

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА МОРОЗИВА

НТУ «Дніпровська політехніка»

Горбонос Є.О.

Науковий керівник: ас. Славінський Д.В.

Морозиво (зах. також льоди) — заморожений десерт, що виробляють переважно з молока, вершків, масла, цукру з додаванням смакових та запахових речовин. Морозиво може бути також фруктовим (на основі соку і м'якоті фруктів і ягід) [1].

Морозиво як складний гетерогенний харчовий об'єкт, що є водночас піною, емульсією і суспензією, відрізняється агрегативною нестійкістю впродовж усього технологічного процесу виробництва та під час зберігання.

Суміші морозива в процесі низькотемпературного оброблення змінюють агрегатний стан фаз і перетворюються на нові за структурою і формою зв'язків дисперсні системи. Впродовж одночасного інтенсивного охолодження та збивання сумішей з коагуляційним типом структури утворюється коагуляційно-кристалізаційна структура морозива м'якого з подальшим її переходом у кристалізаційну, характерну для морозива загартованого.

Однією з ключових фаз приготування морозива є фризювання. Під час фризювання до 50% води у сумішах кристалізується, а діаметр повітряних бульбашок зменшується до 20...30 мкм. На стан повітряної фази впливає і температура фризювання – за температури нижчій за мінус 3°C збитість морозива знижується внаслідок суттєвого підвищення в'язкості. Проте, у температурному діапазоні від мінус 5 до мінус 6 °C дисперсність повітряної фази найвища. В процесі фризювання утворюються дві нові фази – кристали льоду і повітряні бульбашки. На розміри утворених кристалів льоду впливають температура фризювання та гострота шкребків фризера [2].

Використовуючи налаштований інтерфейс користувача scada zenon, був проведений активний експеримент та отримана інформація про зміни температури в робочому просторі фризера (збивально-охолоджувального апарата) відповідно до ступеня відкриття клапану холодоносія (0-100%). На основі цієї інформації була виконана структурна та параметрична ідентифікація технологічного об'єкта в математичному пакеті MATLAB. В результаті ідентифікації було встановлено, що об'єкту відповідає передаточна функція у вигляді аперіодичної ланки першого порядку з запізненням (1):

$$W(s) = \frac{-0.31 * e^{-4.6s}}{173,38s + 1} \quad (1)$$

На основі отриманої передаточної функції, в математичному пакеті MATLAB/Simulink була побудована модель об'єкта (рис. 1). Для моделювання об'єкту використаємо данні (Dynamic\_Raw) отримані при відкритті клапану холодоносія на 100%, які занесені до блоку Iddata Source. Блок Idmodel містить

дані моделі об'єкта, що отримана за допомогою System Identification Toolbox у Matlab. Блок «Ланка запізнення» містить часове запізнення 4,6 секунд. Для виводу результату використано блок Scope. Блоки «Model» та «Object» використовуються для оцінки відповідності моделі об'єкта експериментальним даним.

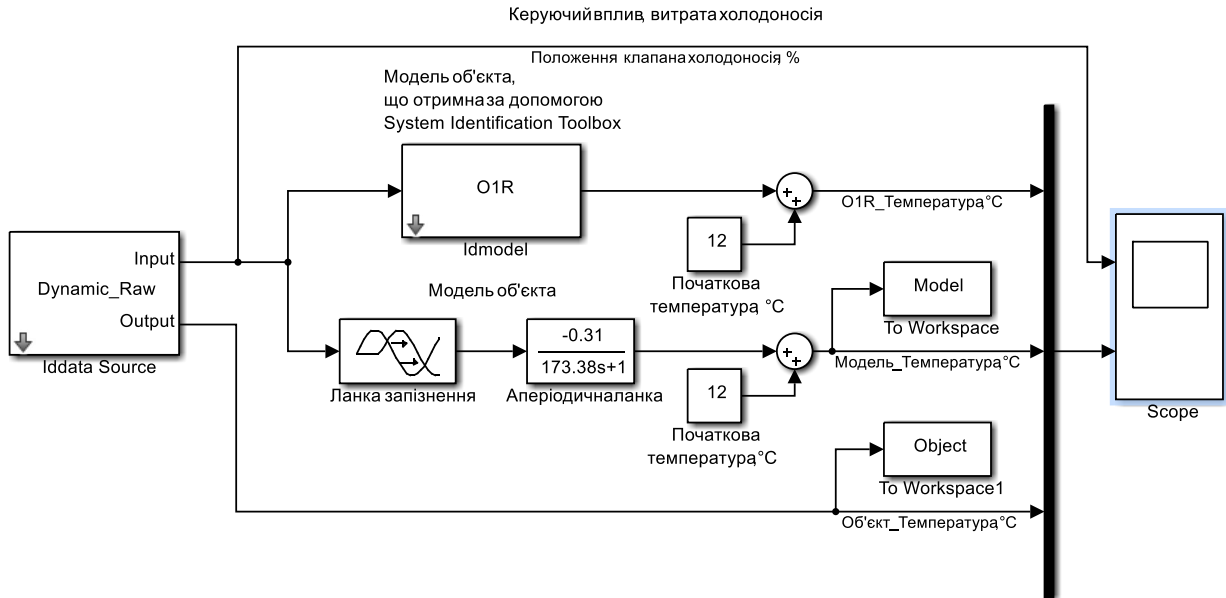


Рис.1 Модель об'єкта в MATLAB/Simulink

Результат моделювання об'єкта в MATLAB/Simulink при відкритті клапана холодоносія на 100% наведено на рисунку 2

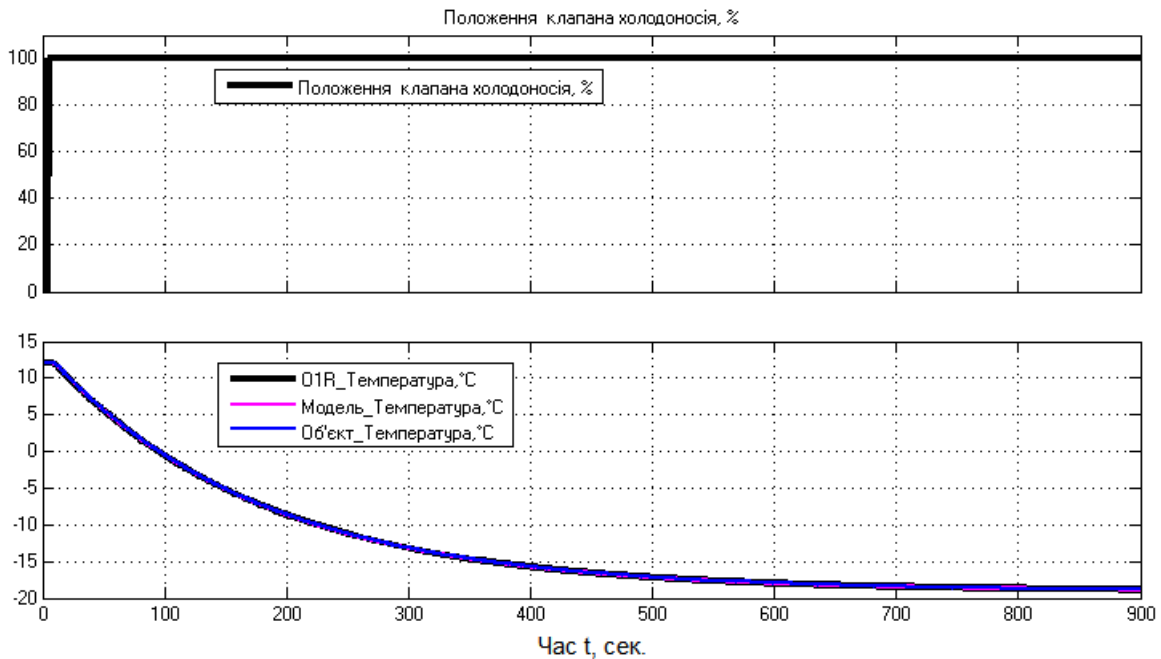


Рис.2 Результат моделювання об'єкта

Оцінка відповідності моделі об'єкта експериментальним даним за

нормованим середньоквадратичним відхиленням "NRMSE" розрахована у Matlab за допомогою функції «goodnessOfFit» і становить 99,38%. Тобто, модель є адекватною і може бути використана для розробки і дослідження системи керування.

#### **Перелік посилань**

1. Морозиво. Матеріал з Вікіпедії: [сайт]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сир#Класифікація\\_за\\_способами\\_виготовлення](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сир#Класифікація_за_способами_виготовлення) (дата звернення 12.04.2022)
2. Сухенко Ю.Г., Поліщук Г.Є., Сарана В.В. Наукове і технічне забезпечення виробництва морозива [Монографія] / За ред.. проф. Г.Є. Поліщук – К.: НУБіП України, 2019 – 299 с.