



**ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

which adequately describes dynamics of channels of regulating. She allows to formalize basic singularities of process as control plant, purposefully and effectively to transform the formulated conceptual approaches to working out SAC in robust quasi optimum algorithms of control of process. In the long term its application will allow to raise functional integrity of system, completing on this model complicated algorithms of new functions of control.

4. Variants of cross and cascade structures of subsystems of automatic control of a temperature condition of thermal handling of raw materials with several interdependent heating zones alternative to traditional structure are developed. The possibility of a choice an operator-technologist concrete of variants will allow to have to it an additional resource of the accented quality management extrudate in constantly varying conditions.
5. It is developed a subsystem of guaranteeing control by loading drive the electric engine of extruder which comprises in cascade included contours regulating by its current of loading and a thermal condition. Such system ensures high dynamic accuracy stabilization of a thermal condition of the electric motor at level of boundary admissible value, guarantees avoidance of its emergency cut-off by a thermal guard, and, eventually, ensures minimization of specific power inputs on process conducting extrudating.
6. Necessity is revealed, and the algorithm of control by a loading current drive the electric engine of extruder in a raise direction robustness of this subsystem is improved at preservation of its dynamic accuracy. Such refinement is spent on the basis of principles of forecasting of free movement of a contour for delay forward and has allowed to ensure stability SAC at a modification of conditions of conducting process extrudating in a wide range.
7. Laboratory and industrial trials of the model sample developed SAC are conducted have confirmed its efficiency and, thereby, practical value of the scientific outcomes received in work.

УДК (66.046:637.52)

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕГУЛЯТОРА ЗІ ШТУЧНО - НЕЙРОННО МЕРЕЖЕВИМ РЕГУЛЯТОРОМ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ТЕРМІСНОЇ ОБРОБКИ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ

Терлецький С.М.

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Анотація: Процес термічної обробки м'ясних виробів на підприємствах м'ясопереробної промисловості є кінцевим енерговитратним етапом та багато в чому визначає якість та собівартість готового продукту. Для дослідження шляхів підвищення ефективності управління термічною обробкою м'ясних виробів був використаний метод цифрового імітаційного моделювання, зокрема, була розроблена модель об'єкту управління, що враховує статичні та динамічні характеристики реального об'єкту. Були також отримані формалізовані моделі виконавчих механізмів та регулюючих органів.

Abstract: Process of thermal processing of meat products at the enterprises of the meat processing industry is final stage and much in what defines quality and the cost price of a ready product. For research of ways to increase the management efficiency by thermal processing of meat products the method of digital imitating modeling has been used the model of object of management which considers static and dynamic characteristics of real object, in particular, has been developed. Also the formalized models of executive mechanisms and regulating bodies have been received.

Ключові слова: імітаційне моделювання, нейронна мережа, моделювання.

Термічна обробка, в нашому випадку, представляє собою технологічний процес варіння та обжарювання котлетних виробів за допомогою машини для термічної обробки м'ясних напівфабрикатів. Режим термічної



**ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

обробки вибирається в залежності від виду продукції, що обробляється та має забезпечувати: знищення вегетативних форм мікрофлори у м'ясних напівфабрикатах, в тому числі патогенних; досягнення необхідного кольору та органолептичних показників готового продукту. Ефект термічної обробки залежить від температури та тривалості обробки.

Технологічний процес відбувається наступним чином. Сировина переміщується у просторі термокамери за допомогою стрічкового транспортеру та проходить послідовно дві зони термокамери. До нагрівальних елементів термокамери подають термомасило або пару високого тиску, за допомогою чого підтримують заданий температурний режим термічної обробки м'ясних напівфабрикатів. Вологість у печі підтримують шляхом нагнітання пари безпосередньо до повітряного простору термокамери. Після проходження термічної обробки готовий продукт направляється на охолодження та пакування [1].

Максимальна ефективність управління термічною обробкою м'ясних виробів досягається лише за дотриманням певних значень параметрів об'єкту управління. Це зумовлено біохімічними та фізико-механічними змінами у продукті у залежності від температури, вологості та тривалості термічної обробки.

Для дослідження шляхів підвищення ефективності управління термічною обробкою м'ясних виробів був використаний метод цифрового імітаційного моделювання, зокрема, була розроблена модель об'єкту управління, що враховує статичні та динамічні характеристики реального об'єкту. Були також отримані формалізовані моделі виконавчих механізмів та регулюючих органів.

Дослідження проводилося у два етапи. На першому етапі були отримані перехідні характеристики для моделі системи автоматичного регулювання з використанням штучно-нейронно-мережевого регулятора в якості керуючого пристрою [2, 3, 4]. На другому етапі було виконане оцінювання показників якості отриманих перехідних процесів у системі автоматичного регулювання. Моделювання проводилося в умовах зміни сигналу завдання та дії на об'єкт управління координатних збурень та за умови зміни структури керуючого пристрою.

Штучна нейронна мережа має три шари та складається з 5 нейронів, перші два з яких знаходяться в першому шарі, два – в другому і один у третьому, при цьому до синапсів нейронів першого шару вводять сигнали за заданим значенням регульованої змінної (у нашому випадку – температура у термокамері), поточним значенням регульованої змінної, відхиленням поточного значення цієї регульованої змінної від заданого та сигнал за значенням контрольованих збурень, при цьому на виході нейрону третього шару формується значення управляючої дії, пропорційно якому змінюють положення регулюючого органу (у нашому випадку – частота обертання насоса подачі термомастила до нагрівальних елементів).

Табл. 1 – Вибір параметрів моделі каналу об'єкту управління

| | | | |
|----------|-------|-------|-------------|
| Параметр | K_0 | T_0 | τ_{0y} |
| Значення | 0,4 | 2,12 | 1,05 |

Табл. 2 – Вибір структури нейронного регулятора

| Шар №1 | | | Шар №2 | | | Шар №3 | | |
|------------|----------------|------------|------------|----------------|------------|------------|----------------|------------|
| Вх. сигнал | Структура шару | Вих. сигн. | Вх. сигнал | Структура шару | Вих. сигн. | Вх. сигнал | Структура шару | Вих. сигн. |
| T-зд;T;E;F | Нейрон-1 | U1 | U1,2 | Нейрон-3 | U3 | U3,4 | Нейрон №5 | U5 |
| T-зд;T;E;F | Нейрон-2 | U2 | U1,2 | Нейрон-4 | U4 | U3,4 | | |

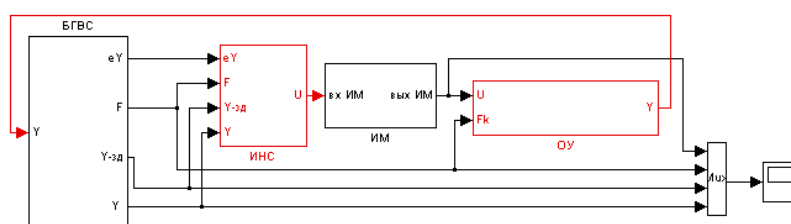


Рис. 1 – Схема моделювання системи автоматичного регулювання з використанням штучно-нейронно-мережевого регулятора



ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ

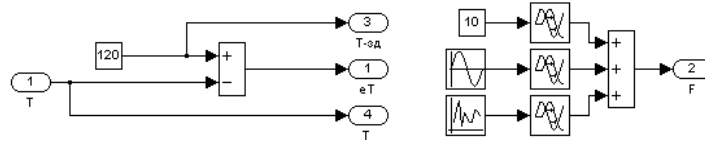


Рис. 2 – Блок генерації вхідних сигналів

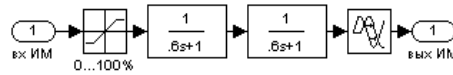


Рис. 3 – Блок виконавчого механізму

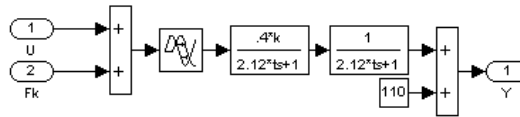


Рис. 4 – Блок моделі каналу ОУ

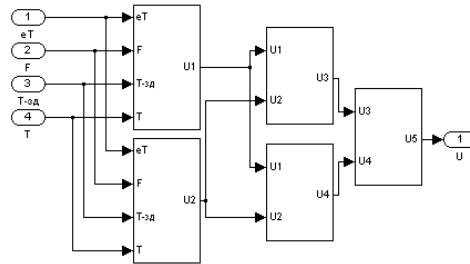


Рис. 5 – Структурна схема ШНМ – регулятора

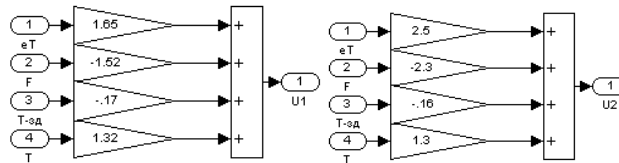


Рис. 6 – Структурна схема нейронів 1го шару

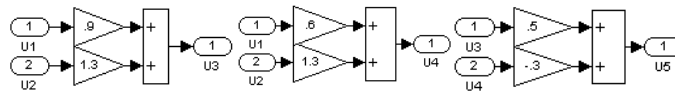


Рис. 7 – Структурна схема нейронів 2го и 3го шару

На рис. 3 наведений загальний вигляд зміни регульованого параметру на досліджуваному інтервалі часу. У момент часу, що відповідає 100 хв., на вхід системи подається сигнал неконтрольованих збурень типу «сходінка». У момент часу, що відповідає 200 хв., на вхід системи подається сигнал неконтрольованих збурень типу «гармонійний сигнал». У момент часу, що відповідає 300 хв., на вхід системи подається сигнал неконтрольованих збурень типу «білий шум». Реакція системи на зміну сигналу завдання та дію збурень для кожного типу регуляторів наведена на рис. 9.



**ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

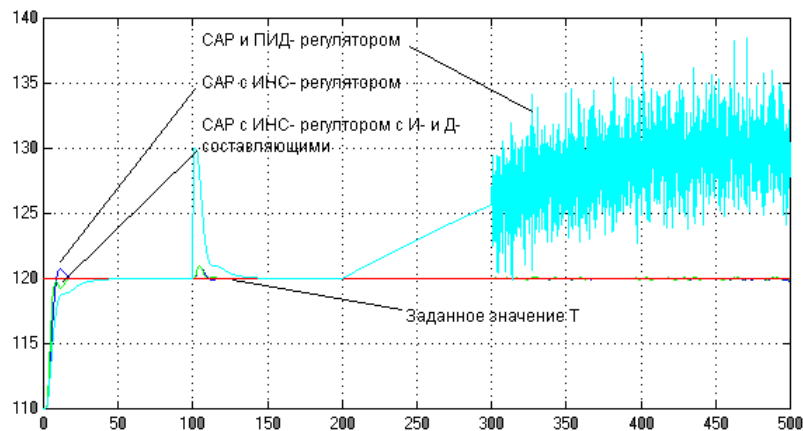


Рис. 8 – Результат моделювання у порівнянні різних систем автоматичного регулювання

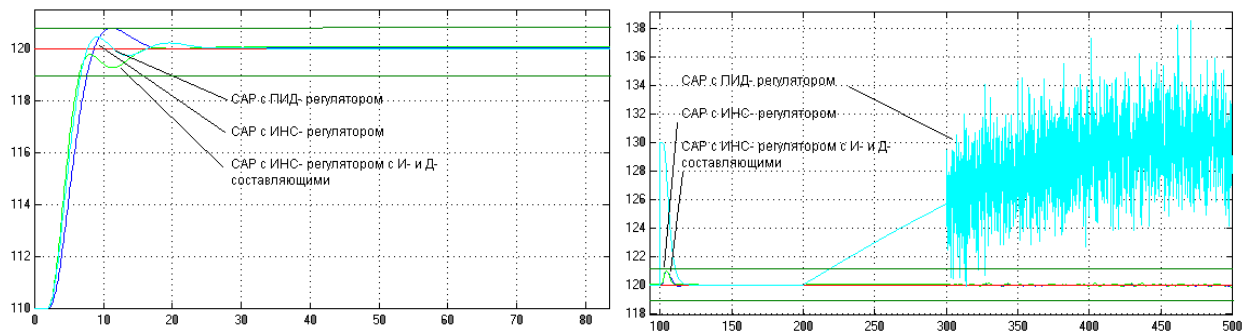


Рис. 9 – Порівняння різних систем автоматичного регулювання в умовах виводу на задане значення та в умовах дії координатних збурень

Табл. 3 – Порівняння якості перехідних процесів

| Тип регулятора | Δu_{\max} | R_p , % | ψ | $t_{\text{пер}}$, мин | Дотримання границь ЗНВ |
|---------------------------|-------------------|-----------|--------|------------------------|------------------------|
| ПД | 0,5 | 30 | 0,2 | 5,0 | - |
| ШНМ | 1,0 | 10 | 0,1 | 5,1 | + |
| ШНМ з І- та Д- складовими | 0,6 | 25 | 0,2 | 7,5 | + |

Виходячи з порівняння якості перехідних процесів (табл. 3), перехідні процеси в САР з використанням ШНМ- регулятора мають схожі прямі показники якості (Δu_{\max} , R_p , ψ) в порівнянні з перехідними процесами в САР з використанням ПД- регулятора. Це дозволяє зробити висновок про доцільність використання регулятора зі штучно-нейронною мережею для управління процесом термічної обробки м'ясних виробів. Перевагою ШНМ- регулятора є те, що він краще справляється з дією збурень, ніж аналогічний ПД- регулятор (рис. 9).

Література

1. Сайт компанії CFSwww. Wohlassociates.com/used-ovens/cfs-koppens-cook-star-spiral-oven.html.
2. Павлов А.И. Нейронная система регулирования. // Научные работы Одесской национальной академии харчових технологій. – Одеса: 2007. – Вип. 31. – Т2. – с. 72-77.
3. Павлов А.И. Нейросетевая система регулирования высокой динамической точности. // Научные работы Одесской национальной академии харчових технологій. – Одеса: 2008. – Вип. 33. – с. 64-69.
4. Павлов А.И. Технология проектирования нейронных регуляторов. // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – Одесса: 2010, №4. – с. 15-20.