковою вологістю 21% та 28 % за пониженої температури +4 °C мікробіологічний стан зерна значно кращий.

Таким чином, анаеробні умови за температур +4...+11 °C дозволяють подовжити зберігання свіжозібраного сирого зерна кукурудзи з вологістю 21...28 % до 2,5...3,0 місяців.

На заключному етапі досліджень, після анаеробного зберігання за різних температур зерна кукурудзи зубоподібного типу гібриду ДКС 3705 з різною початковою вологістю, були визначені деякі його технологічні властивості.

Зважаючи на те, що у лабораторних умовах зберігання механічного переміщення чи обробки зерна кукурудзи не було, то змін вмісту зернової домішки чи пошкоджених зерен не було. Ці показники після 3-х місячного зберігання були такими: зернова домішка склала 3,0...3,5 % (з них 0,5...0,8 % пошкоджених зерен), биті зерна 2,5...2,7 %, прохід сита 1,2x20 мм 1,2...2,6 %; при цьому, в жодному із дослідних зразків зерна на початку та наприкінці дослідження не було виявлено зіпсованих зерен та шкідливих домішок.

Такі показники зернових мас як натура та маса 1000 зерен також практично не змінились і відрізнялись лише залежно від вологості зерна. Для зерна з вологістю 14 %, 21 % та 28 % ці показники були відповідно у таких діапазонах:

– натура (г/л) 605...672, 591...701 та 619...777;

– маса 1000 зерен (г) 208,9...265,9, 216,6...270,1, 235,3...284,5.

За органолептичними показниками якості, зокрема, кольором, змін у жодному із дослідних зразків зафіксовано не було. При цьому, за показником запаху зерна було зафіксовано зміни лише у зразках із початковою вологістю 28 %, що зберігались за температур +18 °C та +11 °C. Всі інші дослідні зразки мали однаковий властивий зерну кукурудзи однорідний запах.

На основі результатів проведених досліджень та узагальнення практичного досвіду підприємств, де проводили зберігання зерна продовольчої кукурудзи у ПЗР, були уточнені терміни безпечного зберігання зерна, удосконалена технологія зберігання зерна кукурудзи у ПЗР та розроблено рекомендації до її впровадження.

У четвертому розділі «Удосконалення технології зберігання сирого зерна кукурудзи в ПЗР та практичні аспекти її застосування» описана удосконалена технологія та надано рекомендації з управління процесом зберігання зерна в ПЗР.

Основними етапами та питаннями практичної реалізації удосконаленої технології зберігання зерна у ПЗР, які апробовані та оформлені як рекомендації з технології зберігання зерна у ПЗР, є цілий комплекс проведення необхідних заходів: навчання персоналу та доведення вимог комплексу заходів до всіх задіяних в процесі зберігання зерна в ПЗР осіб; вибір та підготовку майданчика для зберігання зерна; проведення комплексу заходів з дератизації; визначення якості та придатності партій зерна для завантаження у рукави та контроль якості на всіх етапах; визначення безпечного терміну зберігання в залежності від стану зерна; зважування зерна; завантаження рукавів та розміщення їх на майданчику; нанесення позначень для ідентифікації рукавів; спостереження за станом ПЗР і зерна та прийняття заходів з відновлення цілісності рукавів на протязі терміну зберігання; облік зерна в ПЗР; вивантаження (екстракція) зерна з рукавів; робота з некондиційним зерном; охорона об'єкта; аналіз проведеної роботи, визначення проблем та шляхів їх вирішення. Особливо детально описаний процес дератизації якщо підприємство працює самостійно без залучення підрядних організацій.

Широка апробація запропонованої технології зберігання зерна кукурудзи на різних підприємствах дозволила обґрунтувати терміни безпечного зберігання зерна кукурудзи залежно від її початкової вологості та температурних умов довіклія.

Економічний ефект від реалізації запропонованої технології зберігання зерна досягається за рахунок збільшення обсягів приймання зерна кукурудзи, подовження періоду зберігання сирого кукурудзи та можливості її сушіння на малопродуктивних сушарках. Як показали розрахунки, зберігання у ПЗР на заготівельному елеваторі місткістю 140 тис. т. додаткової кількості зерна кукурудзи у обсязі 50 тис. т. дозволить отримати підприємству чистий прибуток у розмірі 225786 тис. грн.

VOIS 102

ОНАХТ  
БІБЛІОТЕКА

## ВИСНОВКИ

На підставі теоретичних узагальнень та експериментальних досліджень науково обґрунтовано та практично реалізовано удосконалену технологію зберігання вологого та сирого зерна кукурудзи в ПЗР, яка гарантує його безпечне зберігання і належну якість з подальшим її доведенням до вимог контрактів.

1. Показано, що за своїми агротехнічними та технологічними властивостями найбільш придатними для вирощування на полях північно-західних регіонів України для продовольчих, кормових та експортних потреб є такі перспективні гібриди кукурудзи як ДКС 3511, ДКС 3705 та ДКС 4590.

2. Встановлено, що при зниженні початкової вологості зерна кукурудзи з 21 % до 14 % та подальшому його зберіганні у герметичних умовах впродовж 3-х місяців за температур +4...+18 °С, природні втрати сухих речовин зерна зменшуються на 112...296 %. При зниженні температур зберігання з +18 до +11 °С для зерна кукурудзи з початковою вологістю 21 % зменшується інтенсивність для поглинання кисню на 22 %, виділення вуглекислого газу на 28 %, втрат сухих речовин на 37 % і виділення теплової енергії на 23 %.

3. Встановлено, що за вмістом основних складових зерна кукурудзи (вуглеводів, білка, жирів), визначених на суху речовину, при зберіганні впродовж 3-х місяців змін практично не відмічено. За рахунок дихання зерна та перебігу біохімічних процесів спостерігається підвищення вологості зерна кукурудзи на 0,07...2,23 % та на 1,15...6,53 % кількості моно- і дисахаридів, зменшується на 1,1...4,99 % вміст крохмалю. Вміст клітковини та золи коливаються в межах похибок експериментів.

Встановлено закономірності кінетики зміни загальної кислотності зерна кукурудзи. У зерні кукурудзи підвищеної вологості (28 %) перебігають біохімічні процеси, характерні для періоду післязбирального дозрівання та формування дозрілого зерна, які призводять до зниження кислотності – за перший місяць зберігання за температури +18 °С з 6,97 град. до 3,15 град., тобто на 54,8 %. У подальшому, під впливом підвищених температур (18 °С) загальна кислотність кукурудзи поступово зростає, досягнувши наприкінці 3-го місяця 3,79 град. Схожа тенденція кінетичних змін кислотності притаманна і для зерна з вологістю 21 %. При зберіганні зерна кукурудзи з кондиційною вологістю 14 % за температури +18 °С відбувається поступове підвищення загальної кислотності з 1,83 до 2,29 градусів Неймана, що є характерними для технічно дозрілого зерна. За температури +4 °С інтенсивність зміни загальної кислотності зерна кукурудзи знижується.

4. Встановлено, що у зразках зерна кукурудзи з початковою вологістю 14 % незалежно від температурних умов протягом зберігання впродовж 3-х місяців спостерігається стійка тенденція до поступового зниження числа падіння (ЧП). За вологості зерна кукурудзи понад 14 % на початку зберігання спостерігається період зростання ЧП, який за вологості зерна кукурудзи 14...28 % та температур зберігання 4...18 °С лежить в межах 2...4 тижнів. Після завершення процесів післязбирального дозрівання у свіжозібраному зерні кукурудзи, у подальшому зберіганні ЧП поступово зменшується. Запропоновано емпіричне рі-

вняння для прогнозування ЧП залежно від вологості зерна, температурних умов та тривалості його зберігання. Показано, що ЧП може бути опосередкованим показником для контролю якості зерна кукурудзи у процесі зберігання в герметичних умовах ПЗР.

5. Встановлено, що після 3-х місячного зберігання в анаеробних умовах зерна кукурудзи загальне поверхнєве обсіменіння зменшується і за температури +11 °С складає для зерна з вологістю 21 % і 28 % відповідно (тис. КУО/г) 270 та 430, а за температури +4 °С — відповідно 260 та 290. Показано, що зниження вологості зерна в 1,7 рази швидше зменшує загальну кількість поверхневих КУО, порівняно температурою зберігання. Сумісна дія вологості зерна та температури на зниження КУО при зберіганні зерна впродовж 3 місяців є незначною. Загальні тенденції зменшення обсіменіння зерна кукурудзи цвіллю і дріжджами, схожі з стійким зниженням загального обсіменіння зерна. Однак у зерні, що зберігалось за температури +11 °С, з 10 місяця спостерігається деяке зростання КУО, що може слугувати ознакою для обмеження термінів його зберігання за вказаної температури. Показано, що вологість зерна набагато більше (в 4,3 рази) впливає на стан обсіменіння зерна цвіллю і дріжджами, порівняно з впливом температурних умов його зберігання.

6. Встановлено, що вміст зернової домішки та пошкоджених зерен після зберігання зерна кукурудзи впродовж 3-х місяців склали: зернова домішка склала 3,0...3,5 % (з них 0,5...0,8 % пошкоджених зерен), биті зерна 2,5...2,7 %, прохід сита 1,2x20 мм 1,2...2,6 %; при цьому, в жодному із дослідних зразків зерна на початку та наприкінці дослідження не було виявлено зіпсованих зерен та шкідливих домішок.

Натура та маса 1000 зерен також практично не змінились і відрізнялись лише залежно від вологості зерна. Для зерна з вологістю 14 %, 21 % та 28 % ці показники були відповідно у таких діапазонах:

– натура (г/л) 605...672, 591...701 та 619...777;

– маса 1000 зерен (г) 208,9...265,9, 216,6...270,1, 235,3...284,5.

За органолептичними показниками якості, зокрема, кольором, змін у дослідних зразках кукурудзи зафіксовано не було. При цьому, за показником запаху зерна було зафіксовано зміни лише у зразках із початковою вологістю 28 %, що зберігались за температур +18 °С та +11 °С. Інші дослідні зразки мали запах властивий зерну кукурудзи.

7. Широка апробація запропонованої технології зберігання зерна кукурудзи на різних підприємствах дозволила обґрунтувати для зерна продовольчо-кормової кукурудзи залежно від її початкової вологості та температурних умов довілля (тижні) такі терміни безпечного зберігання:

| Температура, °C | Вологість зерна кукурудзи, % |    |    |    |    |    |    |
|-----------------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|
|                 | 16                           | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| 11              | 12                           | 11 | 10 | 10 | 9  | 9  | 8  |
| 18              | 12                           | 10 | 9  | 7  | 6  | 5  | 4  |

За температури довілля +4 °С зерно кукурудзи з вологістю 14...16 % можна безпечно зберігати у контрольованих умовах понад 3 місяці.

8. Розроблено та затверджено рекомендації з використання удосконаленої технології зберігання зерна продовольчо-кормової кукурудзи на зерно заготівельних підприємствах.

9. Економічний ефект від реалізації запропонованої технології зберігання зерна досягається за рахунок збільшення обсягів приймання зерна кукурудзи, подовження періоду зберігання сирової кукурудзи та можливості її сушіння на малопотужних сушарках. Розрахунки показали, що зберігання у ПЗР на заготівельному елеваторі місткістю 140 тис. т. додаткової кількості зерна кукурудзи у обсязі 50 тис. тонн дозволить отримати підприємству чистий прибуток у розмірі 225786 тис. грн.

## СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті в монографіях

1. Борта А.В., Довгань А.В., Желобкова М.В. Вплив вологості та температури зерна на інтенсивність його дихання // Реконструктивний тип адаптування реального сектору економіки та галузевої науки України до умов постіндустріального суспільства: Монографія / За ред. Савенка І.І., Станкевича Г.М., Седікової І.О. Одеса: КП «Одеська міська друкарня», 2017. С. 560-78. *Особистий внесок: проведення експериментів, обробка результатів, формулювання висновки.*

2. Проблемні питання формування якості та зберігання зерна / Г.М. Станкевич, А.В. Борта, ..., Желобкова М.В. та ін. // Елеваторна і зернопереробна галузі: Ефективні технології та якості: монографія / за ред. Г.М. Станкевича, Д.О. Жигунова, М.Р. Мардар. Одеса: КП «Одеська міська друкарня», 2018. С. 42-72. *Особистий внесок: аналіз літературних джерел, проведення експериментів та їх узагальнення.*

### Статті фахові

3. Станкевич Г.М., Желобкова М.В. Вплив вологості на показники якості зерна кукурудзи при зберіганні в полімерних зернових рукавах // Зернові продукти і комбікорми, вересень, 2015. С. 10-15. *Особистий внесок: проведення дослідів у виробничих умовах, обробка результатів, підготовка статті до друку*

4. Бабков А.В., Желобкова М.В. Дослідження агротехнологічних характеристик зерна окремих гібридів кукурудзи // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2018. Т. 82, вип. 2. С. 106-115. *Особистий внесок: аналітичний аналіз джерел, обґрунтування та узагальнення результатів, оформлення статті до друку.*

5. Babkov A.V., Zhelobkova M.V. Study of physiological processes in Corn grain during storage under hermetic conditions // Зернові продукти і комбікорми, березень, 2019. Том 19, вип. 1. С. 15-19 *Особистий внесок: проведення дослідів, обробка результатів та побудова графіків, формулювання висновків.*

6. Zhelobkova M., Stankevych G. Practical questions for silo bags grain storage technology // Зернові продукти і комбікорми, червень, 2019. Том 19, вип. 2. С. 15-19. *Особистий внесок: проведення промислового зберігання зерна, узагальнення результатів, розробки рекомендацій промисловості.*

### Стаття наукометрична

7. Борта А.В., Желобкова М.В. Study of the influence of anaerobic storage conditions of corn grain on the regularities of change indicator 'falling number'. Харчова наука і технологія. – Volume 13. Issue 3. 2019. P. 18-25. *Особистий внесок: визначення показників якості зерна, статистична обробка результатів, побудова гістограм, формулювання висновків.*

### Статті в інших виданнях

8. Станкевич Г.М., Желобкова М.В. Чистий експеримент. Зберігання зерна кукурудзи в полімерних зернових рукавах // Зерно, № 6, 2015. С. 50-53. *Особистий внесок: проведення*

та узагальнення результатів досліджень, розробка рекомендацій з їх практичного застосування, підготовка статті до друку.

### Тези доповідей

9. Станкевич Г. М., Желобкова М. В. Особливості зберігання зерна кукурудзи в полімерних зернових рукавах // Міжнар. наук.-практ. конф. «Харчові технології, хлібопродукти і комбікорми»: 36. матер. Міжнар. науково-практич. конф.. Одеса: ОНАХТ, 2015. С. 58-59. *Особистий внесок: узагальнення результатів досліджень, підготовка тез до друку.*

10. Желобкова М.В., Станкевич Г.М. Технологія зберігання зерна кукурудзи в полімерних зернових рукавах // 36. тез доп. 76 наук. конф. викладачів академії. О., ОНАХТ, 18-22 квітня 2016 р. С.25-27. *Особистий внесок: підбір та аналіз матеріалів досліджень, підготовка доповіді та тез.*

11. Желобкова М.В. Економне зберігання зерна кукурудзи в герметичних умовах // 36. тез Всеукр. наук.-практич. конф. молодих учених і студентів «Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді»: Всеукр. наук.-практ. конф. молод. учених і студентів, 7 квітня 2016 р.: [тези у 2-х ч.]. Харків, ХДУХТ, 2016. Ч.1. С.228. *Особистий внесок: відбір матеріалів, їх аналіз, підготовка тез.*

12. Станкевич Г.М., Бабков А.В., Желобкова М.В. Дослідження змін якісних характеристик зерна кукурудзи при зберіганні в анаеробних умовах // 36. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції [«Технології харчових продуктів і комбікормів»], (Одеса, 25-30 вересня 2017 р.) / Одеська нац. акад. харч. технологій. – Одеса: ОНАХТ, 2017. – С. 15-17. *Особистий внесок: узагальнення результатів досліджень, підготовка висновків, доповіді та тез*

13. Станкевич Г.Н., Бабков А.В., Желобкова М.В. Исследование хранения зерна кукурузы в анаэробных условиях // Техника и технология пищевых производств: матер. XII Междунар. науч.-техн. конф. (Могилёв, 19–20 апреля 2018 года) / В 2 т. / Учреждение образования «Могилёвский государственный университет продовольствия»; редкол.: А. В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. Могилёв: МГУП, 2018. Т. 1. С. 158-159. *Особистий внесок: підготовка матеріалів та висновків, оформлення тез до друку.*

14. Желобкова М.В., Борта А.В. Дослідження мікробіологічного стану зерна кукурудзи при зберіганні в анаеробних умовах // 36. тез доповідей 80 наук. конф. викладачів академії 7-8 травня 2020 р. С. 7-8. URL: [https://www.onaft.edu.ua/download/konfi/2020/Thesis\\_80\\_scientific\\_conference\\_of\\_teachers\\_2020.pdf](https://www.onaft.edu.ua/download/konfi/2020/Thesis_80_scientific_conference_of_teachers_2020.pdf) *Особистий внесок: проведення мікробіологічних досліджень, обробка та узагальнення результатів, написання тез.*

## АНОТАЦІЯ

**Желобкова М.В. Удосконалення технології зберігання зерна кукурудзи в полімерних зернових рукавах.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (док-тора філософії) за спеціальністю 05.18.02 «Технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів і комбікормів, олійних і луб'яних культур». – Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, 2021.

Дисертація присвячена удосконаленню технології зберігання зерна кукурудзи в полімерних зернових рукавах, яка буде гарантувати належну його якість та безпечне зберігання.

В роботі досліджено та визначено вплив анаеробних умов зберігання на фізіологічні, фізико-технологічні та біохімічні властивості зерна кукурудзи, зі-

мічний склад зерна, загальний мікробіологічний стан та обсіменіння плісневими грибами і дріжджами. Встановлено закономірності їх зміни залежно від вологості зерна кукурудзи та температурних умов зберігання.

Науково-обґрунтовано терміни та удосконалену технологію безпечного зберігання зерна кукурудзи продовольчого призначення в ПЗР залежно її вологості та температури довкілля, що дозволяє після анаеробного зберігання довести показники якості зерна продовольчої кукурудзи до нормативних та контрактних вимог.

Розроблено рекомендації з впровадження удосконаленої технології анаеробного зберігання зерна кукурудзи в ПЗР та визначено економічну ефективність від впровадження результатів роботи на зернозаготівельних підприємствах.

**Ключові слова:** зерно кукурудзи, полімерні зернові рукави, анаеробні умови зберігання, післязбиральне дозрівання, хімічний склад, фізіологічні та технологічні властивості, показники якості.

#### ANNOTATION

**Zhelobkova M.V. Improvement of the technology of corn storage in silo bags.** – *Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.*

Thesis for a Candidate Degree in Engineering (Doctor of Philosophy), specialty 05.18.02 "Technology of cereals, legumes, cereals and compound feeds, oilseeds and bast crops". – Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, 2021.

The aim of the study was the scientific substantiation and practical implementation of the technology for storage of wet and raw corn grain in silo bags, which guarantees its proper quality and safe storage. The object of the study was the technology of grain storage under anaerobic conditions of silo bags. The subject of the research was the physical and technological properties of the grain mass of corn, its chemical and biochemical composition, physiological processes of respiration, microbiological state, storage processes.

At the first stages of research, the analysis of the grain of 10 different hybrids of dent-type corn DK 315, DK 391, DK 440, DKC 3511, DKC 3705, DKC 3795, DKC 4082, DKC 4490, DKC 4590, DKC 4795 crop in 2013 was carried out. As a result three most promising hybrids were found (DKC 3511, DKC 3705 and DKC 4590), which, in terms of their agrotechnical properties, are most suitable for growing on agricultural holdings, and the grain yield obtained from them has the best performance due to its technological properties.

Further, the regularities of the physiological processes of respiration of corn grain were studied during storage in hermetically sealed conditions. For the experiments, two grain samples were selected with a moisture content of 14 and 21% for storage at temperatures of 4, 11 and 18 °C (6 grain samples). It was determined that a decrease in the temperature of storing corn grain with different initial moisture content in hermetically sealed conditions helps to reduce the intensity of the course of natural physiological processes in it and, accordingly, the natural dry matter loss.

Further, the chemical composition of corn grain was studied before and after 3 months of storage at various temperatures. The moisture content of grain, mass fraction of protein, carbohydrates, and their fractional composition (starch, mono- and disaccharides, fiber), fat and ash were determined. Studies have shown that there were practically no changes in the content of these components, determined for dry matter. Only small differences were observed within the experimental error.

The moisture content of corn grain samples increased by 0.07...2.23% in all grain samples, which was caused by the absorption of moisture vapor that is released during grain respiration. Since dry matter of grain is consumed for the respiration process, at the end of storage a decrease in the amount of mono- and disaccharides was noted by 1.15...6.53%, as well as starch by 1.1...4.99%.

The effect of anaerobic storage conditions of corn grain on changes in the Falling Number (FN) was investigated, which indirectly characterizes the activity of the  $\alpha$ -amylase enzyme. The FN was determined by the Hagberg-Perten method, which is a standardized method (ICC 107/1, ISO 3093-2004, AACC 56-81B). Selected freshly harvested corn grain samples with an initial moisture content of 14%, 21% and 28% were stored under anaerobic conditions at temperatures of 18 °C, 11 °C and 4 °C. The corn grain was stored for 12 weeks and the FN was determined weekly. Studies have shown that in corn with an initial moisture content of 14%, regardless of temperature conditions, there is a steady tendency for a gradual decrease in the FN for 3 months. In samples with moisture content above 14%, at the beginning of storage, an increase in the FN is observed, the intensity of which depends on the initial moisture content of the grain and the temperature conditions. This period of the FN growth in the grain moisture ranges of 14...28% and storage temperatures of 4...18 °C lies within 2...4 weeks. After the completion of the post-harvest ripening processes, its further storage leads to a decrease in the FN.

Along with the determination of the FN, the total acidity and the kinetics of its change were determined. When storing grain with an initial moisture content of 14% at a temperature of 18 °C, a tendency for a gradual increase in total acidity from 1.83 to 2.29 degrees of Neumann was observed. In corn grain with an initial moisture content of 28%, during the first month of storage, there is a sharp decrease in grain acidity from 6.97 degrees to 3.15 degrees, that is by 54.8%, of which during each week the decrease was by 24.1%, 15.7%, 18.8% and 13.0%. Further, during the next 2 and 3 rd months of storage, there is a change in the direction of the previous trend upward. Starting from the fourth week, every subsequent two weeks of storage, the total acidity increases by 5.7%, 3.9%, 4.3% 5.0%, respectively, reaching 3.79 degrees at the end of the third month. A similar tendency of kinetic changes in acidity is inherent in grain with a moisture content of 21%.

Before placement for storage, the QMAFANM indicators (thous. CFU / g) of samples of corn grain with a moisture content of 14%, 21% and 28% were determined, which amounted to 51...59, 550...570 and 560...670, respectively. The contamination of the samples with molds and yeasts (CFU/g) was at the level of 90...180, 470...590 and 660...700, respectively. The results showed that during the 3-month storage of grain samples under anaerobic conditions, their total surface contamination gradually decreased and at the end of the 3-month storage period at a

temperature of 11 °C was for grain with a moisture content of 21% and 28%, respectively (thous. CFU/g) 270 and 340. At 18 °C, the same trend is observed. At this temperature, the total surface contamination of grain samples at the end of storage was 180 and 210 (thousand CFU/g), respectively, for grain with a moisture content of 21% and 28%. So, the use of anaerobic storage conditions provides a decrease in the quantitative indicator of the total surface microflora and mold and yeast on the surface of the grain.

After the analysis of the research carried out, the critical stages were identified at which undesirable changes in the quality indicators of grain begin. Using the interpolation method, a table of safe storage periods has been developed.

Improvements in technology have been developed to optimize the processes of loading, extraction, accounting, deratization and work during storage. The improved technology was implemented at two elevators in the Khmelnytsky region, which made it possible to use only their own capacities of enterprises without involving third-party elevators.

*Key words: corn grain, polymer grain sleeves, anaerobic storage conditions, postharvest ripening, chemical composition, physiological and technological properties, quality indicators*