

Переробка та зберігання сільськогосподарської продукції  
Processing and storage of agricultural products

УДК 664.72:664.8

## Процес охолодження у зерносховищі при зберіганні зернової продукції з подальшою реалізацією у виробництві

С.В. Кюрчев

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
(м. Мелітополь, Україна) dec.tgatu@ukr.net*

Реалізуючи розроблений метод низькотемпературної консервації для охолодження зерна використовують як природну атмосферу, але й штучно охолоджене за допомогою холодильних установок, досягаючи при цьому практично повного консервування маси на весь період зберігання; коли відбувається постійна взаємодія холодоагента з зерном. Застосування штучного холоду дозволяє швидко знизити початкову температуру партії зерна, запобігти втратам, які виникають внаслідок активного розвитку мікроорганізмів і комах. Для опису динаміки процесу зберігання та охолодження матеріалу прийнята модель проточного реактора ідеального перемішування, при якому градієнтами параметрів процесу по висоті і поперечному перерізу нехтуємо, а процес охолодження зерно приймаємо безградієнтним. За таких умов випаровування вологи з поверхні зерна, перенесення пари з його поверхні в навколишнє середовище відбувається, в основному, за рахунок різниці парціального тиску пари на поверхні зерна та навколишнього середовища. Розроблена математична модель адекватно описує динаміку зміни параметрів зернового матеріалу та холодоагента на виході з зерносховища, з урахуванням перерозподілу вологи у масі сировини під дією поступового прогріву внутрішніх шарів продукції до певної допустимої температури нагріву зерна: Для оцінки хлібопекарських властивостей зернової сировини, що зберігалася за представленою технологією, проводилася пробна лабораторна випічка згідно з методикою Держкомісії з сортови-пробування. За результатами випробувань якості сирової клейковини вона стала більш пружною, хоча зміни ці по обох досліджуваних зразках зерна пшениці були невеликі. Зберігання у регульованому температурному режимі сприяло укріпленню клейковини. За таких умов отримана продукція має більший об'єм шкірки, більш гладеньку та тоншу поверхню; форма хліба є правильною, колір м'якушки виявився біліший, а пори – менші і вирівняні за розміром.

**Ключові слова:** зберігання, зерно, пшениця, охолодження, температура, хлібопекарські властивості, холодоагент.

**Постановка проблеми та її актуальність** За останні роки країна отримує досить високі валові збори зерна, однак помітно скоротилися його державні закупівлі, знизилася роль заготівельних елеваторів. Зерно нерідко зберігається безпосередньо в господарствах у виробника в очікуванні сезонного підвищення цін. Через слабку оснащеність технічної бази господарств, а часом, незнання технологій зберігання мають місце нераціональне формування партій зерна, зниження його якості і втрати зерна при зберіганні.

У сфері переробної галузі агропромислового комплексу (АПК) формується до 70 % загального товарообігу країни. Переробній галузі АПК належить друге місце за обсягом валової продукції. Тільки за рахунок скорочення витрат і поглиблення переробки харчової сировини можна збільшити виробництво продуктів харчування на

25...30 %. Важливою умовою поліпшення забезпечення населення України продовольчими товарами є розвиток технічної бази зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. Використання сучасних технологій консервації дозволяє тільки на стадії підготовки до виробничих процесів переробки заощадити до 20% коштів від втрат переробного та харчового виробництва, серед яких одне із провідних місць займає низькотемпературні методи обробки, щл зумовлює актуальність представлених у роботі розробок.

**Аналіз результатів останніх досліджень та публікацій** Завдяки роботам Агронома Є.О., Демьяненка М.П., Казакова Є.Д., Клеєва І.О., Козьміної Н.П., Макарова В.В., Сергунова В.С., Некрасова Б.П., Трисвятського Л.О., Уколова В.С., Чурсінова Ю.О., Станкевича Г.М., Лукіна Г.Д. Кирпи М.Я. та багатьох інших

дослідників нашої країни та інших дослідників різних країн зі створення обладнання для переробки зерна на базі багатоопераційних агрегатів також доводять необхідність проектування процесів та оснащення для зберігання зерна у сховищах, обґрунтовуючи актуальність способу максимального збереження його вихідних властивостей, що базуються на охолодженні продукції у зерносховищі, перед його реалізацією, або подальшою вторинною переробкою сировини в процесах виробництва хлібобулочних виробів.

**Постановка задачі дослідження** У технології зберігання зерна актуальним є завдання охолодження його до температур, що забезпечують ефективне зберігання. Численними фізіологічними, біохімічними, теплофізичними й технологічними дослідженнями встановлено, що зниження температури зерна нижче 8-10°C різко знижує інтенсивність протікання фізіолого-біохімічних процесів, сприяє збереженню вихідної якості зерна й збільшує строки його зберігання як при тривалому зберіганні просушеного зерна, так і при його тимчасовому зберіганні. При зберіганні охолодженого зерна скорочуються втрати зерна від його дихання [1-5].

Для охолодження зерна використовують природну атмосферу, досягаючи при цьому повного консервування маси на весь період зберігання. Охолодження, як і зниження вологості, різко гальмує інтенсивність усіх біологічних процесів у зерновій масі, пригнічує життєдіяльність мікроорганізмів, може призвести до загибелі великої частини комах. Зниження температури на кожні 5°C приблизно вдвічі збільшує тривалість стійкого зберігання зерна, однак надійне консервування забезпечується тільки за достатньо ефективного охолодження.

При охолодженні зернової маси першого ступеня температуру всіх шарів насипу підтримують нижче 10°C, другого ступеня – нижче 0°C. Зернові маси вважають охолодженими, якщо температура усіх шарів насипу нижче 10°C. Для охолодження зерна використовують не тільки атмосферне повітря, але і штучно охолоджене за допомогою холодильних установок. Застосування штучного холоду дозволяє швидко знизити початкову температуру партії зерна, запобігти втратам, які виникають внаслідок активного розвитку мікроорганізмів і комах.

Основне призначення режиму зберігання зерна в охолодженому стані – тимчасове консервування вологого і сирого зерна на току на період, коли воно знаходиться в очікуванні сушки [1, 5-8]. Це найважливіший захід запобігання псуванню зерна у перший період їх зберігання на току. Охолодження доцільне і для сухого зерна,

тому що підвищує стійкість до негативних факторів, різко знижує небезпеку пошкодження комахами-шкідниками. Сухе і охолоджене зерно найбільш довговічне.

**Основний матеріал** Головною метою зберігання продукції сільськогосподарського виробництва є уповільнення процесів, що відбуваються в ній у результаті життєдіяльності складових компонентів за рахунок активного вентилявання потоком холодоносія в умовах зерносховища. Чим повільніше будуть протікати ці процеси, тим довше буде зберігатися живий організм. Про активність процесів, які відбуваються у ньому, свідчить активність дихання. Низька активність дихання характеризує знижену активність клітин організму, що означає слабку витрату поживних речовин на процеси життєдіяльності [9,10].

Зберігання зерна проводять залежно від його вологості та призначення. Зерно, яке підлягає переробці чи зберіганню, повинно мати вологість, встановлену нормативними документами (стандартами) залежно від культури та її призначення. Для ефективного зберігання створюють умови, що забезпечують стійкість продукції, запобігання її ушкодженню шкідниками, ураженню хворобами, зволоженню й самозгріванню. Забезпечити такі вимоги можливо тільки при утриманні продукту в оптимальних умовах, що перешкоджають впливу вище перелічених негативних факторів. У зв'язку з цим, для теорії і практики зберігання особливо важливим є вивчення цих умов і розробка режимів і способів зберігання зернових мас [4,7,11].

Конвективний теплообмін у шарі зернової продукції є складним процесом одночасного перенесення тепла та маси, який описується складною системою диференціальних рівнянь [12,13,14]. Рішення їх отримано лише для тіл класичної форми. Тому для вирішення прикладних задач при описі даного процесу за умови активного вентилявання можна використовувати спрощений механізм теплообміну між оброблюваним матеріалом та холодоагентом.

Для опису процесів зміни вологовмісту насіння і холодоагента можуть бути використані аналітичні диференціальні рівняння матеріального балансу та масообміну.

У безперервно діючому комплексі зберігання зернопродукції відбувається постійна взаємодія холодоагента з зерном. За певних умов для спрощення математичного опису можна допустити лінійний характер розподілу параметрів за високою ангара. При такому спрощенні для опису динаміки процесу зберігання та охолодження матеріалу прийнята модель проточного реактора ідеального перемішування [15].

Математичний опис процесу охолодження зерна та холодоагента складено у вигляді рівнянь зміни параметрів досліджуваного процесу на виході при наступних припущеннях: рушійною силою процесу теплообміну при охолодженні прийнята різниця температури насіння та холодоагента, різниця парціальних тисків на поверхні матеріалу та холодоагента; градієнтами параметрів процесу по висоті і поперечному перерізу нехтуємо. Охолодження зерно приймаємо безградієнтним.

Процес охолодження у даному випадку опишеться диференціальними рівняннями:

$$m_v \cdot C_p \frac{dt_2}{d\tau} = G_v \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2) - \alpha \cdot f_F \cdot (\bar{t} - \bar{\Theta}) - k_T \cdot \Sigma F \cdot (\bar{t} - t_B) \quad (1)$$

$$m_z \cdot C_z \frac{d\Theta_2}{d\tau} = \alpha \cdot f_F \cdot (\bar{t} - \bar{\Theta}) - \beta \cdot f_F \cdot (P_n \cdot (\Theta) - P_v) \cdot \frac{P}{P_0} \cdot r' \quad (2)$$

$$-m_{zo} \frac{dU}{d\tau} = \beta \cdot f_F \cdot (P_n \cdot (\Theta) - P_v) \cdot \frac{P}{P_0} \quad (3)$$

$$m_v \frac{dd_2}{d\tau} = G_v \cdot (d_1 - d_2) - \beta \cdot f_F \cdot (P_n \cdot (\Theta) - P_v) \cdot \frac{P}{P_0} \cdot 10^3 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \bar{t} &= 0,5 \cdot (t_1 + t_2); \\ \bar{\Theta} &= 0,5 \cdot (\Theta_1 + \Theta_2); \\ \bar{d} &= 0,5 \cdot (d_1 + d_2), \end{aligned} \quad (5)$$

де  $m_v$  – маса повітря в обсязі зерносховищі, кг;  $C_p$  – питома теплоємність холодоносія, Дж/кг $^{\circ}$ С;  $t_1$  і  $t_2$  – температура холодоносія на вході та на виході з зерносховища,  $^{\circ}$ С;  $G_v$  – витрати повітря агента, кг/с;  $\alpha$  – коефіцієнт теплообміну між зерном і холодоносієм, Вт/м $^2$  $^{\circ}$ С;  $f_F$  – загальна площа поверхні зерна, яке знаходиться у зерносховищі, м $^2$ ;  $P_n$  – парціальний тиск на поверхню зерна;  $\bar{\Theta}$  – середня температура холодоносія,  $^{\circ}$ С;  $\Theta_1$  і  $\Theta_2$  – початкова та кінцева температура повітря;  $k_T$  – коефіцієнт теплопередачі від холодоносія до зовнішнього середовища, Вт/м $^2$  $^{\circ}$ С;

$\Sigma F$  – сумарна площа стінок зерносховища м $^2$ ;  $t_B$  – температура повітря у приміщенні,  $^{\circ}$ С.  $m_z$  – вага зерна, що знаходиться в зерносховищі, кг;  $C_z$  – питома теплоємність зерна, Дж/кг $^{\circ}$ С;  $G_z$  – витрата зерна, кг/с;  $\beta$  – коефіцієнт масообміну, кг/м $^2$  $\cdot$ Па с;  $\bar{d}$  – середній вологовміст холодоносія, г/кг (сухої речовини);  $d_1$  і  $d_2$  – початковий та кінцевий вологовміст холодоносія, г/кг (сухої речовини);  $P_v$  – парціальний тиск холодоносія, Н/м $^2$ ;  $m_{zo}$  – вага абсолютно сухого зерна в зерносховищі, кг;  $G_{zo}$  – вихід абсолютно збереженого зерна, кг/с;  $r'$  – теплота пароутворення, Дж/кг;  $\bar{U}$  – середній за об'ємом вологовміст зернового матеріалу, кг/кг (сухої речовини).

Таким чином, процеси тепло – і масообміну при запропонованому способі зберігання описуються системою.

Відомо, що процес масообміну зернової продукції збільшується зі збільшенням різниці парціальних тисків парів води на поверхні зерна та повітря, а також від його швидкості потоку в зерновому шарі. Підвищення температури поверхні вологого тіла супроводжується збільшенням насиченої водяної пари, а, отже, і різниці насиченої водяної пари і водяної пари в повітрі. Залежність парціального тиску водяної пари на поверхні зерна від температури апроксимована лінійним виразом:

$$P_n \cdot (\Theta) = a \cdot \bar{\Theta} - c, \quad (6)$$

де  $a, c$  – коефіцієнти з розмірністю: Па/ $^{\circ}$ С, Па, відповідно.

Залежність парціального тиску водяної пари в повітрі на основі Іd діаграми можна виразити співвідношенням:

$$P_v \cdot (\bar{d}) = b \cdot \bar{d}, \quad (7)$$

де  $b$  – емпіричний коефіцієнт, Па  $\cdot$  кг/г

Коефіцієнт масообміну поверхні зерна та повітря залежить від швидкості останнього і цю залежність можна апроксимувати виразом:

$$\beta \cdot (V_v) = a + b \cdot V_{ca}, \quad (8)$$

де  $V_{ca}$  – швидкість повітря при подачі, м/с.

При зовнішньому вологообміні, коли відбувається випаровування вологи з поверхні зерна, перенесення пари з його поверхні в навколишнє середовище відбувається, в основному, за рахунок різниці парціального тиску пари на

поверхні зерна та навколишнього середовища. Інтенсивність випаровування визначається за такою залежністю [16]:

$$M = k \cdot (p_H - p_{II}) \cdot \frac{101,3}{b}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}, \quad (9)$$

де  $M$  – швидкість випаровування води в кг / с з 1 м<sup>2</sup> поверхні зерна;  $k$  – коефіцієнт випаровування, що залежить від швидкості і характеру руху повітря відносно поверхні випаровування;  $p_H - p_{II}$  – парціальний тиск, відповідно, насиченої водяної пари при температурі води і водяної пари в потоці повітря Н / м<sup>2</sup>;  $b$  – барометричний тиск у Н/м<sup>2</sup>.

Таким чином, при збільшенні швидкості повітря може бути досягнуто зменшення температури вологого тіла. Однак температура зерна у процесі зберігання не повинна перевищувати меж, що гарантують збереження його якості з урахуванням гранично допустимих значень.

Тому швидкість випаровування води з зернового матеріалу, з урахуванням закону Дальтона, а також перерозподілу води усередині зерна, складе:

$$M = \Psi k (p_H - p_{II}) \frac{101,3}{b}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}, \quad (10)$$

де  $\Psi$  – коефіцієнт, що враховує зниження швидкості випаровування води при поступовій обробці внутрішніх шарів зерна.

$$\Psi = \left( 1 - \frac{T_{ca(max)} - (T_{ca(max)} \cdot \Delta)}{T_{кин}} \right), \quad (11)$$

де  $T_{ca(max)}$  – максимально допустима температура повітря, °С;  $T_{кин}$  – температура кипіння води, °С;  $\Delta$  – коефіцієнт, що враховує відношення товщини поверхневого і внутрішнього шару ядра зерна (рис. 1).

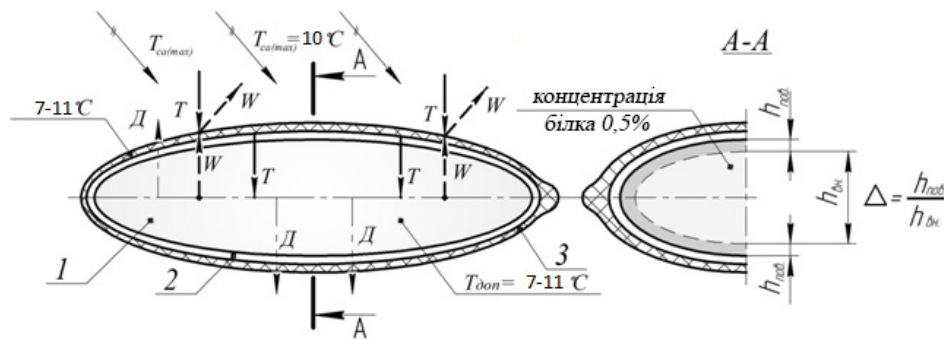


Рис.1. Розрахункова схема для дослідження зерна у процесі зберігання: 1 – ядро; 2 – повітряна порожнина; 3 – оболонка;  $\dashrightarrow$  – потік холодоагента;  $\longrightarrow$  – температурний градієнт;  $\dashrightarrow$  – градієнт вологовмісту;  $\dashrightarrow$  – градієнт тиску

Перегрів ядра зерна припустимий лише в поверхневому шарі  $h_{нов}$ . Внутрішній шар ядра повинен бути нагрітий до температури, при якій його білкова частина не руйнується.

Об'єднавши вирази (12) і (13), отримуємо інтенсивність випаровування води при зовнішньому вологообміні з урахуванням перерозподілу води в насінні під дією поступової обробки внутрішніх шарів зерна до максимально допустимої температури:

$$M = \left( 1 - \frac{T_{ca(max)} - (T_{ca(max)} \cdot \Delta)}{T_{кин}} \right) \times k \cdot (p_H - p_{II}) \cdot \frac{101,3}{b}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сек}, \quad (12)$$

Для спрощення математичного опису динаміки процесу охолодження й зернового матеріалу

та швидкості подачі холодоносія управління вихідною вологістю матеріалу здійснюється тільки зміною температури повітря.

Виходячи з основних положень теорії теплообміну між зерном і холодоагентом з урахуванням рівнянь (12-17) і (17) отримані математичні моделі, які описують динаміку зміни параметрів зернового матеріалу та холодоагента на виході з ангара, з урахуванням перерозподілу води в зерні під дією поступового прогріву внутрішніх шарів зерна до певної допустимої температури нагріву зерна:

$$m_v \cdot C_p \frac{dt_2}{dt} = G_v \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2) - \alpha \cdot f_F \cdot (\bar{t} - \bar{\theta}) - k_T \cdot \Sigma F \cdot (\bar{t} - t_B), \quad (13)$$

$$m_z \cdot C_z \frac{d\theta_2}{d\tau} = G_z \cdot C_z \cdot (\theta_1 - \theta_2) + \alpha \cdot f_F \cdot (\bar{t} - \bar{\theta}) - \beta \cdot \Psi \cdot f_F \times (a \cdot \bar{\theta} - c - b \cdot \bar{d}) \cdot r', \quad (14)$$

$$m_{zo} \frac{dU_2}{d\tau} = G_{zo} \cdot (U_1 - U_2) - \beta \cdot \Psi \cdot f_F \cdot (a \cdot \bar{\theta} - c - b \cdot \bar{d}), \quad (15)$$

$$-m_v \frac{dd_2}{d\tau} = G_v \cdot (d_2 - d_1) - \beta \cdot \Psi \cdot f_F \cdot (a \cdot \bar{\theta} - c - b \cdot \bar{d}) \cdot \zeta. \quad (16)$$

де  $\zeta$  – сталий коефіцієнт  $\zeta = 10^3$  г / кг.

Враховуючи, що температура на виході з зерносховища  $t_2$  та кінцевий вологовміст  $d_2$  холодоагента швидко набирають постійні значення, то при рішенні рівнянь можна прийняти  $d_2 = \bar{d}$ ,  $t_2 = \bar{t}$  їх постійними в часі і використовувати їх середні значення

$$\bar{t} = 0,5 \cdot (t_1 + t_2) = 0,5 \cdot (50 + 46) = 48 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\bar{d} = 0,5 \cdot (d_1 + d_2) = 7,11 \text{ г/кг}.$$

Тоді система спрощується:

$$m_z C_z \frac{d\theta}{d\tau} = \alpha f_F (\bar{t} - 0,5\theta_1 - 0,5\theta_2) - \beta \Psi f_F (a\bar{\theta} + c - b\bar{d}) r', \quad (17)$$

$$m_{zo} \frac{dU}{d\tau} = G_{zo} \cdot (U_1 - U_2) - \beta \cdot \Psi \cdot f_F \cdot (a \cdot \bar{\theta} + c - b \cdot \bar{d}). \quad (18)$$

Для отримання теоретичних кривих охолодження зернових культур, необхідно знайти складові математичної моделі виходячи з особливостей пропонованого обладнання для зберігання сільськогосподарської сировини.

Питому теплоємність зерна у залежності від його вологості можна визначався за емпіричної залежності [17, 18, 19]:

$$C_z = 1,45 + 0,0274 \cdot W, \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}, \quad (19)$$

де  $W$  – вологість зерна, %.

Коефіцієнт тепловіддачі між поверхнею зерна і холодоагентом визначається з відомого теплового рівняння [20]:

$$\alpha = \frac{Q}{F \cdot \Delta t} = \frac{Q \cdot \rho_m \cdot d_z}{6 \cdot G_{сл} (T_c - T_{нз})}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}, \quad (20)$$

де  $Q$  – кількість переданої в одиницю часу теплоти;  $F$  – ефективна поверхня теплообміну, м<sup>2</sup>;  $G_{сл}$  – маса частинок у шарі, кг;  $\rho_m$  – щільність матеріалу, кг / м<sup>3</sup>;  $d_z$  – еквівалентний діаметр зерна, м;  $\Delta t = T_c - T_{нз}$  – середній температурний напір, °С.

Щільність вологого повітря визначають як величину, зворотну питомій обсягом:

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1 + 0,001}{V_0}, \text{ кг/м}^3, \quad (21)$$

де  $v$  – питомий об'єм вологого повітря, м<sup>3</sup> / кг;  $V_0$  – об'єм вологого повітря на 1 кг сухого повітря.

Питомий об'єм вологого повітря визначався за формулою:

$$v = \frac{V_0}{1 + 0,001 \cdot d}, \text{ м}^3/\text{кг}, \quad (22)$$

де  $d$  – вологовміст повітря, г / кг.

Якщо розглянути пшеницю, як об'єкт зберігання, то одними із найбільш важливих показників, які характеризують хлібопекарські властивості зерна пшениці є показники кількості та якості клейковини. Кількість і якість клейковини залежить від сорту та умов вирощування (кліматична зона, тип ґрунту, погодно-кліматичні умови, попередник, зона зрошення, система удобрення). Класність зерна пшениці нормується кількістю та якістю клейковини, хоча перевага надається вмісту білка [21].

Визначення якості клейковини в Україні на відміну від інших регіонів світу, має вкрай важливе значення. Це пов'язано з тим, що в Україні дуже поширений клоп-черепашка, який в окремі роки ушкоджує до 20 % зерна. Максимально допустимий ступінь ушкодження знаходиться у межах 2-3 %.

Як видно з експериментальних досліджень зміна якості сирової клейковини трохи поліпшилась, вона стала більш пружною, хоча зміни ці по обох досліджуваних зразках зерна пшениці були невеликі. У цьому разі слід зазначити, що зберігання у регульованому температурному режимі сприяло укріпленню клейковини, а в нерегульованому – розслабленню[7].

Вміст білка в зерні пшениці є детермінантним критерієм хлібопекарської якості борошна. Для кожного сорту пшениці існує мінімальний рівень вмісту білка, який гарантує задовільні хлібопекарські якості борошна. З іншого боку, залежність між вмістом білка та технологічною якістю є специфічною для кожного сорту пшениці: якість борошна одних сортів поліпшується з підвищенням вмісту протеїну, тоді як інших може поліпшуватися не пропорційно порівняно зі зростанням вмісту протеїну, а в деяких навіть знижуватись. Тобто лише вміст білка, сам по собі, не пояснює різниці між двома партіями борошна різної якості [12].

Вміст білка в зерні пшениці залежно від сорту та умов вирощування коливається у широких межах від 8 до 25 %, і в середньому дорівнює 13,5 %.

Різниця між показниками при різних термінах зберігання та різних режимах у середньому становила максимум 0,1-0,6%, що допускається похибкою досліджу.

Для оцінки хлібопекарських властивостей зерна проводилася пробна лабораторна випічка згідно з методикою Держкомісії з сортовипробування. Випікали хліб із борошна, отриманого з досліджуваних зразків зерна пшениці вирощеної на території Мелітопольського району Запорізької області. Якість хліба оцінювали за величиною об'ємного виходу та загальною хлібопекарською оцінкою.

Загальна хлібопекарська оцінка залежить від об'єму хліба, зовнішнього вигляду хліба (форми, поверхні, кольору скоринки) та внутрішнього (пористості, еластичності, кольору м'якуша). Загальна хлібопекарська оцінка в досліджуваних зразках зерна пшениці озимої мала ту ж саму динаміку змін, що і об'єм хліба, отриманий із зерна дослідних зразків.

Хліб, отриманий у результаті пробної випічки із дослідних зразків зерна пшениці, яке зберігалося у регульованих і нерегульованих умовах протягом 12 місяців, наведено на рис. 2.

### Висновки

Розроблена математична модель низькотемпературного консервування зернової продукції у зерносховищі дозволяє адекватно описати динаміку зміни параметрів зернового матеріалу та холодоагента на виході з ангару.

За результатами оцінки якості хлібопекарної продукції, що була отримана із продукції, яка підлягала активному вентиляванню потоком холодною отримали, що значно кращі результати спостерігалися при зберіганні зерна пшениці в регульованих умовах, за яких отримана продукція має більший об'єм, шкірки, його поверхня є більш гладенькою та тоншою, без розривів; форма хліба правильна, пори м'якушки менші і вирівняні за розміром, колір м'якушки біліший.

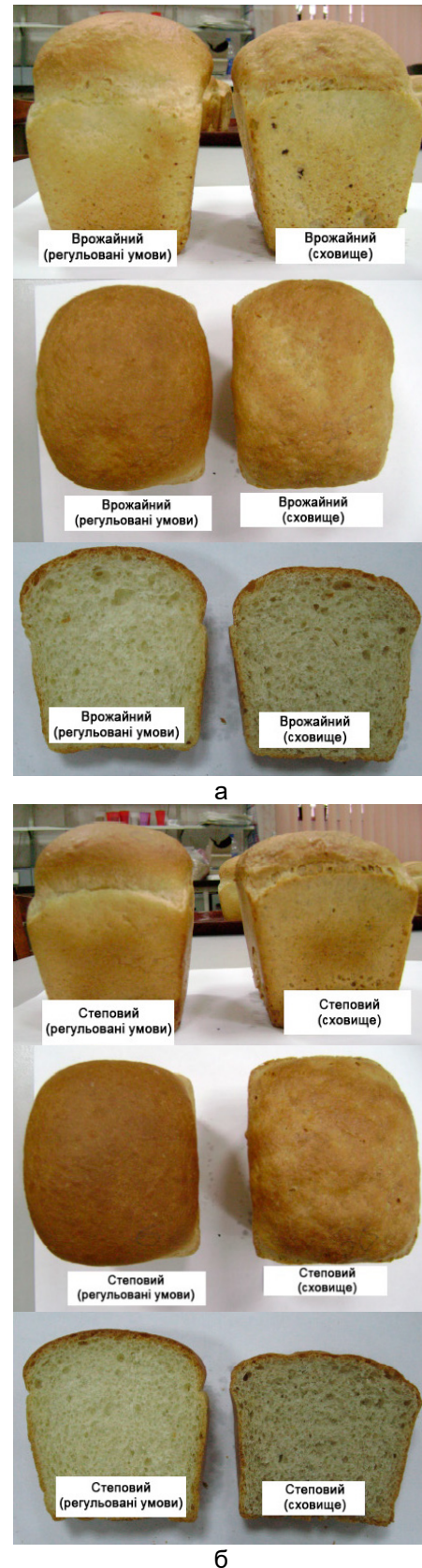


Рис. 2. Хліб отриманий із досліджуваних сортів: а – Врожайний; б – Степовий

### Література

1. Богомолов О.В. Зберігання та переробка сільськогосподарської продукції / О.В. Богомолов, Н.В. Верешко, О.М. Сафонова та ін. // Під. Ред. О.І. Шаповаленка, О.М. Сафонові. – Харків: Еспада, 2008. – 544с. іл.
2. Верхованцева В.О. Аналіз способів зберігання зерна / В.О. Верхованцева, В.Ф. Ялпачик // Проблеми харчових технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку: Міжнар. наук. – техн. конф.: [тези доп.]. – Донецьк: Дон-НУЕТ, 2011. – С. 125-128.
3. Дацишин О. В., Ткачук А. І., Гвоздев О. В., Ялпачик Ф. Ю., Гвоздев В. О. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв. «Нова книга», Вінниця, 2009. – 486с.
4. Куприн Я.Н. Технология переработки зерна / Я.Н. Куприн. – М.: Колос, – 1977.
5. Чурсінов Ю.О Системи та засоби захисту зернових запасів: навч. посібник / Ю.О. Чурсінов, С.А. Черних, В.С. Кошулько– Дніпропетровськ: ДДАУ, 2009. –313 с.
6. Боуманс Г Эффективная обработка и хранение зерна / Пер.с.анг. В.И. Дашевского. – М.: Агропромиздат, 1991. – 608 с.: ил.
7. Маленький Б.Е. Технология приемки, хранения и переработки зерна / Б.Е. Маленький, В.Б. Лебедев, Г.А. Винников – М.: Агропромиздат, 1990. – 367 с.
8. Механізація переробної галузі агропромислового комплексу / [О.В. Гвоздев, Ф.Ю. Ялпачик, Ю.П. Рогач, М.М. Сердюк]. – К. : Вища освіта, 2006. – 479 с.
9. Агрономов Е.А. Хранение зерна. / Е.А. Агрономов М.: Пищепромиздат, 1935. – 222 с.
10. Скалецька Л.В. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Практикум: Навчальний посібник / Л.В. Скалецька, Т.М. Духовська, А.М. Сеньков. – К.: Вища школа, 1994. – 330 с.:ил.
11. Камінський В.Д. Переробка та зберігання сільськогосподарської продукції / В.Д. Камінський, М.Д. Бабіч // Навчальний посібник для вузів. – Одеса: Аспект, 2000 – 460 с.
12. Малин Н.И. Технология хранения зерна / Н.И. Малин– М.:Колос 2005. – 280 с.
13. Гинзбург А. С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Справочник / [Гинзбург А. С., Громов М. А., Красовская Г. И.]– М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
14. Лыков А. В. Теория сушки / Лыков А. В. – М.: «Энергия», 1968. – 472 с.
15. Чижигов А. Г. Теплофизические характеристики семян пшеницы / А. Г. Чижигов, В.Ф. Кабанов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1976. – № 11. – С. 18-20.

16. Самочетов В. Ф. Зерносушение / В.Ф. Самочетов, Г.А.Джоргоян – М.: Колос, 1970. – 287 с.
17. Кирьянов Д. В. Mathcad 13 / Д. В. Кирьянов. – СПб: БХВ –Петербург, 2006. – 608 с.
18. Пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням: пат. 72178 UA. / В.О. Верхованцева, В.Ф. Ялпачик, О.В. Гвоздев. – Заяв. 27.01.2012; опубл. 10.08.2012. Бюл. №15.
19. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / За редакцією проф. І. Ф. Анежика. – К.: НУХТ, 2003. – 400 с.
20. Лыков А.В. Теория теплопроводности. / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
21. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства / Л.Я. Ауэрман – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 415 с.

### References

1. Bohomolov O.V. Zberihannia ta pererobka silskohospodarskoi produktsii / O.V. Bohomolov, N.V. Vereshko, O.M. Safonova ta in. // Pid. Red. O.I. Shapovalenka, O.M. Safonovoi. – Kharkiv: Espada, 2008. – 544 s. il.
2. Verkhohantseva V.O. Analiz sposobiv zberihannia zerna / V.O. Verkhohantseva, V.F. Yalpachyk // Problemy kharchovykh tekhnologii i kharchuvannia. Suchasni vyklyky i perspektyvy rozvytku: Mizhnar. nauk. – tekhn. konf.: [tezy dop.]. – Donetsk: Don-NUET, 2011. – S.125-128.
3. Datsyshyn O.V., Tkachuk A.I., Hvozdiev O.V., Yalpachyk F.Yu., Hvozdiev V.O. Tekhnolohichne obladnannia zernopererobnykh ta oliinykh vyrobnytstv. «Nova knyha», Vinnytsia, 2009. – 486 s.
4. Kuprin Ya.N. Tekhnologiya pererabotki zerna / Ya.N. Kuprin. – M.: Kolos, – 1977.
5. Chursinov Yu.O Systemy ta zasoby zakhystu zernovykh zapasiv: navch. posibnyk / Yu.O. Chursinov, S.A. Chernykh, V.S. Koshulko – Dnipropetrovsk: DDAU, 2009. –313 s.
6. Boumans G EHfektivnaya obrabotka i hranenie zerna / Per.s.ang. V.I. Dashevskogo. – M.: Agropromizdat, 1991. – 608s.: il.
7. Malen'kij B.E. Tekhnologiya priemki, hraneniya i pererabotkizerna / B.E. Malen'kij, V.B. Lebedev, G.A. Vinnikov – M.: Agropromizdat, 1990. – 367s.
8. Mekhanizatsiia pererobnoi haluzi ahropromyslovoho kompleksu / [O.V. Hvozdiev, F.lu. Yalpachyk, Yu.P. Rohach, M.M. Serdiuk]. – K.: Vyshcha osvita, 2006. – 479 s.
9. Agronomov E.A. Hranenie zerna. / E.A. Agronomov. – M.: Pishchepromizdat, 1935. – 222 s.
10. Skaletska L.V. Tekhnolohiia zberihannia i pererobky produktsii roslynnytstva. Praktykum: Navchalnyi posibnyk / L.V. Skaletska, T.M. Dukhovska, A.M. Senkov. – K.: Vyshcha shkola, 1994. – 330 s.: yl.

11. Kaminskyi V.D. Pererobka ta zberihannia silskohospodarskoi produktsii / V.D. Kaminskyi, M.D. Babich // Navchalnyi posibnyk dlia vuziv. – Odesa: Aspekt, 2000 – 460 s.
12. Malin N.I. Tekhnologiya hraneniya zerna / N.I. Malin/ – M.: Kolos 2005. – 280 s.
13. Ginzburg A. S. Teplofizicheskie harakteristiki pishchevyh produktov. Spravochnik / [Ginzburg A.S., Gromov M. A., Krasovskaya G. I.] – M.: Agropromizdat, 1990. – 287 s.
14. Lykov A.V. Teoriya sushki / Lykov A.V. – M.: «Energia», 1968. – 472 s.
15. CHizhikov A.G. Teplofizicheskie harakteristiki semyan pshenicy / A.G. CHizhikov, V.F. Kabanov // Mekhanizatsiia i ehlektrifikatsiia sotsialisticheskogo sel'skogo hozyajstva. – 1976. – № 11. – S. 18-20.
16. Samochetov V.F. Zernosushenie / V.F. Samochetov, G.A. Dzhorogyan – M.: Kolos, 1970. – 287 s.
17. Kir'yanov D.V. Mathcad 13 / D.V. Kir'yanov. – SPb: BHV –Peterburg, 2006. – 608 s.
18. Prystirii dlia okholodzhennia y sushinnia silskohospodarskykh produktiv aktyvnym ventyliuvanniam: pat. 72178 UA. / V.O. Verkholantseva, V.F. Yalpachyk, O.V. Hvozdev. – Zaiav. 27.01.2012; opubl. 10.08.2012 Biul. №15.
19. Protsey i aparaty kharchovykh vyrobnytstv: pidruchnyk / Za redaktsiieiu prof. I. F. Anezhyka. – K.: NUKhT, 2003. – 400 s.
20. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti. / A.V. Lykov. – M.: Vysshaya shkola, 1967. – 599 s.
21. Auehrman L.Ya. Tekhnologiya hlebopekarnogo proizvodstva / L.Ya. Auehrman – M.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1984. – 415 s.

#### Аннотация

### Процесс охлаждения в зернохранилище при хранении зерновой продукции с последующей реализацией в производстве

С.В. Кюрчев

Реализуя разработаны метод низкотемпературной консервации для охлаждения зерна используют как естественную атмосферу, но и искусственно охлажденный с помощью холодильных установок, достигая при этом практически полного консервирования массы на весь период хранения; когда происходит постоянное взаимодействие хладагента с зерном. Применение холода позволяет быстро снизить начальную температуру партии зерна, предотвратить потери, которые возникают в результате активного развития микроорганизмов и комков. Для описания динамики процесса хоанения и охлаждения материала принята модель проточного реактора идеального перемешивания, при котором градиентами параметров процесса по высоте и поперечному сечению пренебрегаем, а процесс охлаждения зерно принимаем безградиентным. При таких условиях испарения влаги с поверхности зерна, перенос пара с поверхности в окружающую среду происходит в основном за счет разницы парциального давления пара на поверхности зерна и окружающей среды. Разработана математическая модель адекватно описывает динамику изменения параметров зернового материала и хладагента на выходе из зернохранилища, с учетом перераспределения влаги в массе сырья под действием постепенного прогрева внутренних слоев продукции в определенной допустимой температуры нагрева зерна Для оценки хлебопекарных свойств зернового сырья, хранившейся по представленной технологии, проводилась пробная лабораторная выпечка согласно методике Госкомиссии по сортоиспытанию, по результатам испытаний качества сырой клейковины, она стала более упругой, хотя изменения эти по обеим исследуемых образцах зерна пшеницы были небольшие. Хранение в регулируемой температурном режиме способствовало укреплению клейковины. При таких условиях полученная продукция имеет больший объем коолчки, более гладкую и тонкую поверхность; форма хлеба является правильным, цвет мякиша оказался белее, а поры – меньшие и выровненные по раз меру.

**Ключевые слова:** хранение, зерно, пшеница, охлаждения, температура, хлебопекарные свойства, хладагент.

#### Abstract

### The process of cooling in a granary when storing grain products followed by sale in production

S.V. Kiurchev

Realizing the developed method of low-temperature conservation for grain cooling is used as a natural atmosphere, but also artificially cooled with the help of refrigeration units, while achieving a nearly complete canning of the mass for the entire storage period; when there is a constant interaction of the refrigerant with



the grain. The use of cold can quickly reduce the initial temperature of the batch of grain, prevent losses that result from the active development of microorganisms and comas. To describe the dynamics of the process of hooning and cooling of the material, a model of an ideal mixing flow reactor is adopted, in which gradients of process parameters along height and cross section are neglected, and the process of cooling the grain is assumed to be without gradient. Under such conditions, moisture evaporation from the grain surface, the transfer of steam from the surface to the environment occurs mainly due to the difference in the partial pressure of the vapor on the surface of the grain and the surrounding medium. A mathematical model is developed that adequately describes the dynamics of the parameters of the grain material and refrigerant at the outlet from the granary, taking into account the redistribution of moisture in the mass of the raw material under the influence of the gradual heating of the inner layers of production in a certain permissible temperature of grain heating. To assess the baking properties of grain raw materials stored according to the technology, trial laboratory baking according to the procedure of the State Commission for Variety Testing. According to the results of testing the quality of raw gluten, it became more elastic, although these changes in both samples of wheat grain were small. Storage in a controlled temperature regime promoted strengthening of gluten. Under such conditions, the products obtained have a larger volume of bobbins, a smoother and thinner surface; the shape of the bread is correct, the color of the crumb is whiter, and the pores are smaller and lined in size.

**Keywords:** *storage, grain, wheat, cooling, temperature, baking properties, refrigerant.*

---

**Представлено від редакції: О.І. Завгородній / Presented on editorial: O.I. Zavhorodnii**

**Рецензент: С.Ф. Федоров / Reviewer: S.F. Fedorov**

*Подано до редакції / Received: 24.04.2018*