

## Розробка інтелектуальної системи управління сушінням пивоварного солоду

Д. В. Мацебула, І. В. Ельперін

Національний університет харчових технологій

Виробництво пивоварного солоду є складним технологічним процесом, в ході якого відбуваються слабо контрольовані фізико-хімічні та біологічні процеси.

Найбільш часто використовуваною сировиною для пивоварного солоду є ячмінь. Процес виготовлення солоду складається із наступних етапів:

1. замочування;
2. пророщування;
3. сушіння;
4. обробка;
5. зберігання.

Найважливішими і найскладнішими етапами є замочування, пророщування і сушіння солоду. Сушіння є найбільш енергозатратним етапом. На якість протікання даних процесів впливають як зовнішні управляючі дії, так і якісні показники сировини чи напівфабрикату. Структурну схему сушіння солоду як об'єкта управління наведено на Рис. 1,

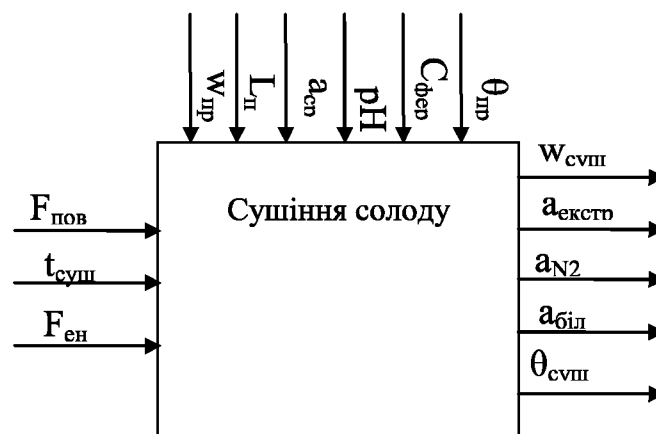


Рис. 1. Структурна схема сушарки, як об'єкта управління (ОУ)

де  $F_{\text{пов}}$  - витрата повітря,  $t_{\text{суш}}$  - тривалість сушіння,  $F_{\text{ен}}$  - витрата енергоносія,  $w_{\text{пр}}$  – вологовміст пророщеного солоду,  $L_{\text{п}}$  – довжина паростка,  $a_{\text{сп}}$  - % сухих речовин у пророщеному солоді,  $\text{pH}$  – кислотність пророщеного солоду,  $C_{\text{фер}}$  – активність ферментів у пророщеному солоді,  $\theta_{\text{пр}}$  – початкова температура солоду,  $w_{\text{свпш}}$  – вологовміст сушеного солоду,  $a_{\text{екстр}}$  – частка екстракту в сушеному солоді,  $a_{\text{N}_2}$  - % розчинного азоту,  $a_{\text{біл}}$  – частка білка в сушеному солоді,  $\theta_{\text{суш}}$  – температура солоду під час сушіння.

Зерно сушиться підігрітим повітрям в три фази:

1. **фізіологічна** – фактично продовження процесу пророщування при температурі 40-45 °С, закінчується при досягненні вмісту вологи в солоді  $\leq 30\%$ ;
2. **ферментативна** – протікає при поступовому зростанні температури від 45 до 70 °С;
3. **хімічна** - протікає при поступовому зростанні температури від 70 до 105 °С.

Процеси сушіння є слабоформалізованими. Багато параметрів стану не вимірюються системою управління, а отже потребують постійної участі оператора і лабораторії. Для покращення спостережуваності ОУ, зменшення впливу людського фактора доцільно використати систему автоматичного управління з прогнозуючою моделлю, структуру якої наведено на Рис. 2.

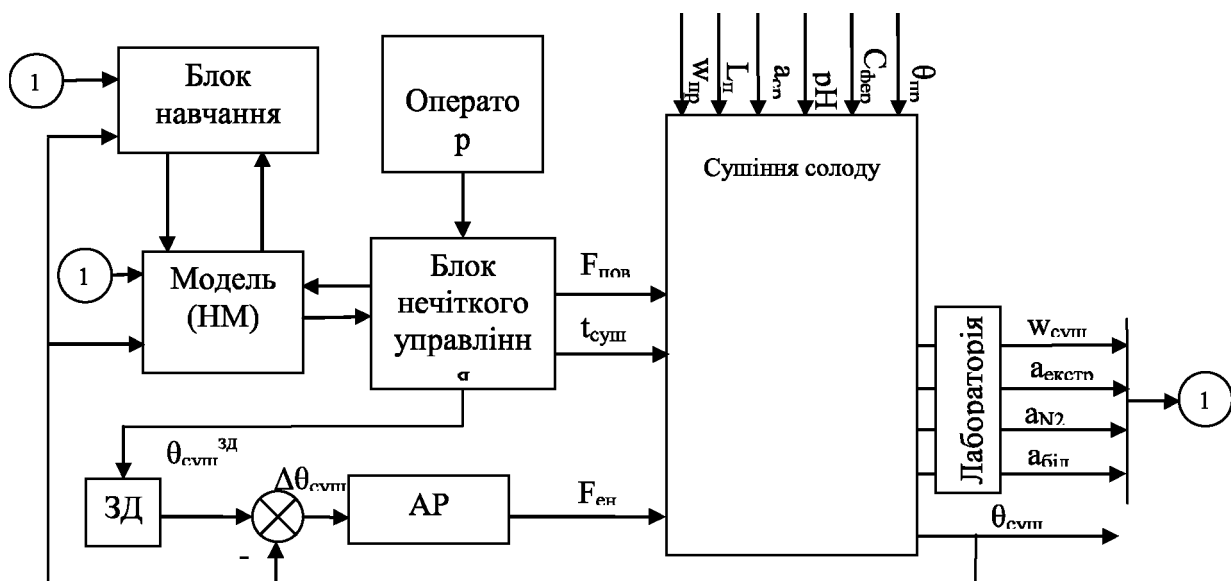


Рис. 2. Інтелектуальна система управління сушінням солоду

де  $\theta_{суш}^{зд}$  – задана температура сушіння, АР – автоматичний регулятор, ЗД – задаючий пристрій.

Наведена на рис. 2 схема є інтелектуальною системою управління з еталонною моделлю у вигляді нейронної мережі, навчання якої відбувається за рахунок неперервно-вимірюваних параметрів та даних з лабораторії. Після навчання модель подає свої дані на блок нечіткого управління, та отримує від нього значення управляючих дій, які розраховуються згідно з базою правил.

### Література

1. *Barros Vieira J. A. Comparison between artificial neural networks and neuro-fuzzy systems in modeling and control: a case study / J. A. Barros Vieira, F. M. Dias, A. M. Mota // IFAC. – 2003. – p. 1-6.*