

ББК 36.87

Піддубний В.А., кандидат технічних наук

Національний університет харчових технологій

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ В СУШАРКАХ СОЛОДУ

Технологічні режими сушіння солоду дозволяють використовувати в якості сушильного агента продукти горіння з теплогенераторів, суміші продуктів горіння з повітрям або підігрітого повітря. Проте з точки зору інтересів екології найкращим вважається використання повітря, яке нагрівається через поверхню теплопередачі.

До числа параметрів, які визначають осушувальні можливості повітря, відноситься його температура  $t$  і відносна вологість  $\varphi$  [1-3].

Повітря з параметрами  $t_1$  і  $\varphi_1$ , поступає в колорифер за сталого абсолютного вологовмісту, температура його підвищується до величини  $t_2$ . Відносна вологість при цьому зменшується до величини  $\varphi_2$ . Відбирання вологи солоду є ізоентальпійним процесом і якщо в сушарці не передбачена рекуперація теплоти відпрацьованого повітря, то воно з параметрами  $t_3$  і  $\varphi_3$  скидається в атмосферу з цілком певними енергетичними втратами.

Температура  $t_3$  при сушінні солоду змінюється на протязі всього процесу. Наприклад для двоярусної сушарки цей температурний діапазон коливається від 20 до 55 °С, а для одноярусної – від 20 до 85 °С. Така суттєва різниця пояснюється тим, що у відповідності з технологічним регламентом на верхньому ярусі відбувається зниження вологи від  $W = 43-45$  % до  $W = 8-12$  % з температурою 17-18 °С на початку процесу і 55 °С при завершенні сушіння.

На одноярусній сушарці зміни вологовмісту відбуваються від  $W = 43-45$  % до  $W = 3-4$  % в кінці сушіння і термообробки.

За умови сушарки безперервної дії температура повітря на виході наближена до 20 °С.

Для випадків відсутності рекуперації теплових потоків оцінимо втрати теплоти для вказаних випадків і за умови, наприклад, що витрати повітря на технологічний процес складають 40 тис. м<sup>3</sup> за годину. Підрахунки зробимо для зимового часу, коли температура повітря, що відбирається на процес, складає  $t_1 = 0$  °С.

Тоді перепад температур для безперервно діючої сушарки дорівнюватиме:

$$\Delta t_{\min} = \Delta t_{\max} = t_3 - t_1 = 20 - 0 = 20 \text{ °С.}$$

Для двоярусної сушарки одержуємо

$$\Delta t_{\min} = t_{3\min} - t_1 = 20 - 0 = 20 \text{ °С;}$$

$$\Delta t_{\max} = t_{3\max} - t_1 = 55 - 0 = 55 \text{ °С.}$$

Результати для одноярусної сушарки матимуть вигляд

$$\Delta t_{\min} = t_{3\min} - t_1 = 20 - 0 = 20 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\max} = t_{3\max} - t_1 = 85 - 0 = 85 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Одержані результати вказують на те, що перехід до одноярусних сушарок ставить суттєві вимоги по рекуперації теплоти відпрацьованого повітря.

Утилізація теплоти здійснюється в спеціальних теплообмінних апаратах, в яких відбувається теплообмін між вхідним і вихідним потоками повітря. Відпрацьоване повітря охолоджується до температури точки роси, після чого починається конденсація вологи. Від вказаних перепадів  $\Delta t_{\min}$  та  $\Delta t_{\max}$  доцільно використовувати деяку частину (з міркувань обмеження теплопередавальної поверхні і розмірів теплообмінного апарату). Якщо прийняти, що температура повітря на виході з сушарки змінюється за лінійним законом, то для розрахунків можна прийняти:

- для двоярусної сушарки:

$$t_{3\text{сер}} = \frac{20+55}{2} = 37,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

- для одноярусної –

$$t_{3\text{сер}} = \frac{20+85}{2} = 52,5 \text{ }^\circ\text{C},$$

а для сушарки безперервної дії маємо  $t_{3\text{сер}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

За вказаними умовами втрати теплоти складають для сушарки безперервної дії:

$$Q_{\text{втр}} = cV((t_{3\text{сер}} + 0,001(2500 + 1,93t_{3\text{сер}})) - (t_1 + 0,001(2500 + 1,93t_1))) = 1072007 \text{ кДж/год},$$

де  $V$  – об'ємні витрати повітря,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $c = 1,3 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$  – теплоємність повітря, .

Для двоярусних сушарок одержуємо

$$Q_{\text{втр}} = \Delta I = 1,3 \cdot 40000(37,5 + 0,001(2500 + 1,93 \cdot 37,5) - 130000) = 1953760 \text{ кДж/год},$$

а для одноярусних –

$$Q_{\text{втр}} = \Delta I = 1,3 \cdot 40000(52,5 + 0,001(2500 + 1,93 \cdot 52,5) - 130000) = 2735250 \text{ кДж/год}.$$

Якщо в режимі рекуперації одержати в теплообмінних апаратах різницю температур потоків  $10^\circ \text{C}$ , то величини теплових втрат зменшаться на

$$Q_{\text{рек}} = 520000 \text{ кДж/год}$$

для безперервно діючої сушарки.

Для сушарок двоярусної і одноярусної відповідно одержуємо

$$Q_{\text{рек}} = 1430000 \text{ кДж/год} \quad \text{та}$$

$$Q_{\text{рек}} = 2210000 \text{ кДж/год}.$$

Вказана кількість рекуперованої теплоти еквівалентна витратам газу з

теплотворною здатністю  $q = 42000 \text{ кДж/м}^3$  (без врахувань ККД системи)

$$V_{\text{газ}} = \frac{Q_{\text{рек}}}{q} = \frac{520000}{42000} = 12,38 \text{ м}^3/\text{год}$$

для безперервно діючої сушарки.

Для двоярусної і одноярусної сушарок економія газу відповідно становитиме

$$V_{\text{газ}} = \frac{1430000}{42000} = 34 \text{ м}^3/\text{год} \quad \text{і}$$

$$V_{\text{газ}} = \frac{2210000}{42000} = 52,6 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Таким чином, теплові втрати і можливості рекуперації відповідно найменші для сушарок безперервної дії і найбільші для одноярусних сушарок.

Нагадаємо, що технологічний і економічний ефект рекуперації теплової енергії відпрацьованого повітря підраховувався для зимових умов. Звичайно, що для літнього сезону ці показники будуть іншими, але загальні енергетичні витрати влітку будуть зменшуватись. Проте саме система рекуперації наблизитиме питомі енергетичні витрати на процес сушіння в зимовий сезон до показників літнього сезону.

Виконана частина аналізу літературних джерел і практики діючих підприємств дозволяє в виробництві солоду бачити вагоме внутрішнє протиріччя. Сформулюємо його наступним чином.

Інтереси забезпечення технологічних режимів пророщування солоду потребують кондиціювання повітря і забезпечення відносно низьких його температур ( $12-17^\circ \text{C}$ ). В літній сезон охолодження повітря потребує використання потужних холодильних установок, які в загальному своєму номінальному навантаженні ці виробничі запити виконувати не спроможні. Саме з цієї причини в літній сезон має місце технологічна пауза у виробництві солоду.

В той же час саме в літній сезон можуть бути мінімізовані енергетичні (і економічні) витрати на сушіння солоду.

В літературних джерелах якась інформація відносно вказаного протиріччя відсутня, як і відсутньою є сама постановка такого питання. Між тим з першого погляду і з врахуванням долі енергетичних витрат зупинка виробничих потужностей в літній сезон не здається бездоганною.

Аналіз технологічних режимів на підприємствах, де використовуються двоярусні сушарки, показує, що сушіння розбивається на два етапи з технологічною зупинкою на вивантаження солоду з нижнього ярусу, перевантаження солоду з верхнього ярусу на нижній і завантаження верхнього ярусу. Час технологічної зупинки у більшості припадає на початок першої зміни і тому робота сушарки з найвищими температурами теплоносія зсувається на вечірні або навіть нічні години, що економічно явно недоцільно. Проте і в цьому напрямку результатів енергетичного аудиту нами не знайдено.

**Висновки.** 1. Вибір режимів роботи сушарок солоду потребує аналізу відносно сезонних показників навколишнього середовища.

2. Існує термінова необхідність механізації робіт по перевантаженню солоду з яруса на ярус і розвантаження сушарок, що забезпечить помітний енергетичний і економічний ефект.

3. Вибір типів сушарок і режимів їх роботи однозначно пов'язується з оцінкою перспектив рекуперації теплової енергії.

### *Література*

1. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива. – К.: Урожай, – 1999. – 537 с.
2. Соколенко А.І., Українець А.І., Піддубний В.А. Транспортно-технологічні системи пивзаводів. – К.: АртЕк, – 2002. – 304 с.
3. Домарецький В.А., Прибильський В.А., Михайлов М.Г. Технологія екстрактів, концентратів і напоїв із рослинної сировини. – Вінниця: Нова книга, – 2005. – 408 с.