

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗЕРНА

Кюрчев С.В., к.т. н., доц., Верхованцева В.О., аспірант
Таврійський державний агротехнологічний університет
(м. Мелітополь)

У статті розглядається визначення параметрів оптимізації для зберігання зерна в охолодженому стані. В результаті проведених досліджень, в якості факторів розглядали термін зберігання (фактор x_1) і середня температура (фактор x_2). Це дає можливість прогнозувати технологічні показники, що визначають хлібопекарські властивості зерна пшениці зокрема якість клейковини, індекс деформації клейковини, вологість. Представлені лінійні та параболічні залежності для кожного із показників за допомогою програми MathCad. Аналізувалися умови для двох зерносховищ та температури від $0...7^{\circ}\text{C}$ та $7...14^{\circ}\text{C}$. При оптимізації, згідно з отриманими даними можна зробити висновок, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 6 місяців при температурі не більше $8,4^{\circ}\text{C}$, клейковина при цьому складе 27,8 %. Індекс деформації клейковини 60,9%, температурі 0°C при терміні зберігання 5,5 місяців. Можна зробити висновок, що при температурі 0°C вологість буде 12,35%, а термін зберігання складе 5,6 місяців. Таким чином, допустимі параметри для факторів x_1, x_2 : термін зберігання до 6 місяців при температурі не більше $12,4^{\circ}\text{C}$ і не менше $9,1^{\circ}\text{C}$.

Ключові слова. клейковина, якість, параметри зберігання, індекс деформації клейковини, фактори, вологість, оптимізація.

Вступ. Під якістю клейковини розуміють сукупність її фізичних властивостей: розтяжність, пружність, еластичність, в'язкість, здібність зберігати фізичні властивості у продовж часу зберігання [1].

Вміст сирої клейковини приблизно в два рази перевищує вміст білка. Найбільшу небезпеку для зберігання зерна представляє теплової нагрів, що впливає на клейковину і вологість зерна пшениці. Ця проблема стає особливо гострою у зв'язку із збільшенням місткості зерносховища. Навіть при хорошій теплоізоляції зерносховищ температура зерна змінюється, тому що відбувається процес дихання.

Одним з основних напрямків розвитку харчової промисловості є створення вискоєфективних екологічно безпечних технологій продуктів харчування із зернової сировини з якісною харчовою і біологічною цінністю.

Аналіз останніх досліджень. Питанням теорії сушіння, пошуку технологічних прийомів сушіння, вивченню властивостей зерна, проектування ефективнішою сушильної техніки присвячені роботи Максимов М.М., Захарченко В.І., Еркан Ф.І., Лисих І.Г., Полуєктова В.М., Ровного Г.О., Фрегер Ю.Л., Жукова М.О., Авдєєва О.В., Hoffman H., Cleve H., Dohler H., Fans D. та ін. Аналіз цих робіт показав, що більшість з них відноситься до розробки технології і техніки для сушіння зерна з вихідною вологістю до 20 %. Проблема залишається актуальною і в даний час. Було відзначено, що на клейковину в основному впливає порушення процесів: зберігання та сушіння зерна.

Проблемою зберігання зерна займалися багато вітчизняних та зарубіжних дослідників: Горячкін В.П., Гінзбург А.С., Аніскін В.І., Окунь Г.С., Резчиков В.О., Олійников В.І., Чіжіков А.Г., Зелінський Г.В., Katie Z., Koferd S., Olesen H. та інші [2,3,4].

Аналіз розроблених ними способів зберігання, в тому числі застосування рециркуляції зернових сумішей з різним співвідношенням сухого і вологого зерна, показує широку спрямованість виконаних досліджень. Однак досліджень, пов'язаних з охолодженням зерна і визначенням впливу обраних режимів зберігання на якість клейковини в роботах представлено не було[4].

Мета дослідження. Збільшення обсягів надходження зерна на хлібоприймальні підприємства у всі скорочуються терміни, підвищення вологості заготовлюваного зерна в результаті прибирання вимагає застосування нових методів для забезпечення його збереження. Одним з таких методів є зберігання зерна в охолодженому стані.

Для експерименту використовувалися два зерносховища (зерносховище № 1, зерносховища № 2), де застосовувалося охолодження, і третє (№ 3) без охолодження. У зерносховищі № 1 підтримували температуру зерна в межах від 0...7⁰С, а в зерносховищі № 2 температуру зерна знаходилася в діапазоні від 7...14⁰С.

При дослідженні був використаний стандарт України про технічні умови пшениці ДСТУ 3768:2010, на підставі якого визначено показники, що впливають на якість пшениці і якість хліба при умовах зберігання [5].

В результаті проведених досліджень, в якості факторів розглядали термін зберігання (фактор x_1) і середня температура (фактор x_2). Отримано лінійну і параболічну залежності для клейковини пшениці (Y) (таблиця 1).

На підставі отриманої параболічної залежності (рис.1) можна здійснити прогноз зберігання зерна в зерносховищі із застосуванням охолодження.

Таблиця 1. Лінійна і параболічна залежності для результуючої ознаки.

Клейковина (Y)		
Зерносховище 1	Лінійна	Криволінійна
t=0 – 7 ⁰ C	$Y = -12,9 + 7,25x_1 + 4,76x_2$	$Y = -44,86 + 26,63x_1 + 1,69x_2 - 2,42x_1^2 - 3,1x_1x_2 - 0,99x_2^2$
Зерносховище 2		
t=7 – 14 ⁰ C	$Y = 27,5 + 0,15x_1 - 0,04x_2$	$Y = 60,54 - 4,7x_1 - 4,3x_2 + 0,15x_1^2 + 0,34x_1x_2 + 0,13x_2^2$
Індекс деформації клейковини(Y)		
Зерносховище 1	Лінійна	Криволінійна
t=0 – 7 ⁰ C	$Y = 64,83 - 0,72x_1 + 0,79x_2$	$Y = 57,32 + 1,61x_1 + 0,55x_2 + 0,0235x_1^2 - 0,18x_1x_2 + 0,067x_2^2$
Зерносховище 2		
t=7 – 14 ⁰ C	$Y = 12,2 - 0,04x_1 + 0,08x_2$	$Y = -17,5 + 10,65x_1 + 7,3x_2 - 0,95x_1^2 - 1,33x_1x_2 - 0,43x_2^2$
Вологість (Y)		
Зерносховище 1	Лінійна	Криволінійна
t=0 – 7 ⁰ C	$Y = 12,2 - 0,04x_1 + 0,08x_2$	$Y = -17,5 + 10,65x_1 + 7,3x_2 - 0,95x_1^2 - 1,33x_1x_2 - 0,43x_2^2$
Зерносховище 2		
t=7 – 14 ⁰ C	$Y = 17,41 - 0,51x_1 - 0,29x_2$	$Y = 108,71 - 13,46x_1 - 13,15x_2 + 0,53x_1^2 + 0,86x_1x_2 + 0,46x_2^2$

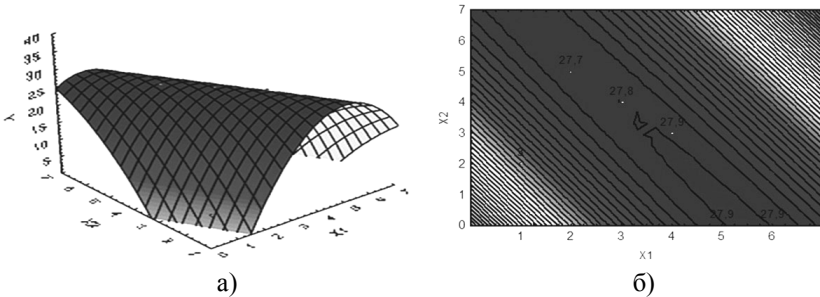


Рис.1. Поверхня параболічної залежності (а), лінії рівнів (б) клейковини пшениці для зерносховища № 1: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна в зерносховищі; Y - клейковина пшениці.

Оптимізація параметрів представлена лістингом (рис.2), обчислення проводилися в пакеті MathCad [7,8,9,10].

Оптимізація параметрів для зерносховища № 1 за показником клейковини

$$\begin{aligned}
 &x_1 := 0 \qquad x_2 := 0 \\
 &y = (x_1, x_2) := -44.86 + 26.63x_1 + 16.89x_2 - 2.42x_1^2 - 3.1x_1 \cdot x_2 - 0.99x_2^2 \\
 &\text{Given} \\
 &1 \leq x_1 \qquad 0 \leq x_2 \\
 &x_1 \leq 6 \qquad x_2 \leq 7 \qquad y(x_1, x_2) \geq 0 \\
 &x_1 \geq 0 \qquad x_2 \geq 0 \qquad y(x_1, x_2) < 27.9 \\
 &R := \max imize(y, x_1, x_2) \\
 &R = \left(\frac{4.248}{1.44} \right) \qquad y(4.248, 1.44) = 27.9
 \end{aligned}$$

Рис.2. Лістинг обчислювального блоку для зерносховища №1.

Аналогічно, для зерносховища № 2, температурний режим зерна 7°C - 14°C.

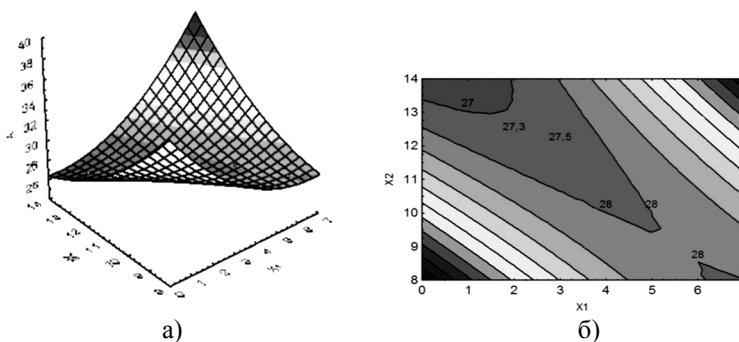


Рис.3. Поверхня параболічної залежності (а), лінії рівнів (б) клейковини пшениці для зерносховища № 2: x_1 - термін зберігання ; x_2 - середня температура зерна у зерносховище ; Y - клейковина пшениці.

При оптимізації , згідно з отриманими даними можна зробити висновок , що найбільш сприятливим терміном зберігання є 6 місяців при температурі не більше 8,4°C, клейковина при цьому складе 27,8 %.

Якість клейковини визначають на приладі ІДК - 1 (індекс деформації клейковини). Залежно від показань приладу, клейковина за якістю ділиться на три групи: I - хорошої якості; II - задовільного; III - незадовільного.

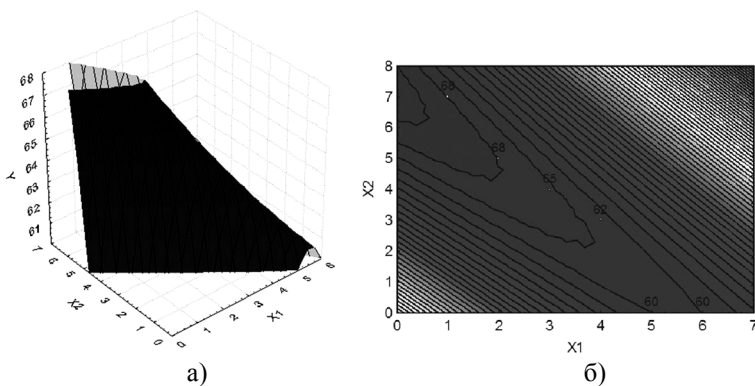


Рис. 4. Поверхня параболічної залежності (а), лінії рівнів (б) індексу деформації клейковини пшениці для зерносховища № 1: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна у зерносховище; Y - ІДК пшениці.

Зерно пшениці з клейковиною III групи не придатне для хлібовипікання. На кількість і якість клейковини впливають такі фактори: сортові особливості; технологія обробки пшениці (попередники, строки сівби, рівень азотного живлення); погодні умови в період дозрівання зерна і збирання врожаю; несприятливі дії, які зерно відчуває при вирощуванні (ураження шкідливим клопом - черепашкою), зберігання (проростання і самозігрівання) і обробці (перегрів при сушінні)[11].

Параметри оптимізації ІДК (зерносховище № 1)

$$\begin{aligned}
 &x_1 := 0 && x_2 := 0 \\
 &y = (x_1, x_2) := -45 + 38.5x_1 - 33.5x_2 - 3.5x_1^2 - 5.86x_1 \cdot x_2 - 2.34x_2^2 \\
 &\text{Given} \\
 &x_1 \leq 6 && x_2 \geq 0 \\
 &x_1 \geq 1 && x_2 \leq 7 && y(x_1, x_2) < 68 \\
 &&& x_2 \geq 0 && y(x_1, x_2) > 50 \\
 &R := \max \text{imize}(y, x_1, x_2) \\
 &R = \begin{pmatrix} 5.5 \\ 0 \end{pmatrix} && y(5.5, 0) = 60.875
 \end{aligned}$$

Рис. 5. Лістинг обчислювального блоку для зерносховища № 1.

Індекс деформації клейковини 60,9%, температурі 0°C при терміні зберігання 5,5 місяців.

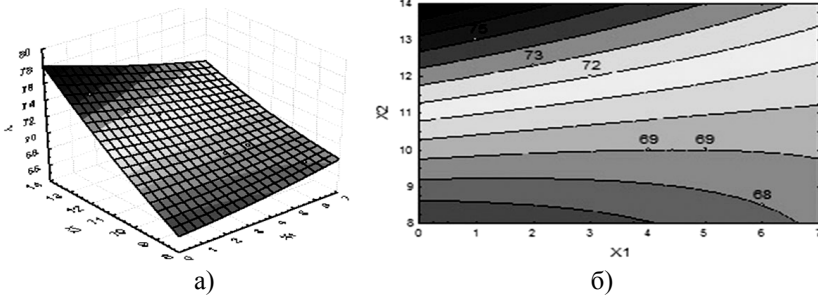


Рис. 6. Поверхня параболічної залежності (а), лінії рівнів (б) індексу деформації клейковини пшениці для зерносховища № 2:
 x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна в зерносховищі; Y - ІДК пшениці.

Оптимізація параметрів ІДК:

$$\begin{aligned}
 &x_1 := 0 \quad x_2 := 0 \\
 &y = (x_1, x_2) := 57.32 + 1.61x_1 + 0.55x_2 + 0.23x_1^2 - 0.18x_1 \cdot x_2 + 0.067x_2^2 \\
 &\textit{Given} \\
 &x_1 \geq 1 \quad x_2 \geq 8 \\
 &x_1 \leq 6 \quad x_2 \leq 13 \\
 &x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0 \quad y(x_1, x_2) < 70 \\
 &R := \textit{minimize} (y, x_1, x_2) \\
 &R = \left(\frac{1}{8} \right) \quad y(1, 8) = 66.408
 \end{aligned}$$

Рис. 7. Лістинг обчислювального блоку для зерносховища № 2.

Зберігання до одного місяця при температурі не нижче 8 градусів (ІДК = 66,4%). Зберігання після 3 місяці при температурі не нижче 8,5 градусів (ІДК=70%) . Зберігання 6 місяців при температурі 8,5 градусів (ІДК - 75 %)

$$\begin{array}{l}
 x_1 := 0 \qquad x_2 := 0 \\
 y = (x_1, x_2) := 57.32 + 1.61x_1 + 0.55x_2 + 0.23x_1^2 - 0.18x_1 \cdot x_2 + 0.067x_2^2 \\
 \textit{Given} \\
 x_1 \geq 1 \qquad x_2 \geq 8 \\
 x_1 \leq 6 \qquad x_2 \leq 13 \\
 x_1 \geq 0 \qquad x_2 \geq 0 \qquad y(x_1, x_2) < 70 \\
 R := \max \textit{imize}(y, x_1, x_2) \\
 R = \left(\frac{3.589}{8.417} \right) \qquad y(3.589, 8.417) = 69.999
 \end{array}$$

Рис. 8. Лістинг обчислювального блоку для зерносховища №2 - результуюча ознака ІДК .

Одним з найбільш важливих показників зберігання є вологість зерна, яку визначають відразу ж після прийому. Вологість - фактор, що показує частку поживних речовин зерна і тривалість його зберігання. Вміст вологи відіграє вирішальну роль в збереженні зерна. Чим вище вміст вологи в зерновій масі, тим менше вона містить поживних речовин і тим швидше псується. Надмірна кількість вологи призводить до активації фізіологічних, фізико-хімічних процесів [5, 6].

Для основних зернових культур: пшениці , жита , ячменю , вівса , гречки прийняті наступні стани зерна по вологості:

- сухе - до 14%
- середньої сухості - понад 14 % до 15,5 %
- вологе - від 15,5 % до 17 %
- сире - понад 17 %

Стан по вологості використовують для розміщення та обліку зерна при зберіганні. Як відомо , вологість зерна робить винятково великий вплив на його збереження. При зберіганні зерна вологість у нормальних умовах не піддається різким змінам; однак завдяки здатності поглинати і віддавати вологу зерно може зменшувати або збільшувати вологість при зберіганні [11,12].

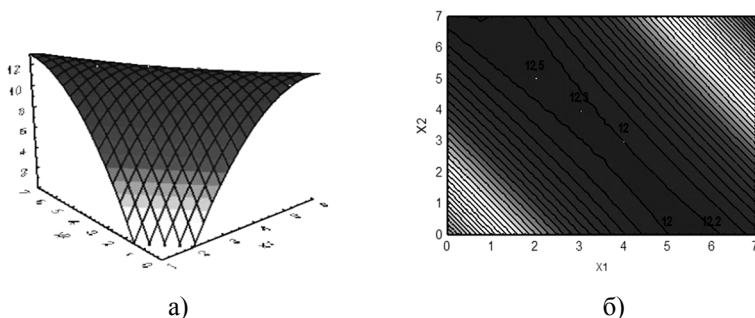


Рис.9. Поверхня параболічної залежності (а), лінії рівнів (б) вологості пшениці для зерносховища № 1: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна в зерносховищі; Y - вологість пшениці.

Оптимізація вологості в пакеті MathCad

$$\begin{aligned}
 &x_1 := 0 \qquad x_2 := 0 \\
 &y = (x_1, x_2) := -17.5 + 10.65x_1 + 7.3x_2 - 0.95x_1^2 - 1.33x_1 \cdot x_2 - 0.43x_2^2 \\
 &\text{Given} \\
 &x_1 \leq 6 \qquad x_2 \geq 0 \\
 &x_1 \geq 1 \qquad x_2 \leq 7 \qquad y(x_1, x_2) < 14 \\
 &x_2 \geq 0 \\
 &R := \max \text{imize}(y, x_1, x_2) \\
 &R = \left(\frac{5.605}{0} \right) \qquad y(5.605, 0) = 12.348
 \end{aligned}$$

Рис.10 Лістинг обчислювального блоку для зерносховища №1 - результуюча ознака вологість зерна.

Можна зробити висновок, що при температурі 0°C вологість буде 12,35%, а термін зберігання складе 5,6 місяців.

При подальшому зберіганні вологість буде різко зменшуватися.

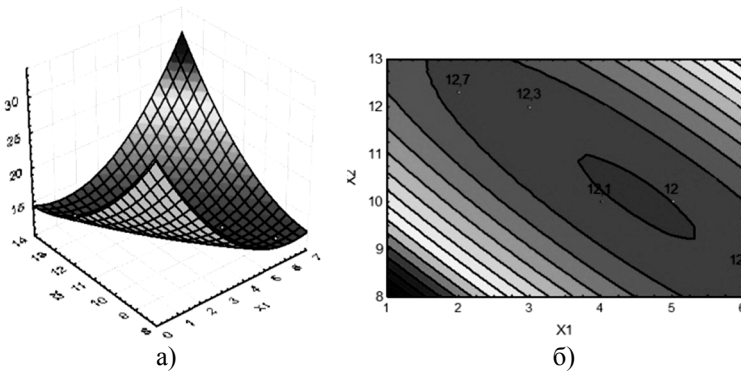


Рис. 11. Поверхня параболічної залежності(а), лінії рівнів (б) вологість пшениці для зерносховища № 2: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура у зерносховище; Y - вологість пшениці.

При оптимізації отриманої параболічної залежності (лістинг пакета MathCad)

```


$$x_1 := 0 \quad x_2 := 0$$


$$y = (x_1, x_2) := 108.71 - 13.46x_1 - 13.52x_2 + 0.53x_1^2 + 0.86x_1 \cdot x_2 + 0.46x_2^2$$

Given

$$x_1 \geq 1 \quad x_2 \geq 8$$


$$x_1 \leq 6 \quad x_2 \leq 13 \quad y(x_1, x_2) < 14$$


$$x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0$$


$$R := \maximize(y, x_1, x_2)$$


$$R = \left( \frac{5.992}{12.378} \right) \quad y(5.992, 12.378) = 14$$


$$x_1 := 0 \quad x_2 := 0$$


$$y = (x_1, x_2) := 108.71 - 13.46x_1 - 13.52x_2 + 0.53x_1^2 + 0.86x_1 \cdot x_2 + 0.46x_2^2$$

Given

$$x_1 \geq 1 \quad x_2 \geq 8$$


$$x_1 \leq 6 \quad x_2 \leq 13 \quad y(x_1, x_2) < 14$$


$$x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0$$


$$R := \minimize(y, x_1, x_2)$$


$$R = \left( \frac{6}{9.087} \right) \quad y(6, 9.087) = 9.047$$


```

Рис.12 Лістинг обчислювального блоку для зерносховища №2 - результуюча ознака вологість зерна.

Таким чином, допустимі параметри для факторів x_1 , x_2 : термін зберігання до 6 місяців при температурі не більше 12,4°C і не менше 9,1°C.

Висновки. На підставі проведеного експерименту отримані параболічні залежності і знайдені оптимальні параметри (термін зберігання (x_1), середня температура (x_2) у зерносховище) для допустимих значень клейковини, ІДК і вологості зерна пшениці, що є дуже важливим для подальшого застосування в хлібобулочної промисловості .

Список використаних джерел

1. Хранения зерна и зерновых продуктов / Пер. с англ. Х90 В. И. Дашевского, Г. А. Закладного; Предисл. Л. А. Трисвятского. – М.: Колос 1978 – 472с.,ил.
2. Фазлутдинова А.Н. Криогенные технологии в производстве хлеба из целого зерна пшеницы / А.Н. Фазлутдинова, Н.В. Лабутина, Р. И. Спирин – Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003.– № 2.– С.30–32.
3. Тихонов Н. И. Хранение зерна [Текст] : учеб. пособие / Н. И. Тихонов, А. М. Беляков; ФГОУ ДПОС «ВИПККА», Каф. инновац. технологий. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2006. – 108 с.
4. Применение искусственно охлажденного воздуха при хранении зерна за рубежом. Баум А. Е. Серия «Элеваторная промышленность», М., ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1977, 28с.
5. Пшениця. Технічні умови: ДСТУ 3768-2010. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 14 с.
6. Томашевский В. Н. Решение практических задач методами компьютерного моделирования / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова, А. А. Жолдаков. – К.: Изд. "Корнійчук", 2001. – 268 с.
7. Советов Б. Я. Моделирование систем. / Б. Я Советов – М.: Высшая школа, 1985. – 271 с.
8. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. / Ю. И Рыжиков – М.: Альтекс-А, 2004. – 384 с
9. Кудрявцев Е. М. MathCAD 2000 Pro. / Е. М Кудрявцев – М.: ДМК „Пресс“, 2001. – 576с.
10. Ялпачик В.Ф. Исследования влияния условий хранения на изменения клейковины пшеницы / В.Ф. Ялпачик, В.А. Верхованцева // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2014. Вип. 14. –Т.4. – С. 128 – 131.
11. Ялпачик В.Ф. Изменение влажности пшеницы при хранении в зернохранилище с применением охлаждения/ В.Ф. Ялпачик, О.В. Верхованцева

12. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва: Підручник / Н.М. Осокіна, Г.С. Гайдай – Умань,2005. – 614с.:іл..

Аннотация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ЗЕРНА

Кюрчев С.В. , Верхоланцева В.А.

В статье рассматривается определение параметров оптимизации для хранения зерна в охлажденном состоянии. В результате проведенных исследований, в качестве факторов рассматривали срок хранения (фактор x_1) и средняя температура (фактор x_2). Это дает возможность прогнозировать технологические показатели, определяющие хлебопекарные свойства зерна пшеницы частности качество клейковины, индекс деформации клейковины, влажность. Представлены линейные и параболические зависимости для каждого из показателей с помощью программы MathCad. Анализировались условия для двух зернохранилищ и температуры от 0 ... 7°C и 7 ... 14°C. При оптимизации, согласно полученным данным можно сделать вывод, что наиболее благоприятным сроком хранения есть 6 месяцев при температуре не более 8,4°C, клейковина при этом составит 27,8%. Индекс деформации клейковины 60,9%, а температура 0 °C при сроке хранения 5,5 месяцев. Можно сделать вывод, что при температуре 0 °C влажность будет 12,35%, а срок хранения составит 5,6 месяцев. Таким образом, допустимые параметры факторов x_1 , x_2 : срок хранения до 6 месяцев при температуре не более 12,4 °C и не менее 9,1 °C.

Ключевые слова - клейковина, качество, параметры хранения, индекс деформации клейковины, факторы, влажность, оптимизация.

Abstract

DETERMINATION OF THE PARAMETERS OPTIMIZATION OF COOLING OF GRAIN

Kurchev S. Vercholantseva V.

The article deals with the definition of optimization parameters for grain storage in a refrigerated state. As a result of studies, the factors considered as shelf life factor (x_1) and the average temperature factor (x_2). This makes it

possible to predict the technological parameters determining the baking properties of wheat gluten particular quality, gluten deformation index, humidity. Presented linear and parabolic curves for each of the indicators by using MathCad. We analyzed the conditions for the two silos and the temperature of 0 ... 7 °C and 7 ... 14 °C. When optimization according to the data obtained it can be concluded that the most favorable shelf life has 6 months at a temperature of not more than 8,4 °C, while the gluten was 27.8%. Gluten deformation index of 60.9%, and 0 °C at 5.5 months of shelf life. We can conclude that at 0 °C is 12.35% humidity, and the shelf life of 5.6 months. Thus, factors permissible parameters x_1 , x_2 : the shelf life of up to 6 months at a temperature of not more than 12,4 °C and not less than 9,1 °C.

Keywords. *gluten quality, storage options, gluten deformation index factors, humidity, optimization.*