

DETERMINATION OF KINETIC PARAMETERS FOR PROCESS OF BAKING YEAST GROWING

J. Chorna, V. Trehub

National University of Food Technologies

Key words:

Fermenter
Kinetic model
Kinetic parameters
Form factor
Latent period

Article history:

Received 11.10.2014
Received in revised form
24.10.2014
Accepted 03.11.2014

Corresponding author:

V. Trehub
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article deals with the manufacturing process of baking yeast growing which is happening in fermenters using cyclic technique with constant feeding. Apparatus, in which the processes of interfacial transitions occur, have their own characteristics complicating their optimal management. A kinetic model of a process of bakery yeast growing contains kinetic parameters covering the whole possible range of variation of thermodynamic forces and temporal stages of the development process and considers that the cyclic process can take place both in the presence of an induction period (latency) and in its absence. A method of determining the kinetic parameters is proposed. The regression dependence for the form factor, which depends on the initial parameters of the process and the time constant associated with the parameters that affect the growing speed of the process of baking yeast, has been determined.

ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ВИРОЩУВАННЯ ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ ДРІЖДЖІВ

Ю.О. Чорна, В.Г. Трегуб

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто технологічний процес вирощування хлібопекарських дріжджів, що відбуваються в ферментерах циклічним способом при постійному підживленні. Апарати, в яких відбуваються процеси з міжфазними переходами, мають свої особливості, що ускладнюють їх оптимальне керування. Кінетична модель процесу вирощування хлібопекарських дріжджів містить кінетичні параметри, охоплює весь можливий діапазон зміни термодинамічних сил і часових стадій розвитку процесу та враховує те, що циклічний процес може відбуватися як за наявності періоду індукції (латентного періоду), так і за його відсутності. Запропоновано метод визначення кінетичних параметрів, а також визначено регресійні залежності для форм-фактора, який залежить від початкових параметрів процесу та сталої часу, то пов'язана з параметрами, які впливають на швидкість перебігу процесу вирощування хлібопекарських дріжджів.

Ключові слова: ферментер, кінетична модель, кінетичні параметри, форм-фактор, латентний період.

Вступ. У ряді галузей харчової промисловості основні технологічні процеси проходять в апаратах періодичним способом. До них відноситься і виробництво хлібопекарських дріжджів. При цьому апарати, в яких відбуваються процеси з міжфазними переходами, мають певні особливості, що роблять задачу їх оптимального керування досить складною й актуальною. До того ж перехід до більш ефективних неперервних процесів у цьому випадку неможливий через швидке накопичення побічних продуктів. Іншою особливістю систем управління періодичним процесом є те, що вони повинні вирішувати дві задачі: задачу логічного керування багатостадійним циклом апарата і задачу динамічного, бажано оптимального, керування робочої стадії.

Математична модель такого процесу має логіко-динамічну структуру. Логічна частина моделі описує послідовність перемикань на різних стадіях циклу і фактично є алгоритмом керування апаратом. Динамічна підсистема описує реакцію інерційного об'єкта на керуючі впливи і збурення [1, 2].

Мета дослідження. Визначити кінетичні параметри для апарата вирощування хлібопекарський дріжджів.

Результати і обговорення. Більшість технологічних процесів передбачає утворення і збільшенні нової фази або її введення на початку робочої стації при періодичному режимі. В такому випадку елементом динамічного оператора є кінетична модель процесу. Її особливість полягає в тому, що вона повинна охоплювати весь можливий діапазон зміни термодинамічних сил і часових стадій розвитку процесу та враховувати те, що процес культивування може проходити як за наявності періоду індукції (латентного періоду), так і за його відсутності (рис.1). Таким вимогам відповідає кінетичне рівняння з нелінійною часовою складовою:

$$X = X_M - (X_M - X_{II}) \exp\left[-\left(\frac{\tau}{\theta}\right)^n\right], \quad (1)$$

де X , X_M , X_{II} — величини, що характеризують кількість нової фази відповідно: поточну, максимальну і початкову; n і θ — кінетичні параметри; τ — час.

Рівняння (1) описує всі наведені на рис. 1 кінетичні криві: без латентного періоду (крива 1), з прихованим (крива 2) і явним (крива 3) латентними періодами.

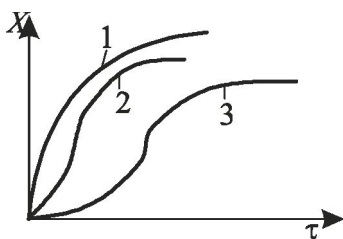


Рис. 1. Кінетичні криві

Константа θ — постійна часу, яка в рівнянні (1) характеризує час, за який $X = 0,632X_M + 0,368X_{II}$. Вплив параметра n можна проаналізувати за допомогою кінетичних кривих (рис. 2), які були побудовані за рівнянням (1) для значень $n = 0,5, 1, 3$.

Як видно з рис. 2, при $n > 1$ кінетичні криві набувають S-подібної форми. При подальшому збільшенні n спостерігається поява спочатку прихованого, а потім явного латентного періоду. Таким чином, при зміні в діапазоні $0 < n < \infty$ рівняння (1) охоплює всі форми кінетичних кривих як з періодом індукції, так і без нього, а форму даних кривих визначає форм-фактор n .

Особливістю динамічної моделі АПД є нелінійність і нестационарність. Кінетична модель (1) має три параметри n , θ і X_M . Постановка задачі визна-

чення параметрів n і θ за результатами експерименту може бути записана таким чином:

$$\Phi(a^*) = \inf_a \Phi(a), \quad (2)$$

де $\Phi(a)$ — функція нев'язки, яка для даного випадку має вигляд:

$$\Phi(a) = \sum_{j=0}^m (X_j^e - X_j^p(X_M, a, \tau_j))^2, \quad (3)$$

де X_j^e , X_j^p — експериментальні та розрахункові значення X в дискретні моменти часу τ_j ; $a = \{n, \theta\}$.

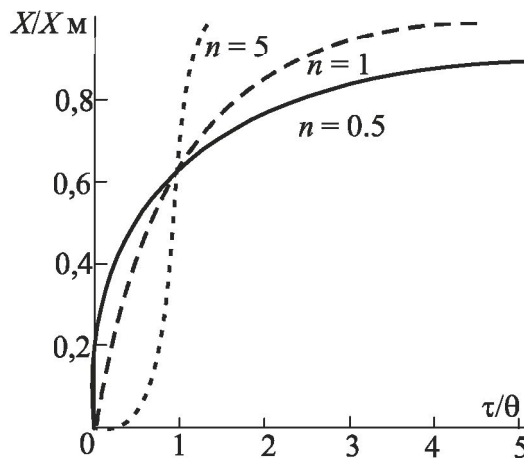


Рис. 2. Залежність X/X_M від τ/θ для $n = 0.5, 1, 5$ за рівнянням (1)

Для вирішення задачі (2) представимо рівняння (1) в такому вигляді:

$$\ln \ln \left(\frac{X_M - X_{II}}{X_M - X} \right) = n (\ln \tau - \ln \theta). \quad (4)$$

Зробимо заміну змінних і параметрів $\chi = \ln \ln \left(\frac{X_M - X_{II}}{X_M - X} \right)$, $\psi = \ln \tau$, $\beta = -n \ln \theta$ і рівняння (4) набуде вигляду:

$$n\psi + \beta - \chi = 0, \quad (5)$$

а функція нев'язки відповідно:

$$\Phi_l(a) = \sum_{j=0}^m \left(\chi_j^e - (n\psi_j + \beta - \chi_j) \right)^2. \quad (6)$$

Враховується, що рівняння (5) лінійне по $a_l = \{n, \beta\}$, задача (2) вирішувалась за допомогою методу найменших квадратів.

Для визначення кінетичних параметрів n і θ циклічного процесу вирощування хлібопекарських дріжджів з постійним підживленням використовується базовий набір експериментальних даних, на основі яких визначалися регресійні рівняння, які ґрунтуються на методі найменших квадратів. Слід відмітити, що моделі узгоджуються з теоретичними уявленнями про процес та адекватно описуються в площині змін параметрів процесу вирощування дріжджів (рис. 3, 4).

Для визначення регресійної залежності для константи n здійснюється аналіз початкових умов перебігу процесу вирощування хлібопекарських дріжджів. Оскільки перебігу меляси в експериментальних даних не змінюється, а кількість аміачної води й ортофосфорної кислоти впливають на значення pH , то відповідна залежність для константи n має такий вигляд:

$$n = f(t, pH, zd) = 0,142441 \cdot zd - 0,00747 \cdot t^2 + 0,114989 \cdot t \cdot pH + 0,021825 \cdot t - 0,43805 \cdot pH^2 \quad (7)$$

де t — температура культурального середовища в діапазоні зміни (25—35 °С);
 pH — pH культурального середовища в діапазоні зміни (3,8—5,5 од. pH);
 zd — концентрація біомаси в діапазоні зміни (4—12 г/л).

Коефіцієнт детермінізації $R^2 = 0,953342$.

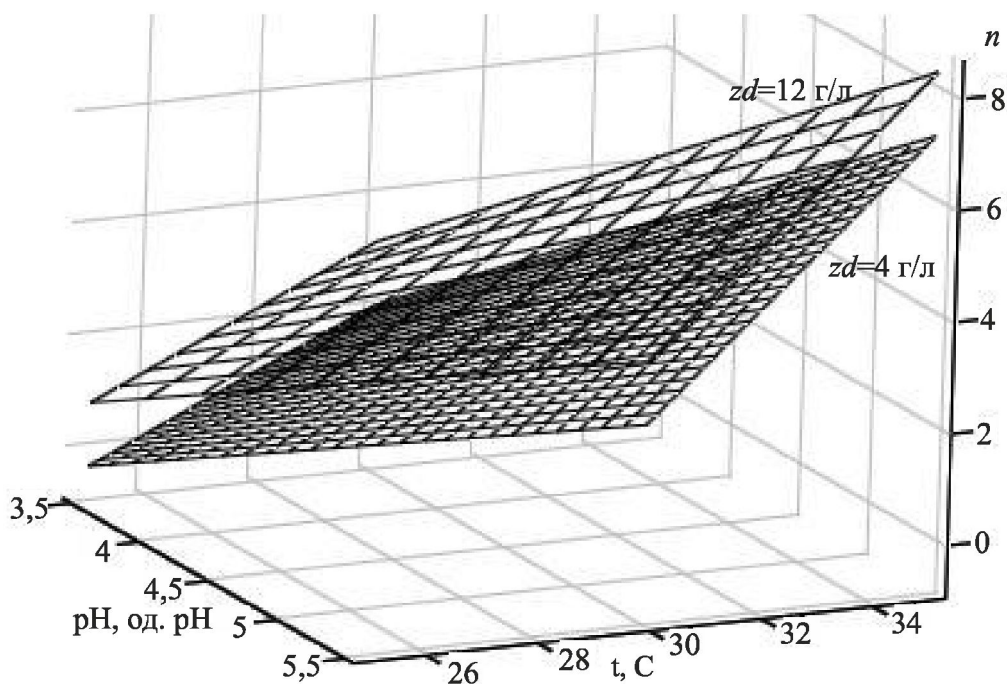


Рис. 3. Залежність форм-фактора n від pH та t

Для визначення регресійної залежності для константи часу θ здійснювався аналіз параметрів процесу, що впливають на швидкість росту біомаси та змінюються від циклу до циклу. Оскільки подача аміачної води й ортофосфорної кислоти впливає на pH середовища і забезпечує азотне та фосфорне живлення мікроорганізмів, концентрація цукрів регулюється подачею меляси, аерація середовища постійна і не змінюється протягом процесу, то для θ регресійна залежність матиме вигляд:

$$\theta = f(pH, Kц) = 0,157869 \cdot pH \cdot Kц - 1,14267 \cdot pH^2 - 0,04056 \cdot Kц + 4,235939 \cdot pH - 0,01014 \cdot Kц^2 \quad (8)$$

де pH — pH культурального середовища в діапазоні зміни (3,8—5,5 од. pH);
 $Kц$ — концентрація цукрів в мелясі в діапазоні зміни (43—46,6 %).

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,981$.

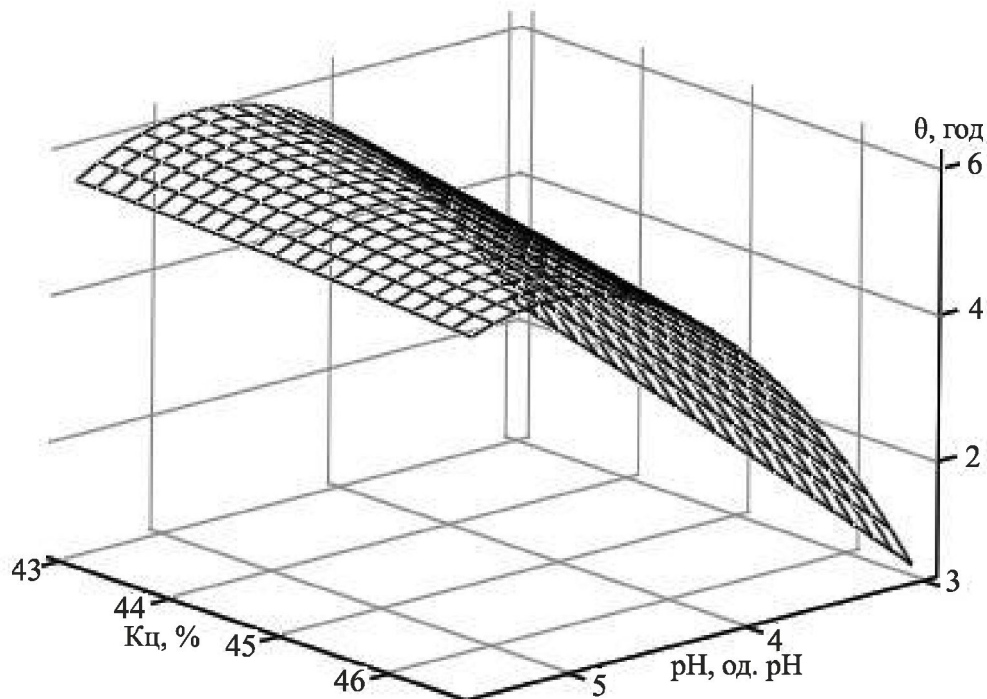


Рис. 4. Залежність θ від рН та Кц

Висновки

Отже, константа або форм-фактор n , який визначає форму кінетичної кривої та наявність або відсутність латентного періоду, залежить насамперед від змінних стану, що характеризують початкові умови процесу міжфазного переходу. Константа або постійна часу θ визначається інтенсивністю процесів вирощування та залежить від параметрів процесу, що впливають на швидкість накопичення біомаси мікроорганізмів. Дані параметри використовуються для оптимального керування циклічним процесом вирощування хлібопекарських дріжджів з постійним підживленням.

Література

1. Трегуб В.Г. Оптимальне керування періодичними процесами з міжфазними переходами [Текст] / В.Г. Трегуб, Ю.О. Чорна // Східноєвропейський журнал передових технологій. — 2010. — № 6/4 (48). — С. 10—12.
2. Трегуб В.Г. Автоматизоване управління апаратами періодичної дії на харчових підприємствах [Текст] / В.Г. Трегуб // Наукові праці НУХТ. — 2005. — № 16. — С. 143—145.
3. Плевако Е.А. Технология дрожжей [Текст] / Е.А. Плевако. — М.: «Пищевая промышленность», 1970. — 300 с.
4. Гачок В.П. Кинетика биохимических процессов [Текст] / В.П. Гачок. — К.: Наукова думка, 1988. — 224 с.
5. Габрин К.Э. Основы имитационного моделирования в экономике и управлении [Текст] / К.Э. Габрин, Е.А. Козлова. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. — 108 с.

6. Ладанюк А.П. Іноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу [Текст] монографія / А.П. Ладанюк, В.М. Решетюк, В.Д. Кишенько та ін. — К.: «Центр учбової літератури», 2014. — 280 с.

7. Радченко С.Г. Методология регрессионного анализа [Текст] монографія / С.Г. Радченко. — К.: «Корнийчук», 2011. — 376 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПРОЦЕССА ВЫРАЩИВАНИЯ ХЛЕБОПЕКАРСКИХ ДРОЖЖЕЙ

Ю.А. Черная, В.Г. Трегуб

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассматривается технологический процесс выращивания хлебопекарных дрожжей, что происходит в ферментерах циклическим способом при постоянной подпитке. Аппараты, в которых протекают процессы с междуфазными переходами, имеют свои особенности, затрудняющие их оптимальное управление. Кинетическая модель процесса выращивания хлебопекарных дрожжей содержит кинетические параметры, охватывает весь возможный диапазон изменения термодинамических сил и временных стадий развития процесса и учитывает, что циклический процесс может проходить как при наличии периода индукции (латентного периода), так и при его отсутствии. Предложен метод определения кинетических параметров, а также определены регрессионные зависимости для форм-фактора, который зависит от начальных параметров процесса и постоянной времени, связанной с параметрами, влияющими на скорость прохождения процесса выращивания хлебопекарных дрожжей.

Ключевые слова: ферментер, кинетическая модель, кинетические параметры, форм-фактор, латентный период.