

ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДЛЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ОБ'ЄКТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ НЕПЕРЕРВНОГО ТИПУ

Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Луцька Н.М.

В технологічних комплексах неперервного типу (наприклад цукрових, спиртових та ін. заводів) функціонують технологічні агрегати, які є нестационарними, нелінійними, характеризуються невизначеністю параметрів, тому застосування традиційних одноконтурних систем регулювання не дають бажаного ефекту. Такі агрегати є також багатозв'язними та багатовимірними об'єктами, що потребує нових підходів до ефективного керування ними та узгодження їх роботи з іншими агрегатами та підсистемами в складі технологічних комплексів неперервного типу.

В сучасній теорії керування для синтезу та дослідження багатовимірних систем керування використовуються методи адаптивного, робастного управління, які останнім часом доповнюються методами H_2 - та H_∞ - оптимізації. Для конкретного технологічного об'єкта оцінка доцільності застосування адаптивних систем передбачає виконання таких процедур: аналіз функціонування, оцінка нестационарності, розробка структури системи керування, дослідження ефективності керування.

В статті розглядається нахилена дифузійна установка (ДУ) цукрового заводу, що характеризується несприятливими властивостями як об'єкт керування і в той же час ДУ є одним з основних об'єктів, де формуються техніко-економічні показники роботи комплексу. Основними параметрами, які визначають економічну ефективність процесу екстракції цукру з цукрової стружки, є вміст цукру у дифузійному соці та втрати цукру в жомі, що підтримуються за рахунок необхідного температурного та гідродинамічного режимів.

Типова схема системи автоматизації ДУ передбачає [1]: стабілізацію питомого навантаження апарата, стабілізацію концентрації дифузійного соку, стабілізацію температурних режимів по зонах дифузійного апарата, стабілізацію рівня у головній частині апарата, вимірювання витрати стружки, дифузійного соку, жомової та сульфітованої води, рН суміші стружки та води.

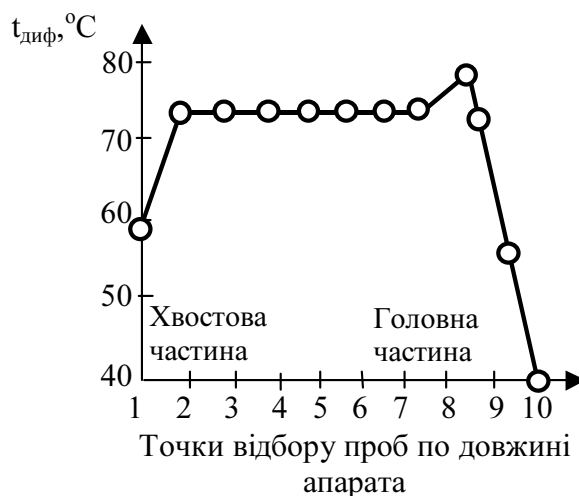


Рис. 1. Залежність коефіцієнта дифузії сахарози від температури в тканинах цукрового буряку.

На процес екстрагування впливають: температурні режими по зонах апарата (по його довжині), якість бурякової стружки, рН середовища в апараті, співвідношення витрат

стружки та води, якість живильної води, час перебування стружки в апараті. Так коефіцієнт дифузії сахарози в тканинах буряку визначається залежністю [2] :

$$D = (1.89 \cdot 10^{-8} R_{екв}^2 t^{2.9}) / \tau^{0.54}, \quad (1)$$

де $R_{екв}$ – еквівалентний радіус стружки, м; t – температура активної дифузії, °С; τ - тривалість процесу, с.

На рис.1 показано вплив температури на коефіцієнт дифузії в тканинах буряку, звідки видно, що зі зростанням температури коефіцієнт дифузії збільшується, але збільшення температури до 80 °С призводить до перегрівання стружки, при цьому стружка втрачає пружність та можливе її злипання.

Таким чином, для отримання дифузійного соку з необхідними технологічними якостями необхідно швидко нагріти стружку до температури денатурації білків та підтримувати температуру активної екстракції в інтервалі 72...75 °С. Приблизний температурний режим обезцукрювання бурякової стружки в нахиленому шнековому дифузійному апараті приведено на рис.2. [2]. Отже, підтримання заданого температурного режиму по зонах нахиленої дифузійної установки являється одним з основних завдань при розробці автоматизованої системи управління ДУ.

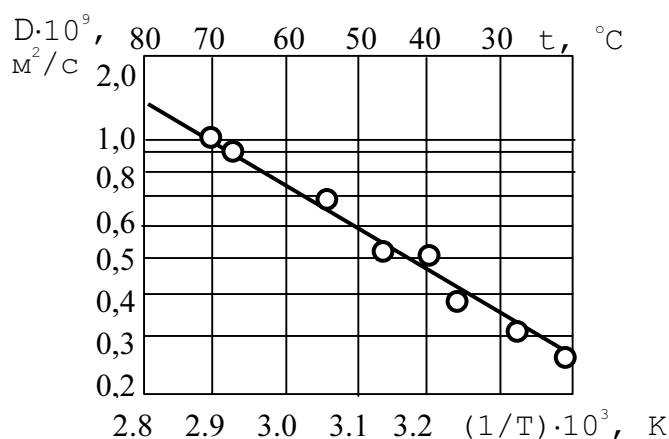


Рис.2. Приблизний температурний режим в нахиленому дифузійному апараті.

Існуючі системи автоматизації виділених підсистем не забезпечують необхідної якості соку на виході ДУ, а недостатня точність підтримання технологічного режиму призводить до збільшення витрати енергоносіїв та втрат цукру в жомі. В нахилений ДУ регулюється кілька значень температури в різних зонах, причому ці технологічні змінні зв'язані між собою. Як правило, на підприємствах підтримання заданого температурного режиму здійснюється локальними регуляторами типу П та ПІ, але за рахунок зв'язності температур в різних зонах регулювання кожної з них окремо приводить до відхилень інших. Таким чином в загальному випадку на основі якісних та деяких кількісних показників можна зробити висновок про доцільність застосування адаптивних систем.

Математична модель теплообмінної частини ДУ, що отримана на основі теплових балансів, приведена до виду (машинний час $t=100\tau$, де τ , с)

$$\left\{ \begin{array}{l} 1.157 \frac{d\Delta\theta_1}{dt} + \Delta\theta_1 = 0.43\Delta\theta_c + 0.54\Delta\theta_2 + 0.03\Delta\theta_{n1} - 0.27\Delta G_c + 0.15\Delta G_{dc}; \\ 1.169 \frac{d\Delta\theta_2}{dt} + \Delta\theta_2 = 0.43\Delta\theta_1 + 0.54\Delta\theta_3 + 0.03\Delta\theta_{n2} - 0.14\Delta G_c + 0.04\Delta G_{dc}; \\ 1.181 \frac{d\Delta\theta_3}{dt} + \Delta\theta_3 = 0.43\Delta\theta_2 + 0.54\Delta\theta_4 + 0.03\Delta\theta_{n3} - 0.04\Delta G_c + 0.03\Delta G_{dc}; \\ 1.193 \frac{d\Delta\theta_4}{dt} + \Delta\theta_4 = 0.43\Delta\theta_3 + 0.33\Delta\theta_6 + 0.03\Delta\theta_{n4} + 0.21\Delta\theta_{жс} + 0.92(\Delta G_6 + \\ \quad + \Delta G_{жс}) - 0.87\Delta G_{dc} + 0.09\Delta G_c; \\ 0.0887 \frac{d\Delta\theta_{n1}}{dt} + \Delta\theta_{n1} = \Delta\theta_1 + 279.91\Delta G_{n1}; \\ 0.0393 \frac{d\Delta\theta_{n2}}{dt} + \Delta\theta_{n2} = \Delta\theta_2 + 288.9\Delta G_{n2}; \\ 0.0489 \frac{d\Delta\theta_{n3}}{dt} + \Delta\theta_{n3} = \Delta\theta_3 + 286.5\Delta G_{n3}; \\ 0.0715 \frac{d\Delta\theta_{n4}}{dt} + \Delta\theta_{n4} = \Delta\theta_4 + 282.3\Delta G_{n4}; \end{array} \right. \quad (2)$$

де $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4, \Delta\theta_{n1}, \Delta\theta_{n2}, \Delta\theta_{n3}, \Delta\theta_{n4}$ - координати стану об'єкта, що складаються з температур сокостружкової суміші та пари в парових камерах по відповідних зонах апарату; $\Delta G_{n1}, \Delta G_{n2}, \Delta G_{n3}, \Delta G_{n4}$ - управління, що складається з витрати пари по відповідних зонах апарату; $\Delta\theta_c, \Delta G_c, \Delta G_{dc}, \Delta\theta_6, \Delta\theta_{жс}, \Delta G_{жсв}$ - збурення, де $\Delta G_c, \Delta G_{dc}, \Delta G_6, \Delta G_{жс}$ - витрати відповідно стружки, дифузійного соку, барометричної та жомопресової води ($\Delta G_{жсв} = \Delta G_6 + \Delta G_{жс}$), $\Delta\theta_c, \Delta\theta_6, \Delta\theta_{жс}$ - температури стружки на вході в дифузійний апарат, барометричної та жомопресової води відповідно.

В процесі функціонування об'єкта його параметри змінюються в досить широкому діапазоні, що суттєво впливає на зміну постійних часу та коефіцієнтів передачі об'єкта:

$$- T_i = \frac{MLH_i\rho_i c_i}{kF + G_c^{ij}C_c^{ij} + G_{dc}^{ij}C_{dc}^{ij}}, \text{ де } M, H_i, L, \rho, c_i - \text{ширина, рівень, довжина, густина та}$$

теплоємність сокостружкової суміші відповідно; k, F - коефіцієнт теплопередачі та площа нагріву парової рубашки, $G_c^{ij}, G_{dc}^{ij}, C_c^{ij}, C_{dc}^{ij}$ - витрата та теплоємність бурякової стружки, дифузійного соку з i -ої в j -ту зону відповідно

$$- T_{ni} = \frac{Vc_{ni}}{kF}, \text{ де } V, c_{ni} - \text{об'єм однієї парової рубашки та теплоємність пари в } i\text{-ій}$$

зоні відповідно.

$$- k_{Ui} = \frac{r_i}{kF}, \text{ де } r_i - \text{теплота пароутворення в } i\text{-ій зоні ДУ.}$$

Таким чином у вирази для постійних часу та коефіцієнтів передачі об'єкта входить коефіцієнт теплопередачі k , який в процесі роботи змінюється в 1,5 – 3 рази, що приводить до необхідності застосування адаптивних систем. Необхідно побудувати оптимальний адаптивний регулятор для виділеного об'єкта, що забезпечує підтримання температур по зонам ДУ $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4$ згідно з оптимальним режимом та зменшення витрат енергоносіїв в умовах змінюваних параметрів об'єкта.

В среде Matlab было построено математическую модель диффузионной установки та проведено серию экспериментов с адаптивным регулятором из эталонной моделью при незначительных параметрах объекта. Основным возмущением температуры по зонах диффузионного аппарата является начальная температура стружки $\Delta\theta_c$, другими возмущениями являются выработка стружки ΔG_c та диффузионного соку ΔG_{dc} . В качестве эталонной модели объекта используется математическая модель диффузионной установки с номинальными расчетными значениями параметров. Как адаптивный алгоритм используем зависимость $k_p \cdot k_{OY} \cdot r = const$, где r - выход управляющего устройства адаптации в адаптивном регуляторе. Оптимальные значения температурного режима по зонам наклонной диффузионной установки в эталонной модели и объекте постоянно сравниваются и в случае возникновения сигнала рассогношения, он используется для изменения характеристик системы в необходимом направлении.

Проведено статистический анализ технологических изменений та сделано заключение что все изменения, в том числе возмущения, являются случайными процессами та не существуют детерминированных возмущений, поэтому при моделировании возмущений использовался генератор случайных чисел, которые распределены по нормальному закону в заданном диапазоне.

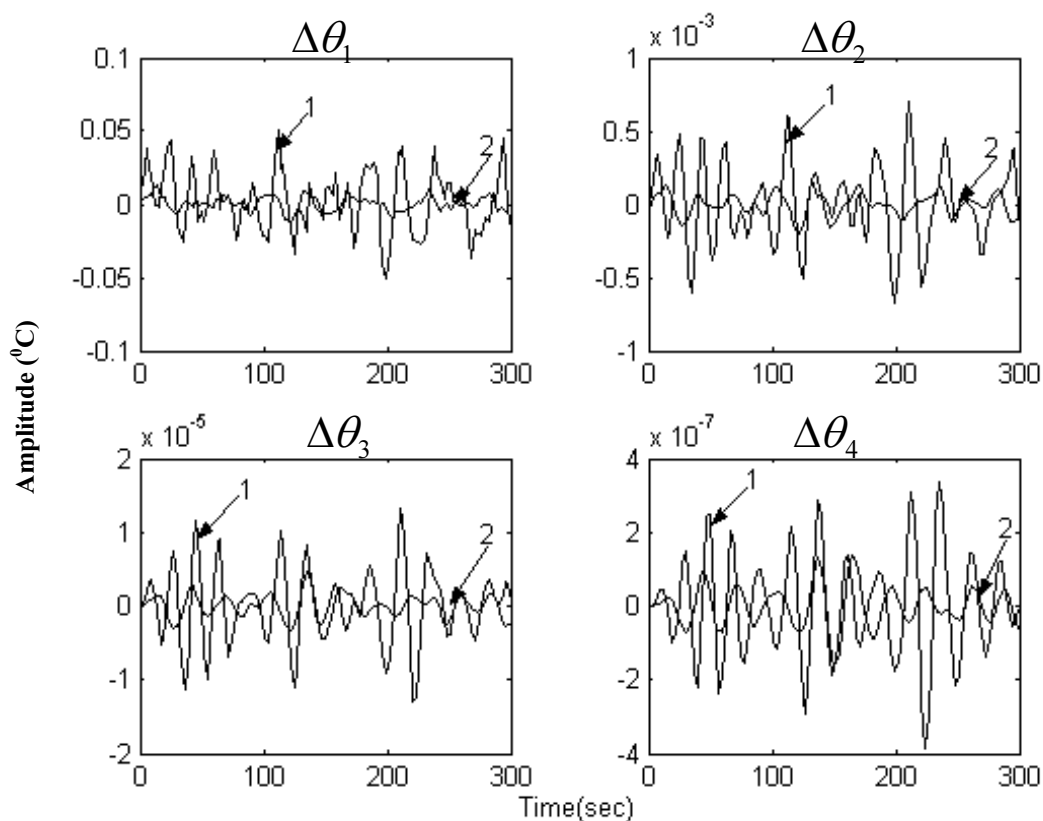


Рис.3. Перехідні процеси при дії основного збурення з використанням ПІ (1) та адаптивного (2) регуляторів.

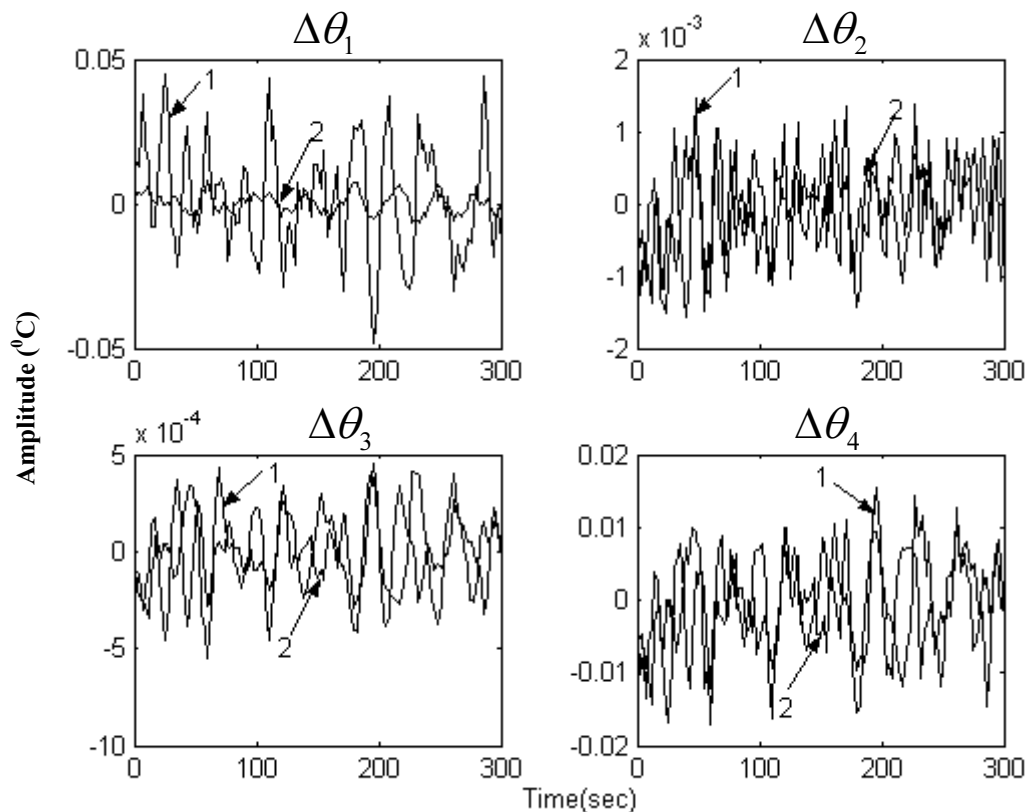


Рис.4. Перехідні процеси при дії всіх збурень з використанням ПІ (1) та адаптивного (2) регуляторів.

Як видно з графіків (рис.3, 4) використання адаптивного регулятора значно зменшує частоту та амплітуду коливань вихідного сигналу, а інтегрально-квадратичний критерій зменшується з величини 0.1212 до 0.0074.

Для підвищення якості процесів регулювання необхідно враховувати, що адаптивні системи функціонують ефективно, коли вони призначені для компенсації параметричних збурень, а коли одночасно діють і координатні збурення, вони працюють незадовільно. Цю проблему буде розглянуто в подальшому шляхом застосування до об'єкта адаптивних та робастних систем.

In the given activity the necessity of application of adaptive regulators for non-steady objects of a food-processing industry on an example of the inclined diffusive vehicle is esteemed. Is built mathematical model of the diffusive vehicle and is executed a series of experiments with the adaptive regulator with a standard model at acritical parameters of object and the efficiency of its application is demonstrated.

1. Автоматизация технологических процессов и производств пищевой промышленности: Учебник / Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперин И.В., Цюцюра В.Д. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 224с.
2. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. – М.: Колос, 1998. – 495с.: ил. – (Учебник и учеб. пособие для студентов высших учебных заведений).