

## ДО ПИТАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ СУШКИ МОЛОКА

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Проаналізовано методи і засоби для покращення енергоефективності сушарки молока за рахунок вдосконалення електротехнічного комплексу. Показано, що більш точне дотримання параметрів технологічного процесу є головною і невід'ємною задачею. Пропонується з використанням математичної моделі, теорії теплообміну та додаткових засобів вимірювання оцінювати вологість сухого молока на виході з сушарки. Мікропроцесорна реалізація та впровадження в діючий електротехнічний комплекс засобу контролю вологості забезпечить скорочення часу виходу на номінальні параметри, а також енергоефективність комплексу без втрати в якості продукту.

**Ключові слова:** сушарка молока, сухе молоко, вимірювання вологості, засоби контролю вологості, енергоефективність.

### Abstract

The methods and means for improving the energy efficiency of the milk dryer due to the improvement of the electrical complex have been analyzed. It is shown that more accurate observance of technological process parameters is the main and integral task. It is proposed to estimate the moisture content of dry milk at the exit from the dryer using a mathematical model, the theory of heat transfer and additional measuring tools. Microprocessor implementation and introduction of a humidity control tool into the current electrotechnical complex will ensure a reduction in the time of output to nominal parameters, as well as energy efficiency of the complex without loss in product quality.

**Keywords:** milk dryer, milk powder, moisture measurement, moisture control means, energy efficiency.

Сушарки молока - це комплекс обладнання, призначений для видалення вологи з молочного продукту, зокрема з сироватки або молочного концентрату. Вони використовуються в харчовій промисловості для виробництва сухого молока, яке має довший термін зберігання та легше транспортується. Вологість є критичним фактором в процесі виробництва сухого молока. Основним завданням є правильне регулювання вологості, що дає можливість досягти оптимальної швидкості сушіння та забезпечує ефективну роботу сушарки молока.

Зазвичай масову частку вологи у сухому молоці визначають за допомогою сушильної шафи методом випаровування остаточної вологи. Але цей метод не підходить для вимірювання у режимі реального часу. Одним з прийнятних методів визначення вмісту вологи є інфрачервона спектроскопія, та, на жаль, він має свої недоліки, бо вимірює вологість лише поверхні продукту та ускладнює конструкцію необхідністю прямого зору продукту [1]. Також аналіз вмісту вологи можливий за допомогою більш небезпечних технологій, таких як метод ядерного магнітного резонансу [2].

Найприйнятнішими для вимірювання вологості у реальному часі є мікрохвильові датчики. Вони використовуються в різних галузях промисловості [3, 4], але не розповсюджені в молочній промисловості. Переваги мікрохвильової технології при вимірюванні вологості порошкових матеріалів і харчових продуктів розглянуті, зокрема, в літературі [5]. Наприклад, мікрохвильові сенсори не вимагають механічного контакту з об'єктом, вимірюють масову частку вологи у повному об'ємі продукту завдяки тому, що мікрохвилі проникають усередину продукту. Також вони мають низьку вартість і низькі вимоги до потужності.

Враховуючи, що вплив на вологість кінцевого продукту здійснюється декількома методами, в даній роботі передбачено дослідження математичної моделі та реалізація мікропроцесорного засобу, який буде вираховувати поточну вологість з урахуванням коригуючих факторів та передавати інформацію іншим елементам електротехнічного комплексу для подальшої обробки.

## Висновки

1. Розглянуті та проаналізовані існуючі методи вимірювання масової частки вологи в сухому молоці.
2. Показана можливість реалізації математичної моделі та мікропроцесорного засобу контролю вологості продукту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Богачук В. В. Методи та засоби вимірювального контролю вологості порошкоподібних матеріалів [Текст] : монографія / В. В. Богачук, Б. І. Мокін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 141 с.
2. Todt, H., Guthausen, G., Burk, W., Schmalbein, D., & Kamlowski, A. (2006). Water/moisture and fat analysis by time-domain NMR. Food Chemistry, 96(3), 436-440. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.032>
3. Й. Й. Білинський, В. В. Красносельський, НВЧ методи та засоби вимірювання вологості природного газу» // Вісник ВПІ, вип. 3, с. 87–99, Черв. 2022.
4. Й. Й. Білинський, М. О. Скалецька, Аналіз методів та засобів вимірювання вологості сипких продуктів» // Вісник ВПІ, вип. 2, с. 125–134, Трав. 2023.
5. Kress-Rogers, E. & Kent, M.. (1987). Microwave measurement of powder moisture and density. Journal of Food Engineering. 6. 345-376. 10.1016/0260-8774(87)90030-6.

**Гرابко Валентин Володимирович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, [grabko@vntu.edu.ua](mailto:grabko@vntu.edu.ua)

**Дубина Григорій Миколайович** – аспірант факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Grabko Valentyn V.** – PhD, Docent, Associate Professor of the Department of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [grabko@vntu.edu.ua](mailto:grabko@vntu.edu.ua)

**Dubyna Hryhorii M.** – Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia