

Попова С. Ю., канд. техн. наук, доцент¹

Гопкало Л. М. канд. економ. наук, доцент¹

Слащева А. В., канд. техн. наук, доцент²

Пусікова О. А., асистент²

Стукальська Н. М., канд. техн. наук, доцент³

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна), e-mail: popova.svy@nubip.edu.ua.

² Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: slashcheva@donnuet.edu.ua.

³ Національний університет харчових технологій (м. Київ, Україна), e-mail: stukalska@nuht.edu.ua.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ АКТИВАЦІЇ ДРІЖДЖІВ У ПРИСУТНОСТІ СУХОЇ КАРТОПЛЯНОЇ ДОБАВКИ

UDC 664.642.8

*Popova S. Yu., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor¹*

*Gopkalo L. M., PhD in Economics sciences,
Associate Professor¹*

*Slashcheva A. V., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor²*

Pusikova O. A., Assistant Professor²

*Stukalska N. M., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor³*

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: popova.svy@nubip.edu.ua.

² Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: slashcheva@donnuet.edu.ua.

³ National University of Food Technology (Kyiv, Ukraine), e-mail: stukalska@nuht.edu.ua.

DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF YEAST ACTIVATION IN THE PRESENCE OF DRY POTATO ADDITIVE

Мета — метою проведених досліджень є наукове обґрунтування технологічних параметрів процесу попередньої активації дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, як поживне середовище запропоновано суху картопляну добавку (СКД).

Методи. Методичною основою виконання комплексних досліджень є: встановлення оптимальних параметрів попередньої активації дріжджів (ПАД) за ступенем осмочутливості та підйомної сили дріжджів. Для визначення оптимальних параметрів процесу ПАД був застосований метод планування експерименту. Цей метод є найбільш раціональним та може бути використаний на будь-якій модельній системі [9].

Підйомну силу дріжджів виміряли прискореним методом за часом впливання кульки тіста. Осмочутливість — методом порівняльного оцінювання підйомної сили дріжджів у тісті без солі та з підвищенням її вмістом.

Для приготування контрольного зразка використовували рецептуру безопарного дріжджового тіста. Для досліджуваного зразка використовували рецептуру безопарного дріжджового тіста із додавання сухої картопляної добавки (СКД) на етапі активації дріжджів.

Проведеними раніше дослідженнями прямого підрахунку колонії дріжджових клітин [10] встановлено, що введення СКД у середовище активації дозволяє значно скоротити лаг-фазу,

Надійшла до редакції 10.11.2021 р.

© С. Ю. Попова, Л. М. Гопкало, А. В. Слащева,
О. А. Пусікова, Н. М. Стукальська, 2021

тобто адаптація дріжджових клітин за наявності добавки відбувається інтенсивніше, ніж у зразку дріжджового середовища з цукром.

Також доведено, що присутність у середовищі активації дріжджів сприяє покращенню показників ферментативної активності (зимазної та мальтазної) досліджуваних зразків у порівнянні з контролем.

Цей аспект дозволяє прогнозувати скорочення часу технологічного процесу розстоювання тіста, а також підтверджує посилення щодо вилучення з рецептурного складу цукру.

Результати. Враховуються математичні розрахунки рівня дріжджових клітин та підвищеної температури осмотичної чутливості, а також залежність від тривалості процесу попередньої активації дріжджів (ПАД). Експеримент був розроблений відповідно до ортогональної конструкції симетрії Бенкіна. В результаті експериментальних та обчислювальних задач визначено оптимальні параметри активації дріжджів у присутності сухих добавок картоплі (СКД).

Ключові слова: суха картопляна добавка, попередня активація дріжджів, підйомна сила дріжджів, осмочутливість.

Постановка проблеми. В процесі виробництва дріжджового тіста як правило використовують пресовані або сухі дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, які сприяють протіканню спиртового та інших видів бродіння тіста.

Теоретичні основи спиртового бродіння полягають у тому, що хлібопекарські дріжджі можуть зброджувати моно-, ди- та трисахариди. Для дріжджів характерно послідовне споживання різних цукрів: спочатку вони зброджують моносахариди (глюкозу, фруктозу), потім мальтозу.

Борошно містить у своєму складі вільні цукри та крохмаль, які гідролізуються під дією ферментів борошна з утворенням мальтози. Основним вуглеводом при зброджуванні тіста є саме мальтоза та у деякій мірі мальтотриоза, які утворюються під впливом амілолітичних ферментів борошна. Ферменти, які беруть участь у транспорті та зброджуванні мальтози (мальтозоперміаза), утворюються тільки після того, як дріжджові клітини потрапляють у середовище, що містить цей дісахарид [1].

Перебудова дріжджів зі зброджування глюкози на зброджування фруктози, і особливо мальтози, потребує деякого часу, що пов'язано з індукцією ферментів, тому швидкість газоутворення в дріжджовому тісті в цей період знижується.

Після адаптації до зброджування мальтози швидкість газоутворення знову зростає, доки не відбудеться недолік мальтози у середовищі, тобто матиме місце другий підйом тіста [2].

Інтенсивність ферментних перетворень у середині клітини залежить від стану клітинної стінки, впливом на яку можна регулювати швидкість біохімічних процесів бродіння. Згідно з літературними даними [2], для дріжджів характерно послідовне споживання різних цукрів, спочатку вони зброджують прості цукри, потім більш складні, при цьому розщеплюючи їх на прості.

Таким чином, вуглеводний склад поживного середовища є одним з найважливіших факторів, що обумовлюють фізіологічний стан дріжджів. Отже, цей факт дає можливість прогнозувати, що розробка технологій добавок із певним вуглеводним складом є перспективним напрямком в області удосконалення технологічного процесу виробництва дріжджового тіста.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найбільш тривалим процесом всього технологічного циклу виробництва дріжджового тіста є процес дозрівання. Прискорити процес дозрівання, майже всіх видів тіста, можна за рахунок застосування харчових добавок [3, 4], або різноманітних способів активації хлібопекарських дріжджів.

Ферментативні системи енергетичного обміну пресованих дріжджів пристосовані до аеробно-сахарозного середовища і мало придатні для анаеробно-мальтозного середовища пшеничного тіста. Для адаптації до борошняного середовища з метою перебудови енергетичного обміну дріжджів з процесу дихання на процес бродіння і посилення синте-

зу бродильних ферментів у технологічний процес рекомендовано вводити додаткову операцію — попередню активацію дріжджів, яка передбачає їх витримку в різних поживних середовищах і дії на клітини фізичних чинників перед їх внесенням у тісто [2].

У технологічній практиці виробництва дріжджового тіста розрізняють хімічні та фізичні способи активації дріжджових клітин.

Так, наприклад, відомий спосіб приготування тіста з використанням плазмохімічно активованих водних розчинів [5].

Автори [6] запропонували спосіб активації дріжджової суспензії дискретно-імпульсним введенням енергії протягом $(9...11) \cdot 60$ с. Було встановлено, що такий спосіб попередньої обробки дріжджів сприяє покращенню показників підйомної сили тіста, а також зимазної та мальтазної активності дріжджів.

Відомий спосіб активації дріжджового тіста, що передбачає витримання дріжджів у водному розчині мікробного полісахариду ксампану, взятого в кількості 0,05–0,15% до маси борошна, при температурі 35 °C протягом 40–60 с. Полісахариди рослинного та мікробного походження сприяють поліпшенню фізико-хімічних та реологічних властивостей тіста, при цьому спостерігається підвищення виходу виробів та уповільнення процесів черствіння [7].

Групою дослідників [8], запропоновано спосіб одержання дріжджового тіста, який включає активацію дріжджів у водно-борошняно-дріжджовій суспензії на основі ячмінного борошна, яку витримують протягом $(30–35) \cdot 60$ с за температури 18–25 °C. Технологічний ефект полягає у скороченні часу бродіння тіста на 20–40%, підвищенні технологічності процесу та поліпшенні пористості готових виробів.

Мета статті — метою проведених досліджень є наукове обґрунтування технологічних параметрів процесу попередньої активації дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, У якості поживного середовища запропоновано суху картопляну добавку (СКД).

Виклад основного матеріалу дослідження. Активацію дріжджів розглядають як стадію адаптації дріжджових клітин до анаеробного мальтозно-борошняного середовища, а також відновлення їх життєдіяльності, поліпшення біотехнологічних властивостей, що призводить до інтенсифікації технологічного процесу та покращення якості дріжджових виробів [11].

Швидкість і направленість біохімічних реакцій, що викликаються дріжджовими клітинами, піддаються адаптивному регулюванню. Змінюючи склад поживного середовища і концентрацію розчинних речовин, можна забезпечити підтримання структури і функції ферментів з регуляцією їх активності [11].

Відомо, що для швидкої адаптації дріжджових клітин до борошняного тіста доречно використовувати рідкі поживні середовища, які містять у своєму складі вуглеводи, воду, азот, біогенні та олігобіогенні речовини, вітаміни тощо. Наявність поживних речовин у середовищі активації та їх доступність для споживання дріжджовими клітинами сприяють підвищенню енергії бродіння за рахунок перебудови енергетичного обміну з дихального на бродильний.

Враховуючи дані попередніх досліджень способів активації дріжджів [7, 8] та власні дослідження процесу набрякання СКД у воді, поєднання компонентів проводили при гідромодулі 1:5, що забезпечило рівномірний розподіл дріжджових клітин та поживного середовища в суспензії.

Параметри активації дріжджів обирали, спираючись на дані літературних джерел [2, 11]: температура від 20 до 40 °C, тривалість — $(10...30) \cdot 60$ с.

В якості пріоритетних показників було обрано підйомну силу та осмочутливість дріжджів.

Для визначення оптимальних параметрів процесу попередньої активації дріжджів (ПАД) був застосований метод планування експерименту.

Процес ПАД характеризується наступними параметрами:

x_1 — температура, °C;

x_2 — тривалість активації, $t \cdot 60$ с.

В якості функцій відклику, що характеризують ступінь максимального розпушення тіста, прийнято:

Y_1 — підйомна сила дріжджів, $t=60$ с;

Y_2 — осмочутливість дріжджів, $t=60$ с.

Планування експерименту виконано за ортогональним симетричним планом Бокса-Бенкина. Всі фактори експерименту варіювалися на верхньому («+») та нижньому («-») рівнях, значення яких були обрані по результатах попередніх експериментів. Було використано повний двофакторний експеримент з рівнями варіювання $-1; 0; +1$ [12].

В табл. 1 наведено умови проведення повного двофакторного експерименту.

Таблиця 1 — Рівні та інтервали факторів модифікації

Рівні	Фактори	
	Температура t , °C	Тривалість обробки $t=60$, с
	x_1	x_2
Основний (x_{i0})	30	20
Інтервал варіювання (Dx_i)	10	10
Верхній ($x_{i\max}$)	40	30
Нижній ($x_{i\min}$)	20	10

В табл. 2 наведено схему розробки експериментальних розробок.

Таблиця 2 — Матриця планування експерименту

j	Значення фактора					$x_1 x_2$	$x_1^2-l_2$	$x_2^2-l_2$
	натуральні		кодовані					
	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau\times 60, \text{с}$	x_0	x_1	x_2			
1	20	10	+1	-1	-1	+1	0,33	0,33
2	40	10	+1	+1	-1	-1	0,33	0,33
3	20	30	+1	-1	+1	-1	0,33	0,33
4	40	30	+1	+1	+1	+1	0,33	0,33
5	20	20	+1	-1	0	0	0,33	0,67
6	40	20	+1	+1	0	0	0,33	0,67
7	30	10	+1	0	-1	0	-0,67	0,33
8	30	30	+1	0	+1	0	-0,67	0,33
9	30	20	+1	0	0	0	-0,67	0,67
$\sum_{u=1}^N x$	—	—	9	6	6	4	2	2

Математична модель поверхності намовлення має вигляд:

$$\bar{Y}_i = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2 + b_4 (x_1^2 - \lambda_2) + b_5 (x_2^2 - \lambda_2), \quad (1)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ — коефіцієнти поліному:

$$b_i = \frac{\sum_{U=1}^N x_{iU} Y_U}{\sum_{U=1}^N x_{iU}^2}. \quad (2)$$

Після отримання коефіцієнтів поліномних розраховуємо алгебраїчну модифікацію поверхності відклику у відносних змінних.

Відносні змінні перераховуються на натуральні за формулою:

$$x = \frac{X_i - x_{i0}}{x_i}. \quad (3)$$

Для оцінки адекватності регресії використано критерій Фішера:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_e^2} \leq F_{0,95(7;5)}^{табл}, \quad (4)$$

де S_{ad}^2 — дисперсія адекватності; S_e^2 — дисперсія повторюваності; $F_{0,95(7;5)}^{табл}$ — табличне значення F-розподілу, $F_{0,95(7;5)}^{табл}=4,87$.

На першому етапі досліджували вплив температури та тривалості попередньої активації дріжджів на підйомну силу.

Здатність дріжджів зброджувати глюкозу та фруктозу виявляють за показником підйомної сили дріжджів та мальтазної активності. За показником підйомної сили дріжджів можна зробити висновок про швидкість підйому тіста (для дріжджів з нормальною підйомною силою цей показник не повинен перевищувати 70·60 с) [11].

Результати експерименту по визначенню підйомної сили, вираженої в хвилинах, представлено в табл. 3.

Таблиця 3 — Результати експерименту по визначенню підйомної сили

<i>j</i>	Фактори			$Y_{1;1}$	$Y_{1;2}$	$Y_{1;3}$	$Y_{1;4}$	$Y_{1;5}$	$Y_{1;cp}$
	x_1	x_2	$x_1 x_2$						
1	-1	-1	1	58,1	58,6	54,6	57,4	59,1	57,6
2	+1	-1	-1	47,8	46,3	48,3	51,1	45,6	47,8
3	-1	+1	-1	55,4	54,3	56	56	53,4	55,0
4	+1	+1	1	51	49,9	49,6	53,3	52,1	51,2
5	-1	0	0	57,7	56,8	56,3	55,3	57	56,6
6	+1	0	0	49	48,4	47,9	48,3	48,4	48,4
7	0	-1	0	45,5	46	43	47,4	44,3	45,2
8	0	+1	0	42,8	42,2	44,8	43,4	43,1	43,3
9	0	0	0	42,7	42,2	42,7	41,1	42,6	42,3

Після перетворень в натуральних змінних поліном має вигляд:

$$Y_1 = 149,41 - 6,17x_1 - 0,83x_2 + 0,01x_1x_2 + 0,09x_1^2 - 0,01x_2^2.$$

Розрахунок критерію Фішера наведено в табл. 4.

Таблиця 4 — Розрахунок критерію Фішера

<i>j</i>	Фактори			$Y_{1;cp}$	$Y Y_1$	S_{ad}^2	S_b^2
	x_1	x_2	$x_1 x_2$				
1	-1	-1	1	57,56	58,38	$1,10 \cdot 10^{-1}$	0,835467
2	+1	-1	-1	47,82	48,16	$1,90 \cdot 10^{-2}$	1,2152
3	-1	+1	-1	55,02	55,04	5,60	0,3472
4	+1	+1	1	51,18	50,72	$3,50 \cdot 10^{-2}$	0,633867
5	-1	0	0	56,62	55,79	$1,15 \cdot 10^{-1}$	0,212533
6	+1	0	0	48,40	48,52	$2,40 \cdot 10^{-3}$	0,041333
7	0	-1	0	45,24	44,09	$2,21 \cdot 10^{-1}$	0,747467
8	0	+1	0	43,26	43,70	$3,22 \cdot 10^{-2}$	0,250133
9	0	0	0	42,26	42,97	$8,48 \cdot 10^{-2}$	0,123467
-	-	-	-	-	-	$6,21 \cdot 10^{-1}$	—
$F = \frac{S_{ad}^2}{S_b^2}$						0,14	

Критерій Фішера для отриманої математичної моделі $F = 0,141 \leq 4,87$, що свідчить про адекватність отриманої регресії. Поверхню відгуку підйомної сили дріжджів від тем-

ператури та тривалості активації наведено на рис. 1. Дані наведені з урахуванням похибки експерименту. Дані рис. 1 свідчать, що процес ПАД сприяє покращенню підйомної сили дріжджів — при підвищенні температури до 40 °С відбувається зниження досліджуваного показника на 6%. Тривалість попередньої активації досягає свого максимального значення вже після 20·60 с та з часом обробки майже не змінюється. Отже, показник підйомної сили досягає порогового значення при даних параметрах активації при досягненні потрібної температури (30...35 °С).

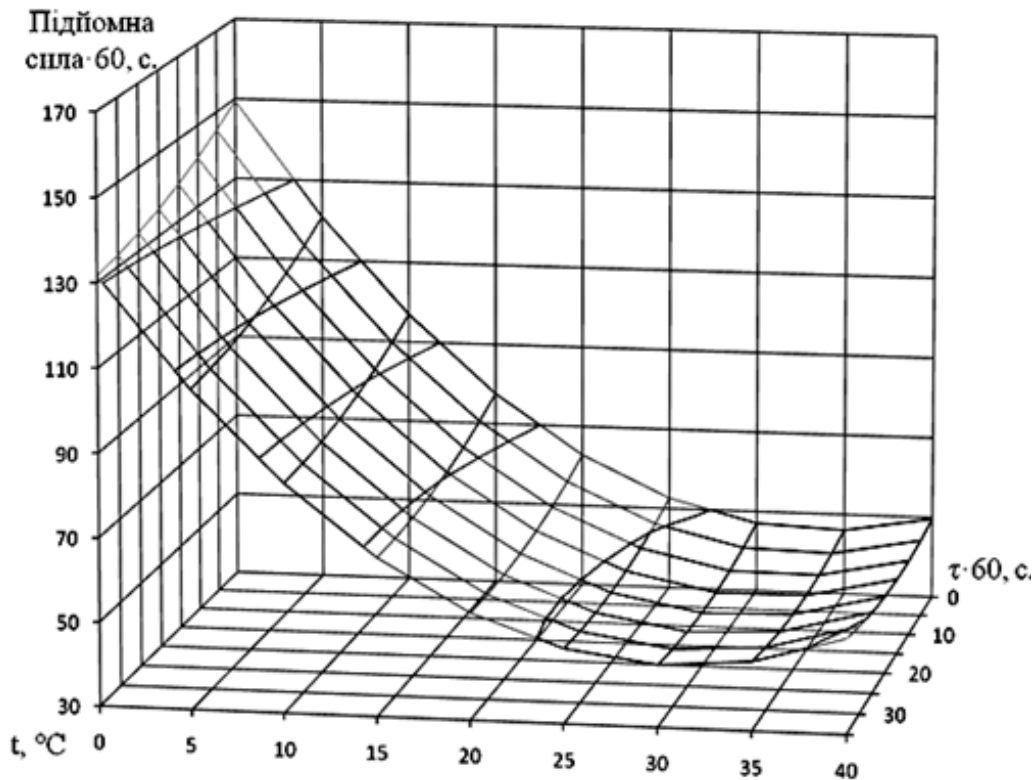


Рисунок 1 — Залежність підйомної сили від температури та тривалості попередньої активації дріжджів

Аналізуючи отриману залежність, можна зробити висновок, що підйомна сила досягає значення, що відповідає порогу максимальної розпушеності тіста при параметрах температури близько 30 °С. Однак, зважаючи на те, що процес ПАД не використовують при виробництві дріжджового тіста за традиційною технологією, виявляється більш доцільно рівняти на підйомну силу дріжджів тіста зробленого традиційним способом, тобто контролю. Значення підйомної сили дріжджів тіста, виготовленого за традиційною технологією, досягають свого піку значно пізніше. Таким чином, вищезазначені дані свідчать про те, що температура більша за 35 °С є граничною для проведення процесу ПАД, а показники підйомної сили досягають оптимального значення вже після 20·60 с.

На другому етапі було проведено дослідження щодо впливу температури та тривалості активації на осмочутливість дріжджів. В технологічній практиці осмочутливість дріжджів показує їх властивість не знижувати свою ферментативну активність у середовищі з підвищеним осмотичним тиском. Різниця у підйомній силі дріжджів залежно від осмотичного тиску середовища виражається в хвилинах та розглядається як непрямий показник стійкості дріжджів. Дріжджі з осмочутливістю (1...10)·60 с вважаються стійкими при зберіганні та характеризуються доброю осмочутливістю, (10...20)·60 с — задовільною, вище 20·60 с — поганою [11]. Авторами даної статті було проведено дослідження по визначенню осмочутливості дріжджів для контрольного зразка та повного ряду модельних зразків; результати експерименту представлено в табл. 5. Розрахунок критерію Фішера наведено в табл. 6.

Таблиця 5 — Результати експерименту по визначенню осмочутливості дріжджів

j	Фактори			$Y_{1;1}$	$Y_{1;2}$	$Y_{1;3}$	$Y_{1;4}$	$Y_{1;5}$	$Y_{1;cp}$
	x_1	x_2	$x_1 x_2$						
1	-1	-1	1	13,9	14,7	14,2	14,5	13,8	14,2
2	+1	-1	-1	9,3	9,5	9,3	9,4	9,4	9,4
3	-1	+1	-1	13,4	12,9	13,8	13,1	13,5	13,3
4	+1	+1	1	9,1	9	9,8	9,1	9,7	9,3
5	-1	0	0	12,7	13,3	13,2	12,8	13,4	13,1
6	+1	0	0	8,7	9,2	8,7	8,9	8,7	8,8
7	0	-1	0	8,1	7,9	8,1	8	8,4	8,1
8	0	+1	0	8,5	8,4	8	8,4	8,6	8,4
9	0	0	0	8,2	8,5	8,1	8,1	8,1	8,2

Таблиця 6 — Розрахунок критерію Фішера

j	Фактори			$Y_{1;cp}$	$\bar{Y}_1$	S_{ad}^2	S_b^2
	x_1	x_2	$x_1 x_2$				
1	-1	-1	1	14,22	14,00	$7,82 \cdot 10^{-3}$	0,0392
2	+1	-1	-1	9,38	9,22	$4,09 \cdot 10^{-3}$	0,001867
3	-1	+1	-1	13,34	13,37	$1,50 \cdot 10^{-4}$	0,0328
4	+1	+1	1	9,34	9,43	$1,35 \cdot 10^{-3}$	0,038133
5	-1	0	0	13,08	13,27	$5,80 \cdot 10^{-3}$	0,025867
6	+1	0	0	8,84	8,91	$7,40 \cdot 10^{-4}$	0,0128
7	0	-1	0	8,10	8,47	$2,32 \cdot 10^{-2}$	0,009333
8	0	+1	0	8,38	8,26	$2,40 \cdot 10^{-3}$	0,013867
9	0	0	0	8,20	7,95	$1,06 \cdot 10^{-2}$	0,008
-	-	-	-	-	-	$5,62 \cdot 10^{-2}$	0,181867
$F = \frac{S_{ad}^2}{S_b^2}$						0,31	

Після перетворень в натуральних змінних поліном має вигляд:

$$Y_2 = 45,90 - 2,14x_1 - 0,24x_2 + 0,002x_1x_2 + 0,03x_1^2 + 0,004x_2^2.$$

Критерій Фішера для отриманої математичної моделі $F=0,31 \leq 4,87$, що свідчить про адекватність отриманої регресії.

Поверхню відгуку осмочутливості дріжджів від температури та тривалості активації наведено на рис. 2. Дані наведені з урахуванням похибки експерименту.

Як можна бачити з рис. 2 підвищення температури вище 35°C погіршує показник осмочутливості дріжджів та наближає їх характеристику до задовільної. З часом обробки показник осмочутливості майже не змінюється, але проведення процесу ПАД тривалістю понад 20·60 с вважається неефективним з точки зору витрат часу.

Таким чином, осмочутливість дріжджів досягає значення, що відповідає порогу максимального розпушення тіста при температурі близько 30°C та тривалістю обробки не більше 20·60 с.

Однак, зважаючи на те, що процес ПАД не використовують при виробництві дріжджового тіста за традиційною технологією, виявляється доцільним рівнятися на осмочутливість дріжджів тіста, виготовленого традиційним способом, тобто контролю. Ступінь осмочутливості дріжджів тіста, виготовленого за традиційною технологією, на 5–8 % гірша за досліджувані зразки.

Таким чином, температура 35°C є граничною для проведення процесу ПАД, а тривалість обробки довша за 20·60 с є недоцільною.

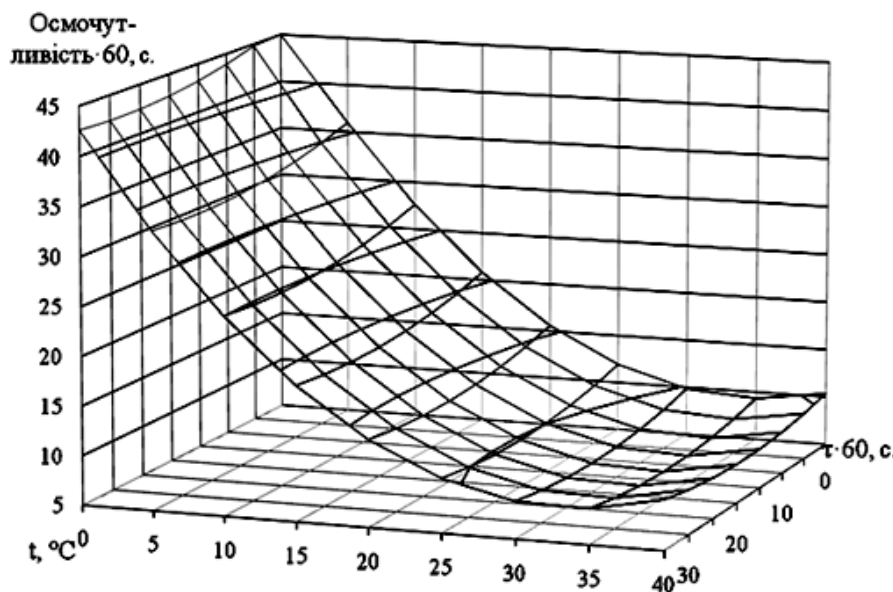


Рисунок 2 — Залежність осмочутливості від температури та тривалості попередньої активації дріжджів

На третьому етапі було проведено дослідження з визначення оптимальних параметрів попередньої активації дріжджів.

З метою математичного обґрунтування оптимальної температури та тривалості ПАД використовували спосіб рішення компромісних задач багатопараметричної оптимізації методом сполучених градієнтів. Для обчислення авторами даної статті була використана надбудова «Пошук рішень» пакету MS Excel.

Метод полягає в обиранні цільової функції, лімітованої до встановленого значення, та описі обмежень з системи рівнянь.

Процес попередньої активації дріжджів залежить від параметрів:

- X_1 — температура, °C;
- X_2 — тривалість активації, t·60 c.

В якості цільової функції обрано підйомну силу, як найбільш важливу функціонально-технологічну властивість дріжджів.

Бажано, щоб підйомна сила була якомога швидшою, тому цільову функцію лімітовано до її мінімально допустимого значення:

$$\lim_{X_1, X_2 \rightarrow 0} Y_1(X_1; X_2) \rightarrow \min. \quad (5)$$

В якості функцій, що характеризують обмеження процесу обробки, прийняли: $Y_2(X_1; X_2)$ — осмочутливість:

$$Y_{21}(X_1; X_2) \leq 10. \quad (6)$$

Всі обмеження обрано таким чином, щоб продукт отриманий по знайдених оптимальних параметрах, що характеризують ефективність ПАД, перевищував контрольний зразок, виготовлений за традиційною технологією.

При розрахунках допущена відносна погрішність $1 \cdot 10^{-6}$, допустиме відхилення 5%. Оптимізацію виконували методом сполучених градієнтів. В ході проведеного розрахунку отримані наступні результати (табл. 7).

Таблиця 7 — Параметри оптимізації

Ім'я	Змінні		Цільова функція	
	X_1	X_2	$Y_2(X_1; X_2)$	
Значення	32,7	18,9	40,7→ min	
	Обмеження			
$Y_1(X_1; X_2) =$		6,130	<=	10

Таким чином, знайдене рішення відповідає всім вимогам. При даних параметрах з допустимим відхиленням 5 %, дріжджовий напівфабрикат має мінімально можливу підйомну силу дріжджів та переважає контроль за всіма параметрами. Оптимальними параметрами ПАД є: температура 30...35 °С; тривалість процесу складає (18...20)·60 с.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено:

1. Підйомна сила досягає значення, що відповідає порогу максимальної розпушеності тіста при параметрах температури близько 30 °С, оптимальна зона тривалості припадає на (17...25)·60 с.
2. Для показників осмочутливості встановлено, що температура 35 °С є граничною для проведення процесу ПАД, а тривалість обробки довша за 20·60 с є недоцільною.
3. Для проведення математичного обґрунтування оптимальної температури та тривалості ПАД використовували спосіб рішення компромісних задач багатопараметричної оптимізації методом сполучених градієнтів. Після проведення математичних обчислювань було знайдено оптимальні параметри процесу ПАД: температура — 30...35 °С; тривалість процесу — (18...20)·60 с.

Список літератури

1. Hammond J. Yeast growth and nutrition. *Brewing Yeast Fermentation Performance*. Oxford, UK: Oxford Brookes University Press, 2000. P. 77–85.
2. Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва. К. : Техніка, 2006. 408 с.
3. Никифоров Р. П., Сабіров О. В. Розробка технології прісного листового напівфабрикату на основі молочної сироватки. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2015. № 3/3 (23). С. 37–41. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.44154>.
4. Лебеденко Т. Е., Каминский А. Я., Щелакова Р. П., Соколова Н. Ю. Современные подходы к выбору способа приготовления пшеничного хлеба. *Пищевая наука и технология*. 2010. № 1 (10). С. 46–52.
5. Півоваров О. А., Миколенко С. Ю., Тищенко Г. П. Мікроструктурні особливості тіста на основі розчинів, підданих дії контактної нерівноважної плазми. *Харчова наука і технологія*. 2012. № 1 (18). С. 67–70.
6. Дробот В. І., Басок Б. І., Ободович М. О., Семенко О. Ю. Спосіб активації пресованих хлібопекарських дріжджів: Пат. 54219 Україна, МПК С 12 N 1/18 ; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій (Україна). № 2002064865; заявл. 13.08.2002; опубл. 17.02.2003, Бюл. № 2. 8 с.
7. Козлова С. Г., Лисюк Г. М., Самохвалова О. В., Гвоздяк Р. І., Воцелко С. К. Спосіб виробництва дріжджового тіста: Пат. 35433 Україна, МПК А 21 D 8/00, 8/02 ; заявник та патентовласник Харківська державна академія технологій та організації харчування (Україна). № 99105595; заявл. 13.10.1999; опубл. 15.03.2001, Бюл. № 2. 3 с.
8. Сафонова О. М., Гавриш Т. В., Перцевий Ф. В., Панченко І. А. Спосіб одержання дріжджового тіста: Пат. 50178 Україна, МПК А 21 D 8/02 ; заявник та патентовласник Сафонова О. М., Гавриш Т. В., Перцевий Ф. В., Панченко І. А. (Україна). № 2001117630; заявл. 08.11.2001; опубл. 15.10.2002, Бюл. № 10. 2 с.
9. Пашенко Л. П. Биотехнологические основы производства хлебобулочных изделий. М. : Колос, 2002. 368 с.
10. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.

References

1. Hammond, J. (2000). Yeast growth and nutrition. *Brewing Yeast Fermentation Performance*. Oxford, UK : Oxford Brookes University Press, p. 77–85.
2. Drobot, V. I. (2006). *Tekhnolohiia khlibopekarskoho vyrobnytstva* [Technology of bakery production]. Kyiv, Tekhnika Publ., 408.
3. Nykyforov, R., Sabirov, O. (2015). *Rozrobka tehnologiyi prisnogo listkovogo napivfabrikatu na osnovi molochnoyi sirovatki* [Process design of unfermented puff semi-finished products based

on milk whey]. *Tehnologichniy audit ta rezervi virobnitstva* [Technology Audit And Production Reserves], 3(3(23)), p. 37–41. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.44154>.

4. Lebedenko, T. E., Kaminskii, A. Ya., Shchelakova, R. P., Sokolova, N. Yu. (2010). *Sovremennye podhody k vyboru sposoba prigotovleniia pshenichnogo hleba* [Modern approaches to choosing a method of making wheat bread]. *Pishchevaia nauka i tehnologii* [Food Science and Technology], no. 1 (10), pp. 46–52.

5. Pivovarov, O. A., Mykolenko, S. Yu., Tyshchenko, H. P. (2012). *Mikrostrukturni osoblyvosti tista na osnovi rozchyniv, pidanykh dii kontaktnoi nerivnovazhnoi plazmy* [Microstructural features of the dough based on solutions exposed to contact nonequilibrium plasma]. *Kharchova nauka i tekhnologii* [Food science and technology], no. 1 (18), pp. 67–70.

6. Drobot, V. I., Basok, B. I., Obodovych, M. O., Semenko, O. Yu.; assignee: National University of Food Technologies (Ukraine). (17.02.2003). *Sposib aktyvatsii presovanykh khlibopekarskykh drizhdzhiv*. Patent of Ukraine № 54219, MPK S 12 N 1/18. Appl. № 2002064865. Filed 13.08.2002. Bull. № 2, 8.

7. Kozlova, S. H., Lysiuk, H. M., Samokhvalova, O. V., Hvozdiak, R. I., Votselko, S. K.; assignee: Kharkiv State Academy of Technology and Organization of Nutrition (Ukraine). (15.03.2001). *Sposib vyrobnytstva drizhdzhovoho tista*. Patent of Ukraine № 35433, MPK A 21 D 8/00, 8/02. Appl. № 99105595. Filed 13.10.1999. Bull. № 2, 3.

8. Safonova, O. M., Havrysh, T. V., Pertsevyi, F. V., Panchenko, I. A. (15.10.2002). *Sposib oderzhannia drizhdzhovoho tista*. Patent of Ukraine № 50178, MPK A 21 D 8/02. Appl. № 2001117630. Filed 08.11.2001. Bull. № 10, 2.

9. Pashchenko, L. P. (2002). *Biotehnologicheskie osnovy proizvodstva hlebobulochnykh izdelii* [Biotechnological bases of bakery products production]. Moscow, Kolos Publ., 368 p.

10. Kobzar, A. I. (2006). *Prikladnaia matematicheskaia statistika. Dlia inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* [Applied mathematical statistics. For engineers and researchers]. Moscow, FIZMATLIT, 816.

Objective. The aim of the study is to show the technological tendencies of the process of pre-activation of the yeast *Saccharomyces cerevisiae*, as a nutrient medium, the addition of dried potatoes is recommended.

Methods. This article presents a mathematical calculation of lift force and osmosensitivity of yeast cells depending on the temperature and duration of the pre-activation of yeast. The main aim of the research was the study of the activation process of yeast (*Saccharomyces cerevisia*) in a medium consisting of water and dry additives derived from by-products of processing potatoes. The investigations have been used model systems of yeast-fermented dough. Design of the experiment was carried out according to an orthogonal symmetrical Box-Behnken design.

From previous studies it was found that the resulting additive improves the performance of enzyme activity, which ultimately promotes intensification of dough formation process.

The results can be used in bakeries to intensify the production process of yeast-fermented dough products.

Results. Installed: lifting reaches a value indicating the largest threshold of sagging dough with a temperature parameter of about 30 °C. The optimal time interval (17...25) (60 seconds; with regard to the permeability sensitivity index, it was found that the temperature of 35 is the limit for starting the process of PAD, and the procedure time of more than 20–60 seconds is not suitable; to implement the mathematical proof of the average temperature and time of the PAD, a method was used to solve the compromise problem of multiparameter optimality of the composite gradient method. After performing algebraic calculations, the average indicators of the PAD process were found: temperature — 30 ... 35 °C; processing time — (18...20) · 60 seconds.

Key words: dry potato additive, pre-activation of the yeast, lift force of the yeast, osmosensitivity.