

Висновок

Описано модель динаміки процесів бродіння побутових відходів. Реалізовано алгоритм параметричної ідентифікації даної моделі. В алгоритмі використано методи випадкового пошуку і критерій забезпечення заданого коридору прогнозування, що визначається з похибок спостережень за вихідними змінними. Ідентифікована модель дозволяє прогнозувати концентрації біогазу та відбродженого субстрату, що має значну практичну цінність.

Список використаних джерел

1. Krylow M. Kinetics of Subsequent Phases of the Anaerobic Processes // Proceedings of a Polish-Swedish seminar. – 2003. – P. 29-37.
2. Andrés-Toro B. Multiobjective optimization and multivariable control of the beer fermentation process with the use of evolutionary algorithms / B. de Andrés-Toro, J. M. Girón-Sierra, P. Fernández-Blanco, J. A. López-Orozco, E. Besada-Portas // Journal of Zhejiang University Science. – 2004. – № 5 (4). – P. 378–389.
3. Дивак М.П. Інтервальні дискретні динамічні моделі виробництва біогазу з побутових органічних відходів / М. П. Дивак, А. В. Пукас, Є. О. Марценюк // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України : Спеціальний випуск. – Київ, 2010. – С. 179–184.
4. Марценюк Є. О. Ідентифікація дискретних динамічних моделей процесів з інтервальною невизначеністю у біогазових установках переробки органічного сміття / Є. О. Марценюк, М. П. Дивак, Ю. Р. Піговський, Т. М. Дивак // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія „Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – 2010. – Вип. 11 (164). – С. 181–188.
5. Дивак М.П. Моделювання лінійних динамічних систем із заданою структурою вимірювання методами аналізу інтервальних даних / Дивак М.П., Пукас А.В., Марценюк Є.О., Войтюк І.Ф. // Моделювання та керування станом еколого-економічних систем регіону. Збірник праць. – Київ: МННЦ ІТС. – 2008. – С. 79-91.

УДК 631.461

МОДЕЛЮВАННЯ ВИНОРОБНОГО БРОДІННЯ З ДВОМА КУЛЬТУРАМИ МІКРООРГАНІЗМІВ

Марценюк Є.О.¹⁾, Піговський Ю.Р.²⁾, Тюрін В.О.³⁾
Тернопільський національний економічний університет, к.т.н.,
¹⁾ к.т.н., доцент; ²⁾ к.т.н., доцент; ³⁾ магістр

І. Постановка проблеми

При бродінні вина використовуються культури мікроорганізмів виду “*Saccharomyces cerevisiae*”, які надалі називатимемо культурами *A*. Поряд з ними у вині можуть розвиватися дикі культури мікроорганізмів “*Brettanomyces*”, які називатимемо культурами *B*. В умовах інтенсивного розвитку останніх може відбутися зіпсуття вина.

Зменшення ризику зіпсуття вина культурами *B* здійснюється внесенням деякої кількості етилового спирту на початку процесу бродіння. Модель [1] у формі задачі Коші для системи звичайних диференціальних рівнянь можна розвинути на випадок культивування двох культур мікроорганізмів – *A* і *B* таким чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} X'_A(t) = \gamma(t - \lambda_A(P_0))(A_1(P_0)H_G[S(t), P(t)] - A_2(P_0))X_A(t), \\ X'_B(t) = \gamma(t - \lambda_B(P_0))(B_1(P_0)H_G[S(t), P(t)] - B_2(P_0))X_B(t), \\ S'(t) = -\gamma(t - \lambda_A(P_0))A_3(P_0)\frac{S(t)}{A_4 + S(t)}X_A(t) - \\ \quad -\gamma(t - \lambda_B(P_0))B_3(P_0)\frac{S(t)}{B_4 + S(t)}X_B(t), \\ P'(t) = A_7[\gamma(t - \lambda_A(P_0))A_3(P_0)\frac{S(t)}{A_4 + S(t)}X_A(t) + \\ \quad + \gamma(t - \lambda_B(P_0))B_3(P_0)\frac{S(t)}{B_4 + S(t)}X_B(t)]\frac{S_0 - 2P(t)}{S_0}, \end{array} \right. \quad (1)$$

з початковою умовою

$$X_A(0) = X_{A,0}, X_B(0) = X_{B,0}, S(0) = S_0, P(0) = P_0, \quad (2)$$

де $X_A(t)$, $X_B(t)$ – концентрації культур мікроорганізмів А та В, відповідно, в час t ; $\gamma(t)$ – функція Хевісайда; $\lambda_A(P_0)$, $\lambda_B(P_0)$ – тривалість лаг-фаз для культур А та В, відповідно, в залежності від початкової концентрації етилового спирту P_0 ; $H_G[S(t), P(t)]$ – функція, що моделює процес інгібування росту мікроорганізмів внаслідок дії етилового спирту; $A_1(P_0)$, $A_2(P_0)$, $A_3(P_0)$ – коефіцієнти розвитку культур А, що залежать від початкової концентрації етилового спирту P_0 , A_4 – коефіцієнт розвитку культур А, що не залежить від початкової концентрації етилового спирту; $B_1(P_0)$, $B_2(P_0)$, $B_3(P_0)$ – коефіцієнти розвитку культур В, що залежать від початкової концентрації етилового спирту P_0 , B_4 – коефіцієнт розвитку культур В, що не залежить від початкової концентрації етилового спирту; $S(t)$, $P(t)$ – концентрація субстрату і етилового спирту в час t .

Тривалості лаг-фаз $\lambda_A(P_0)$, $\lambda_B(P_0)$ в залежності від початкової концентрації етилового спирту P_0 записують такі функціями [2]

$$\lambda_A(P_0) = \lambda_{0,A} \left(1 - \frac{P_0}{P^*}\right)^{n_A}, \quad \lambda_B(P_0) = \lambda_{0,B} \left(1 - \frac{P_0}{P^*}\right)^{n_B}, \quad (3)$$

де $\lambda_{0,A}$, $\lambda_{0,B}$ – тривалості лаг-фази при відсутності етилового спирту у годинах, n_A , n_B – константи, P^* – критична концентрація етилового спирту в грамах на літр, при якій повністю припиняється розвиток мікроорганізмів. В [2] повідомляються наступні значення коефіцієнтів моделі (3) для культури “*Brettanomyces*”: $n_B = -1$, $\lambda_{0,B} = 4.1$ годин, а $P^* = 91$ грам на літр.

Експериментальні дослідження, проведені в [1] показують значну мінливість коефіцієнтів моделі A_1, A_2, A_3 при різних значеннях початкової концентрації етилового спирту P_0 . Звідки впливає проблема параметричної ідентифікації моделі (1)–(2).

II. Мета роботи

Метою роботи є ідентифікація моделі двох культур мікроорганізмів, що враховує присутність етилового спирту у відомому діапазоні концентрації на початку процесу.

III. Ідентифікація моделі з двома культурами мікроорганізмів

Користуючись структурою моделі [1] можна побудувати оцінки коефіцієнтів A_1, A_2, A_3 та B_1, B_2, B_3 , що є адекватними і достатньо точними для широкого діапазону значень початкової концентрації P_0 :

$$A_1(P_0) = a_0 + \exp(a_1 + a_2 P_0), \quad A_2(P_0) = \exp(a_3 + a_4 P_0) \quad (4)$$

$$A_3(P_0) = \begin{cases} \exp(a_5 + a_6 P_0 + a_7 P_0^2), & P_{\min} \leq P_0 \leq P_{\Lambda_1}, \\ \exp(a_8 + a_9 P_0 + a_{10} P_0^2), & P_{\Lambda_1} < P_0 \leq P_{\Lambda_2}, \\ \exp(a_{11} + a_{12} P_0 + a_{13} P_0^2), & P_0 > P_{\Lambda_2}, \end{cases} \quad (5)$$

де $P_{\min} < P_{\Lambda_1} < P_{\Lambda_2}$ – межові значення концентрації етилового спирту, при нагромадженню базу експериментальних спостережень.

У наступному слід дослідити проблему ідентифікації параметрів a_0, a_1, \dots, a_{13} в умовах неповної спостережуваності змінних стану системи (1). Спостережуваними будуть лише частина траєкторії змінної стану концентрації етилового спирту $P(t)$ та її початкове значення P_0 .

Процедура ідентифікації параметрів a_0, a_1, \dots, a_{13} ґрунтується на розробленому в [1, 3, 4] методі ідентифікації автономних систем Моно з неспостережуваною змінною стану. Ці підходи включають спеціальну процедуру початкового оцінювання модельних параметрів автономної системи, метод дзеркального відображення від’ємних значень коефіцієнтів для врахування природних обмежень на їх значення, спеціальну функцію мети, а також схеми розбиття загальної задачі ідентифікації на послідовність підзадач з меншою розмірністю. Також для пришвидшення процедури ідентифікації використано метод розподілу часової ділянки розв’язання задачі Коші (1)–(2) на стійку і нестійку області [5].

Висновок

Побудовано математичну модель динаміки росту двох культур мікроорганізмів. Структура моделі базується на працях [Medawar W., 2003] та [Пасічник Р., 2008]. Параметрична ідентифікація моделі здійснюватиметься методами початкового оцінювання модельних параметрів автономної системи, дзеркального відображення від'ємних значень коефіцієнтів для врахування природніх обмежень на їх значення, функції мети, а також схеми розбиття загальної задачі ідентифікації на послідовність підзадач з меншою розмірністю. Ідентифікована модель дозволить прогнозувати динаміку процесів бродіння з різними початковими концентраціями етилового спирту, моделями похибки і спостережуваності.

Список використаних джерел

1. Пасічник Р. М. Ідентифікація системи Моно-Ієрусалимського з керованим зворотнім зв'язком / Р. М. Пасічник, Ю. Р. Піговський // Комп'ютинг. – 2008. – Т. 7, Вип. 1. – С. 146-152.
2. Medawar W. Yeast growth: lag phase modelling in alcoholic media / W. Medawar, P. Strehaiano, M. -L. Délia // Journal on Food Microbiology (Elsevier Science Ltd.). – 2003. – № 20. – Р. 527-532.
3. Дивак М.П. Інтервальні дискретні динамічні моделі виробництва біогазу з побутових органічних відходів / М. П. Дивак, А. В. Пукас, Є. О. Марценюк // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України : Спеціальний випуск. – Київ, 2010. – С. 179-184.
4. 6. Марценюк Є. О. Ідентифікація дискретних динамічних моделей процесів з інтервальною невизначеністю у біогазових установках переробки органічного сміття / Є. О. Марценюк, М. П. Дивак, Ю. Р. Піговський, Т. М. Дивак // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія „Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – 2010. – Вип. 11 (164). – С. 181-188.
5. Пасічник Р.М. Ідентифікація жорстких нелінійних моделей хіміко-технологічних систем / Р.М.Пасічник, Ю.Р.Піговський // Науково-технічний журнал Інституту проблем реєстрації інформації НАН України “Реєстрація, зберігання і обробка даних”, 2010, Т. 12, № 1. – С. 12-22.

УДК 519.876.5

МЕТОД СИНТЕЗУ КОНФІГУРАЦІЇ ОЦІНОК ОБЛАСТІ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛЕЙ

Мелех О.П.

Тернопільський національний економічний університет, магістр

І. Постановка проблеми

При побудові математичних моделей статичних систем однією з важливих задач є задача параметричної ідентифікації моделі. Для задач в яких вихідні характеристики задані у вигляді

$$\bar{x}_i [y_i^-, y_i^+], \quad i=1, \dots, N.$$

Вважають, що в довільному i -му спостереженні істинне значення виходу $y_0(\bar{x}_i)$ належить інтервалу $[y_i^-, y_i^+]$, тобто $y_i^- \leq y_0(\bar{x}_i) \leq y_i^+$. При параметричній ідентифікації моделей припускають, що структура моделі „вхід – вихід” задана у вигляді лінійного відносно параметрів рівняння

$$y_0(\bar{x}) = \beta_1 \cdot \varphi_1(\bar{x}) + \dots + \beta_m \cdot \varphi_m(\bar{x}),$$

де $y_0(\bar{x})$ – істинне невідоме значення вихідної змінної; $\bar{x} \in R^m$ – вектор вхідних змінних; $\vec{\varphi}^T(\bar{x})$ – відомий вектор базисних функцій; $\vec{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_m)^T$ – невідомий вектор параметрів моделі.

Тоді для побудови моделі потрібно розв'язати інтервальну систему лінійних алгебричних рівнянь такого виду [1]:

$$y_i^- \leq b_1 \varphi_1(\bar{x}_i) + \dots + b_m \varphi_m(\bar{x}_i) \leq y_i^+, \quad i=1, \dots, N. \quad (1)$$

У випадку, коли кількість параметрів моделі (b_1, b_2, \dots, b_m) менша за кількість рівнянь системи (1), тобто $m < N$, або що кількість параметрів моделі менша за кількість вихідних характеристик системи, що характерно для більшості систем, наприклад, для задач синтезу допусків на параметри елементів радіоелектронних кіл, задач визначення допусків області хірургічного втручання при проведенні операцій на щитоподібній залозі [2]. Визначення області параметрів моделі яка описується системою (1) є складною задачею, оскільки ця область є опуклим многогранником Ω [3]. Тому використовують оцінки області параметрів менш складними фігурами, інформацію про які простіше зберігати та використовувати.