

# ОСОБЛИВОСТІ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ АЕРАЦІЇ ЗЕРНОВИХ МАСИВІВ В ПРОЦЕСАХ ВИРОБНИЦТВА СОЛОДУ

Олександр Шевченко, Сергій Бут, Костянтин Васильківський

Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

**Вступ.** Аерація пророщуваних зернових масивів має потрійне завдання, а саме: підведення кисню і виключення інтрамолекулярного дихання, відведення синтезованого  $\text{CO}_2$  та біологічної теплоти для температурної стабілізації за умови збереження вологості зерна біля  $48\text{...}50^\circ\text{C}$ . За технологічними умовами температуру зернової маси підтримують на рівні  $12\text{...}17\%$  в залежності від доби пророщування, що визначає температуру повітря вхідних потоків та їх відносну вологість біля  $100\%$ .

**Мета дослідження** – виконати оцінку можливостей рекуперації енергетичних і матеріальних потоків.

**Матеріали і методи** представлені на основі феноменологічного аналізу існуючих технологій і положень класичної термодинаміки.

**Результати дослідження.** Аналіз процесів підготовки повітря приводить до висновку про різноплановість задач і методів їх вирішення щодо зимового і літнього сезонів.

Для літнього сезону змішування потоків свіжого і рекуперативного повітря може в значному діапазоні температур забезпечувати номінальний результат. Оскільки температури рециркуляційної частини повітря цілком прогнозовані, то за змінних значень температур свіжого повітря можливо визначати необхідні співвідношення їх об'ємів.

$$\text{Нехай маємо} \quad \varepsilon = V_{\text{с.п.}}/V_{\text{р.п.}}, \quad (1)$$

де  $V_{\text{с.п.}}$  і  $V_{\text{р.п.}}$  – об'єми свіжого і рекуперативного повітря.

З урахуванням останньої залежності температуру суміші вибраних

$$\text{об'ємів знайдемо за формулами} \quad t_c = \frac{(1+\varepsilon)t_{\text{с.п.}}t_{\text{р.п.}}}{t_{\text{р.п.}} + \varepsilon t_{\text{с.п.}}}; \quad (2) \quad \varepsilon = \frac{t_{\text{с.п.}}t_{\text{р.п.}} - t_c t_{\text{р.п.}}}{t_c t_{\text{с.п.}} - t_{\text{с.п.}}t_{\text{р.п.}}}. \quad (3)$$

Для оцінки важливості застосування рекуперативних режимів звернемося до умов підготовки аераційного повітря в зимовий період, прийнявши температуру свіжого повітря  $t_{\text{с.п.}} = -20^\circ\text{C}$ . Розрахунки виконаємо для об'єму  $V_{\text{с.п.}} = 1000 \text{ м}^3$ , за кінцевої температури його  $16^\circ\text{C}$ . Тоді кількість теплової енергії, яку необхідно передати повітрю в калорифері складатиме

$$Q = V_{\text{с.п.}}c_{\text{с.п.}}(16 - (-20)) = 46740,4 \text{ кДж.}$$

Подальшу частину розрахунків виконаємо для випадку пророщування зерна у 8 барабанах з вмістом  $8000 \text{ кг}$  зеленого солоду. Рівень аерації на кожен з барабанів складає біля  $10000 \text{ м}^3$  повітря на годину. Тоді за відсутності рециркуляції енергетичні витрати за сформульованими вище умовами становлять:

$$Q_6 = Q \frac{10000}{1000} = 467\,600 \text{ кДж/год.},$$

і на вісім барабанів  $Q_{86} = 8Q_6 \frac{10000}{1000} = 8 \cdot 46740,4 \frac{10000}{1000} = 3740800$  кДж/год.

За теплотворної здатності природного газу  $41000$  кДж/м<sup>3</sup> витрати газу складають  $V_r = Q_{86} / 41000 \eta = 3740800 : (41000 \cdot 0,8) = 114$  м<sup>3</sup>/год.,

де  $\eta$  – ККД системи нагрівання повітря.

За значення  $\varepsilon = 1$  витрати газу будуть скорочені вдвічі і подальше зростання рівня рециркуляції приведе до кращого результату.

Наведена частина розрахунків щодо визначення енергетичних витрат на догрівання повітря виконана у відповідності до положень термодинаміки, однак при цьому не враховано технологічну вимогу доведення відносної вологості свіжого повітря до 100 %.

Особливості перебігу операцій розглянемо, використавши діаграму I-d (рис. 1).

Початковим температурі  $t_1$  і відносній вологості  $\varphi_1$  повітря на діаграмі

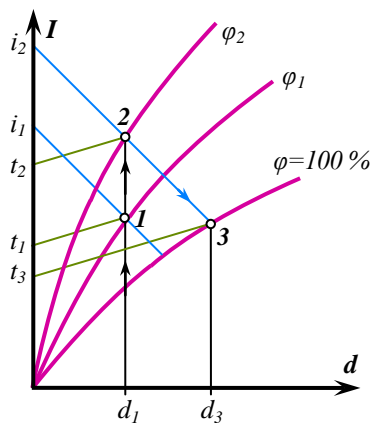


Рис. 1. Відображення процесу нагрівання і зволоження повітря в діаграмі I-d

варіантом при цьому може бути кількоступеневе, або навіть і одноступеневе але з попереднім визначенням положень точок 2 та 3.

Початок розрахунків доцільно розпочинати з визначення положення точки 3 на кривій  $\varphi = 100\%$ , другою координатою якої є ізотерма номінальної температури  $t_3$  (рис. 2).

Відомим також має бути абсолютний вологовміст повітря  $d_1$ .

Положення точки 2 і відповідне їй значення температури  $t_2$ , до якої необхідно нагріти повітря в одноступеневому режимі знайдемо, переміщуючись по ізоентальпії від точки 3 до перетину з ординатою, що відповідає  $d_1$ .

Двоступеневому процесу відповідає діаграма, наведена на рис. 3.

У цьому випадку фіксованими на діаграмі є точки 1 та 5, а положення

відповідає точка 1 і їй же відповідає абсолютний вологовміст  $d_1$ . Фаза нагрівання повітря через теплообмінну поверхню здійснюється за умови  $d = \text{const} = d_1$ . Якщо вважати, що точці 2 за показником раніше прийнятого значення відповідає  $t_2 = 16$  °С, то подальший ізоентальпійний процес насичення водяною парою приводить до точки 3 на діаграмі, що відповідає ізотермі з температурою  $t_3$ . Це означає, що за рахунок такої комбінації нагрівання і

охолодження поставлене завдання не буде виконаним.

Повноправним

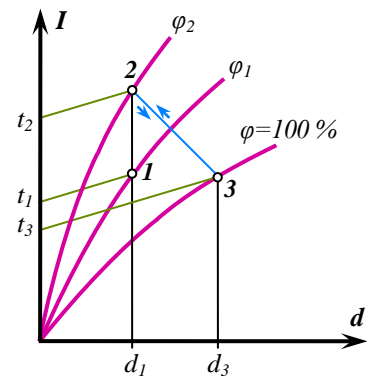


Рис. 2. Діаграма I-d, що відображує одноступеневий режим нагрівання і зволоження повітря за значень  $t_3 = t_{\text{ном}}$  і  $\varphi = 100\%$

точок 2 або 2' і 4 або 4' є варіативними. Проте вибір тих чи інших законів у процесах нагрівання і зволоження повітря не впливає на загальний результат енергетичних витрат оскільки вони в теоретичному підрахунку визначаються залежністю

$$Q = V_{\text{с.п.}} c_{\text{с.п.}} (t_{\text{н}} - t_{\text{с.п.}}) + (d_{(\text{к})} - d_{(\text{п})}) r V_{\text{с.п.}} \rho_{\text{с.п.}}, \quad (4)$$

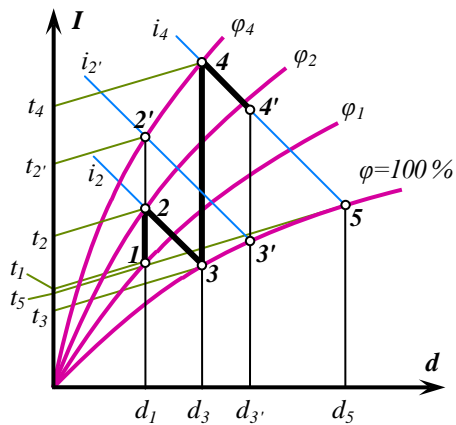


Рис. 3. Діаграма I-d з зображенням двоступеневого процесу підготовки повітря

де  $d_{(\text{п})}$  і  $d_{(\text{к})}$  – початкова і кінцева абсолютна вологість повітря;  $r$  – теплота пароутворення, кДж/кг.

**Висновки.** 1. Енергетичні витрати, пов'язані з кондиціонуванням аераційних потоків повітря в процесах пророщування солоду мають недетермінований характер зі значним діапазоном вхідних термодинамічних параметрів, що визначає доцільність використання рекупераційних режимів.

2. Термодинамічне протиріччя у поєднанні в одному процесі температурної стабілізації та підтримки вологості

зернової маси на номінальному рівні залишається нерозв'язаним і потребує присутності компенсаційних впливів.

3. Розроблено схеми апаратурного забезпечення стабілізації термодинамічних параметрів процесів.

### Література

1. Енергетичні трансформації і енергозбереження в харчових технологіях: монографія / А.І. Соколенко та ін. Київ: Фенікс, 2012. 484 с.
2. Енергоматеріальні потоки харчових і мікробіологічних виробництв: монографія / А.І. Соколенко та ін.; за ред. д-ра техн. наук, проф. Соколенка А.І. Київ: Кондор-Видавництво, 2016. 326 с.