

УДК 663.4

Соколенко А.І., д.т.н., проф.

Максименко І.Ф., науковий співробітник,

Національний університет харчових технологій

ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЙ МАТЕРІАЛЬНИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ В КОМПЛЕКСАХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СОЛОДУ

У статті викладено матеріали, які стосуються взаємодії матеріальних і енергетичних потоків у процесах пророщування ячменю при виробництві солоду.

Транспортно-технологічні системи (ТТС) харчових виробництв за своєю структурою виконуються у формі комплексів, що складаються з технологічних машин і апаратів та транспортних зв'язків. При цьому останні часто виконують додаткову функцію матеріальних накопичувальних пристроїв, які перетворюють ТТС в системи з гнучкими зв'язками. Перетворення вхідного сировинного потоку в напівпродукти і в кінцевому результаті в готову продукцію супроводжується взаємодією матеріальних потоків у всіх їх складових з енергетичними потоками. У зв'язку з цим ефективність кожної з технологій можливо і доцільно оцінювати величиною питомих енергетичних витрат у формі зовнішніх енергоносіїв.

Разом з тим самі вхідні матеріальні потоки виступають в ролі енергетичних носіїв, потенціали яких у більшості випадків під час технологічних процесів зменшуються. У зв'язку з цим кожна з технологій можливо характеризувати відповідним коефіцієнтом трансформацій як за матеріальними, так і за енергетичними складовими.

Завданням цього дослідження було визначення особливостей взаємодій матеріальних і енергетичних потоків в процесах виробництва солоду у пивоварній галузі. Оскільки в технології виробництва пива передбачається процес зброджування, то це означає необхідність перетворення вуглеводнів зернової сировини у моно- та діцукри. Розпочинаються такі процеси з замочування зер-

на, і впродовж наступних пророщування, сушіння і приготування заторів [1–4].

Замочування і пророщування зернової маси здійснюється аерацією середовищ і відносно великі масові потоки повітря супроводжуються значними енергетичними витратами на їх термодинамічну підготовку. У літні сезони виникає потреба у примусовому охолодженні, і при цьому за рахунок насичення повітря вологою зниження температури повітря можливе не більше, ніж на 6 °С. Взимку за від'ємних температур повітря доводиться витрачати теплову енергію на його підігрівання.

Відповідно до більшості існуючих регламентів температура солоду в режимі пророщування на протязі 8 діб змінюється від 12 до 18 °С. У зв'язку з цим температура повітря, що подається на аерацію, має бути на 1,5–2,0 °С нижчою за номінальну для солоду певної доби пророщування. Разом з цим температура повітря, яке залишає шар зерна, не може перевищувати температуру солоду.

Такі показники повітря на виході із системи означають доцільність рекуперативного використання його потенціалу.

При цьому можливими для використання є кілька варіантів.

Варіант 1. За цього варіанту частина повітря, що відпрацювала, повертається до точки забору свіжого повітря і змішується з ним (рис. 1).

Такий варіант придатний для використання як у літній, так і у зимовий

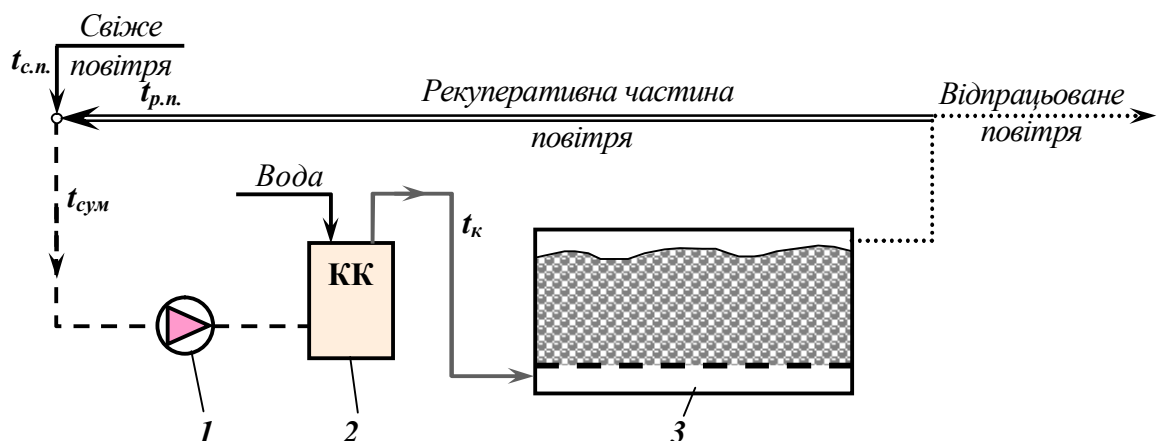


Рис. 1. Схема аераційної системи з рекупераційним поверненням частини відпрацьованого повітря і змішуванням його зі свіжим повітрям до камери кондиціонування: 1 – вентилятор; 2 – камера кондиціонування повітря; 3 – солодовирощувальний апарат; $t_{с.п.}$ – температура свіжого повітря; $t_{р.п.}$ – температура рекуперативного повітря; $t_{сум}$ – температура суміші свіжого і рекуперативного повітря; t_k – температура повітря після камери кондиціонування

сезони, однак за значної різниці температур свіжого і рекуперативної частини відпрацьованого повітря значна частина навантаження по забезпеченню термодинамічних показників покладається на камеру кондиціонування.

Варіанту 2 відповідає схема системи з камерою кондиціонування по рис. 2. За відомих величин масових потоків свіжого повітря $M_{c.п.}$, його теплоємності $c_{c.п.}$ та температури $t_{c.п.}$ та аналогічних показників рекуперативного повітря $M_{p.п.}$, $c_{p.п.}$ та $t_{p.п.}$ можливо знайти параметри суміші повітря і при цьому на основі матеріального балансу маємо

$$M_{\text{сум}} = M_{c.п.} + M_{p.п.}, \quad (1)$$

а складання енергетичного балансу приводить до залежності

$$M_{c.п.} c_{c.п.} t_{c.п.} + M_{p.п.} c_{p.п.} t_{p.п.} = M_c c_c t_c, \quad (2)$$

де параметри з індексами c стосуються сумішей потоків. Звідси визначаємо

$$t_c = \frac{M_{c.п.} c_{c.п.} t_{c.п.} + M_{p.п.} c_{p.п.} t_{p.п.}}{M_c c_c}. \quad (3)$$

З останньої залежності видно, що збільшення рекуперативної частини повітря за інших рівних умов наближає температуру суміші до бажаної, однак на цьому шляху перепорою є вміст діоксиду вуглецю в рекуперативному повітрі. Для зниження вмісту CO_2 в суміші доцільно використати ідею десорбції діоксиду вуглецю в камері кондиціонування (рис. 2).

Максимальна кількість CO_2 , яку може вилучити з повітря одиниця маси (об'єму) води дорівнює її сталій насичення у відповідності до закону Генрі [3, 4]

$$c_H = k P_{CO_2}, \text{ кг/м}^3, \quad (4)$$

де k – константа Генрі; P_{CO_2} – парціальний тиск газової фази.

Відомо, що кількість утворюваного діоксиду вуглецю пов'язана з втратами сухих речовин і за час пророщування 1000 кг зерна виділяється 117,3 кг CO_2 .

Витрати повітря на 1 т ячменю складають від 300 до 700 м³/год. Наведені дані дають можливість обчислити величину парціального тиску CO_2 у відпра-

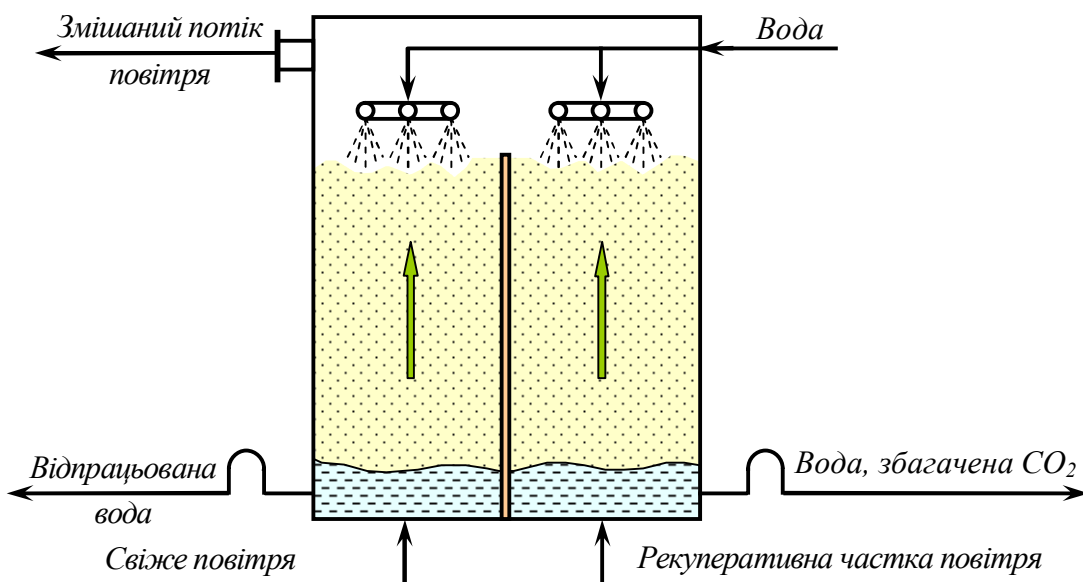


Рис. 2. Камера кондиціонування з вилученням CO_2 з рекуперативного повітря

цьованому повітрі і встановити значення c_n .

За стабілізованих режимів роботи мінімальна кількість води, яка здатна поглинути програмовану масу CO_2 , визначається залежністю

$$m_B = \frac{k_p M_{\text{CO}_2}}{c_n} = \frac{k_p M_{\text{CO}_2}}{k P_{\text{CO}_2}}, \quad (5)$$

де k_p – коефіцієнт рециркуляції потоку, який визначає співвідношення між рекупераційною часткою повітря і сумарним потоком; M_{CO_2} – маса діоксиду вуглецю, що виділяється при пророщуванні 1 т зерна.

Парціальний тиск CO_2 , що входить до повітряної суміші

$$P_{\text{CO}_2} = m_{\text{CO}_2} \frac{R_{\text{CO}_2} P}{R_{\text{сум}}}, \quad (6)$$

де m_{CO_2} – масова частка діоксиду вуглецю, визначається співвідношенням маси M_{CO_2} , що входить до суміші, до маси всієї суміші; R_{CO_2} – газова стала діоксиду вуглецю; P – тиск газової суміші; $R_{\text{сум}}$ – газова стала суміші газів.

У відповідності до закону Дальтона

$$P = P_{\text{N}_2} + P_{\text{O}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{CO}_2}. \quad (7)$$

Значення газової сталої суміші $R_{\text{сум}}$ визначимо через газові сталі окремих компонентів:

$$R_{\text{сум}} = \sum_1^n m_i R_i = m_{N_2} R_{N_2} + m_{O_2} R_{O_2} + m_{H_2O} R_{H_2O} + m_{CO_2} R_{CO_2}. \quad (8)$$

Масові частки компонентів визначимо залежностями

$$m_{N_2} = \frac{M_{N_2}}{M}; \quad m_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{M}; \quad m_{O_2} = \frac{M_{O_2}}{M}; \quad m_{H_2O} = \frac{M_{H_2O}}{M}, \quad (9)$$

де M_{N_2} , M_{O_2} , M_{CO_2} , M_{H_2O} – маси окремих газів; M – маса всієї суміші.

Відповідною підстановкою одержимо

$$m_B = \frac{k_p M_{CO_2} (m_{N_2} R_{N_2} + m_{O_2} R_{O_2} + m_{H_2O} R_{H_2O} + m_{CO_2} R_{CO_2})}{k \frac{M_{CO_2}}{M} R_{CO_2} (P_{N_2} + P_{CO_2} + P_{O_2} + P_{H_2O})}. \quad (10)$$

Третій варіант влаштування рециркуляційного режиму стосується послідовного передавання повітря від апарата першої доби пророщування до апарата завершальної восьмої доби (рис. 3).

У відповідності до цієї схеми свіже повітря з обмеженим значенням пото-

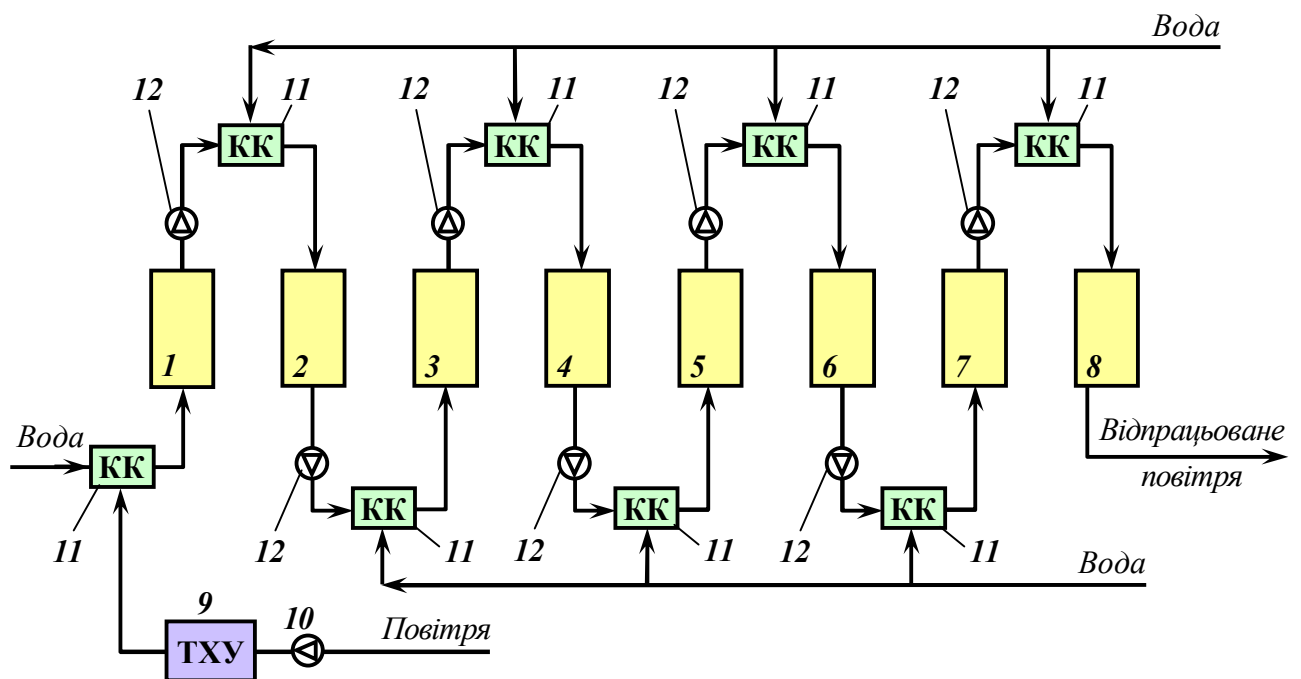


Рис. 3. Схема влаштування економного використання ресурсів у підготовці повітря для аерації барабанних пророщувальних апаратів

ку передається основним вентилятором 10 до теплохолодильної установки 9, в якій його параметри доводяться до номінальних. В камері кондиціонування 11 забезпечується 100 % відносна вологість і здійснюється передавання повітря в перший барабан. Допоміжні вентилятори 12 забезпечують послідовне передавання повітряного потоку через камери кондиціонування 11 з апарата в апарат з високим рівнем використання потенціалу задіяного потоку.

Висновки. 1. Знайдені співвідношення забезпечують можливість визначати величини матеріальних потоків повітря і води, а також рівня десорбції CO_2 з повітряної фази в її рециркуляційній частці. У зв'язку з можливістю вилучення діоксиду вуглецю за рахунок відмічених пропозицій залишається лише одне обмеження щодо рівня частки рекупераційного потоку, пов'язане з концентрацією в ньому кисню.

2. Якість солодів значною мірою залежить від дотримання термодинамічних параметрів процесів. За відсутності потужностей для номінального охолодження аераційних потоків повітря на більшості підприємств України випуск солодів припиняється внаслідок накопичення їх в осінньо-зимовий та весняний періоди роботи.

3. Сучасні економічні умови привели до обмеження можливостей створення запасів сировини і скорочення обігових коштів. Саме тому вирішення задачі випуску солоду протягом року привертає все більшу увагу підприємств, але відносно значні капітальні і експлуатаційні витрати стосовно систем кондиціонування повітря виступають в ролі обмежувальних факторів.

Література

1. Кунце В. Технология солода и пива. Пер. с нем. – С.-Петербург: – Профессия, 2001. – 912 с.
2. Домарецкий В.А. Технологія солоду та пива. – К.: – Урожай, 1999. – 542 с.
3. Соколенко А.І., Піддубний В.А., Шевченко О.Ю. та ін. Моделювання

гідродинаміки газорідних середовищ в умовах бродіння // Мага-
рач. Виноградарство и виноделие. – 2007. – № 1. С. 119–121.

4. 4. Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. Справочник по физике. – М.: – Нау-
ка, 1977. – 944 с.