

УДК 621.798

**І. Ф. МАКСИМЕНКО,
О. О. БОЙКО,
Ю.В. ОСАУЛЕНКО**

Національний університет харчових технологій

ТЕПЛОВІ ПОТОКИ ВАРОЧНОГО ВІДДІЛЕННЯ ПИВЗАВОДІВ

Проведено аналіз енергетичних перетворень при варінні та охолодженні пивного сусла. Розраховано виділення енергії при випарюванні та охолодженні сусла, затрати енергії на сушку пивної дробини. Обґрунтовано можливість сушіння пивної дробини з використанням енергії, що відводиться при охолодженні дробини. Розроблено схему теплотехнічного забезпечення для забезпечення цього процесу.

Ключові слова: *пивна дробина, сусло, енергія, сушіння, охолодження.*

Проведен анализ энергетических преобразований при варке и охлаждении пивного сусла. Рассчитано выделение энергии при выпаривании и охлаждении сусла, затраты энергии на сушку пивной дробины. Обоснованно возможность сушки пивной дробины с использованием энергии, отводящейся при охлаждении сусла. Разработана схема теплотехнического обеспечения этого процесса.

Ключевые слова: *пивная дробина, сусло, энергия, сушка, охлаждение.*

The analysis of power transformations is conducted at cooking and cooling of beer сусла. A selection energy is expected at evaporation and cooling of сусла, expense of energy on drying of beer pellet. Grounded possibility of drying of beer pellet from the use of energy which is selected at cooling of pellet. The chart of the heating engineering providing is developed for providing of this process.

Keywords: *beer pellet, сусло, energy, drying, cooling.*

Варочне відділення пивзаводів характеризується як найпотужніший споживач теплової енергії. Носієм теплового потоку при цьому виступає водяна

пара, яка використовується для нагрівання замісу, приготування затору та варіння сусла.

Виробничниками і науковцями розроблено кілька схем, щодо використання енергії вторинної пари, що утворюється при варінні сусла [1-3], у формі замкнутої системи, у якій за рахунок механічної або термокомпресії відбувається підвищення температури вторинної пари і повернення її в систему нагрівання суслотоварильного апарата. У схемі з відкритою системою теплова енергія конденсації вторинної пари передається проміжному теплоносію (частіше воді), який використовується на потреби виробництва.

Метою цього дослідження є аналіз енергетичних балансів для можливості використання вторинних енергетичних ресурсів (у тому числі і теплової енергії сусла) для потреб сушіння пивної дробини. Останнє набуло актуальності у зв'язку зі зменшенням використання вологої дробини на потреби відгодівлі худоби. Сушіння дробини, як процес, переводить її у продукцію з предовженим терміном використання, а досягнення вологості 12-13 % за рахунок вторинних енергетичних ресурсів є економічно привабливим. Отже у зв'язку з відміченим зробимо оцінку потенціалу вторинних енергетичних ресурсів для підведення енергетичного балансу.

Розрахунки виконаємо у питомому обчисленні на 100 кг помелу. Відомо, що з вказаної кількості подрібненого солоду одержують 5,88 гл пива, при кількості сухих речовин в початковому суслі 12 %, і з деякими наближенням останній показник перенесемо на об'єм сусла. За нормативного показника кількості випару приблизно 10 % числове значення останнього складе:

$$m_v = 588 \cdot 0,1 = 58,8 \text{ кг.} \quad (1)$$

Енергетичні витрати у зв'язку з останнім дорівнюватимуть:

$$Q_{\text{вип}} = m_v r = 58,8 \cdot 2262,6 = 133041 \text{ кДж,} \quad (2)$$

де r – теплота пароутворення середовища.

Теплова енергія звареного сусла, що може бути повернута за охолодження його до $t_k = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, визначається залежністю:

$$Q_{\text{сус}} = m_{\text{в}} c (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) = (588 - 58,8) \cdot 4,19 \cdot 90 = 199560 \text{ кДж}, \quad (3)$$

де $t_{(п)} \approx 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – початкова температура сусла.

Таким чином, загальний потенціал вторинних теплових ресурсів складе:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{вип}} + Q_{\text{сус}} = 133041 + 199560 = 332600 \text{ кДж}. \quad (4)$$

Зі 100 кг помелу одержується 130 кг дробини з вологістю 70–80 %. Якщо прийняти кінцеву вологість $W_{(к)} = 14 \%$, то зміна вологості становитиме:

$$\Delta W = 80 - 14 = 66 \%. \quad (5)$$

Тоді кількість випареної води складе:

$$W = 130 \Delta W = 130 \cdot 0,66 = 85,8 \text{ кг}. \quad (6)$$

З енергетичним еквівалентом по дробині:

$$E = W_{\text{г}} = 85,8 \cdot 2262,6 = 194131 \text{ кДж}. \quad (7)$$

Порівнюючи останній результат з величиною теплового потенціалу сусла, бачимо, що:

$$Q_{\text{сусл}} \approx E. \quad (8)$$

Це означає, що теплової енергії сусла, яка у більшості випадків скидається у довкілля при охолодженні водою або при використанні холодильних установок, практично достатньо для здійснення сушіння дробини.

Зважаючи на вказану енергетичну доцільність, наступним етапом має бути розробка пропозиції щодо апаратного оформлення такого процесу.

Відпрацьованою схемою при цьому має бути сучасне вирішення виробничої ділянки, на якій передавання дробини у збірники здійснюється гідротранспортером з додаванням води, яка ніяким чином не підвищує енергетичної цінності продукту. Транспортування шнековими конвеєрами супроводжується частковим стіканням рідинної фракції з втратою частини сухих речовин, як і механічне підпресовування.

Разом з тим фільтраційний апарат за своїми конструктивними особливостями цілком міг би виконувати функції сушильної камери. Адже дробина розташована на перфорованих ситах і подавання сушильного агента (повітря) у пі-

дситовий простір буде завершуватися рівномірним його розподіленням по всій площині сит. По завершенню сушіння пристрій для видалення дробини здійснює її подавання до розвантажувального люка.

За використання запропонованої схеми практично виключаються втрати сухих речовин з рідинною фракцією, оскільки відокремлення її в гравітаційному полі завершується в режимі фільтрації промивних вод.

Оскільки промивається дробина гарячою водою, то це обумовлює наявність енергетичного потенціалу, який також використовується на процес сушіння. Величина потенціалу визначається залежністю:

$$Q_{\text{сусл.}} = 104c_w \Delta t + 26c_{\text{с.р.}} \Delta t, \quad (9)$$

де c_w і $c_{\text{с.р.}}$ – відповідно теплоємкості рідинної фракції і сухих речовин; Δt – перепад температур, що відповідають початку і завершенню процесу.

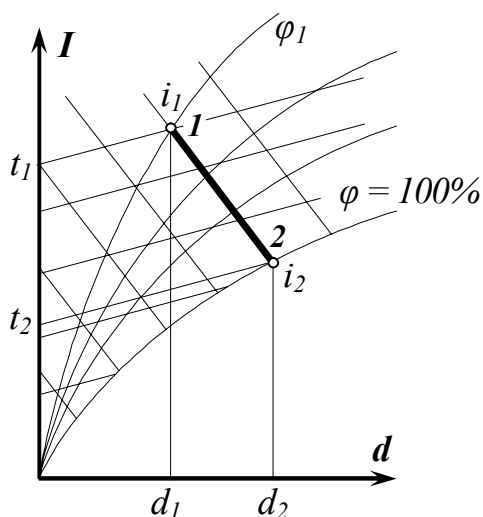


Рис. 1. Діаграма, що відображає процес сушіння дробини

Повітря в ролі сушильного агента характеризується такими параметрами, як температура, відносна та абсолютна вологість. Ці параметри можуть бути визначені за діаграмою I-d (рис. 1).

Сушіння є ізентальпійним процесом, який відображується відрізком 1–2. Тоді кількість води, що відбирається 1 кг повітря становить різницю $d_2 - d_1$, а теоретична масова кількість повітря, необхідна для видалення вологої фракції дробини:

$$M_{\text{пов}} = \frac{W}{d_2 - d_1}. \quad (10)$$

Очевидно, що осушувальна здатність повітря залежить від його початкових параметрів і збільшення початкової температури за інших рівних умов приводить до збільшення такої здатності. З цієї точки зору бажано мати регулюва-

ні діапазони температур, досягнення яких можливе за рахунок співвідношень потоків повітря і сусла. У зв'язку з вимогами технології швидкість охолодження сусла бажано витримувати на заданому рівні, а тому схему доцільно устаткувати проміжними буферними ємкостями для проміжного теплоносія.

На рис. 2 наведено схему, яка дозволяє енергетичний потенціал сусла пе-

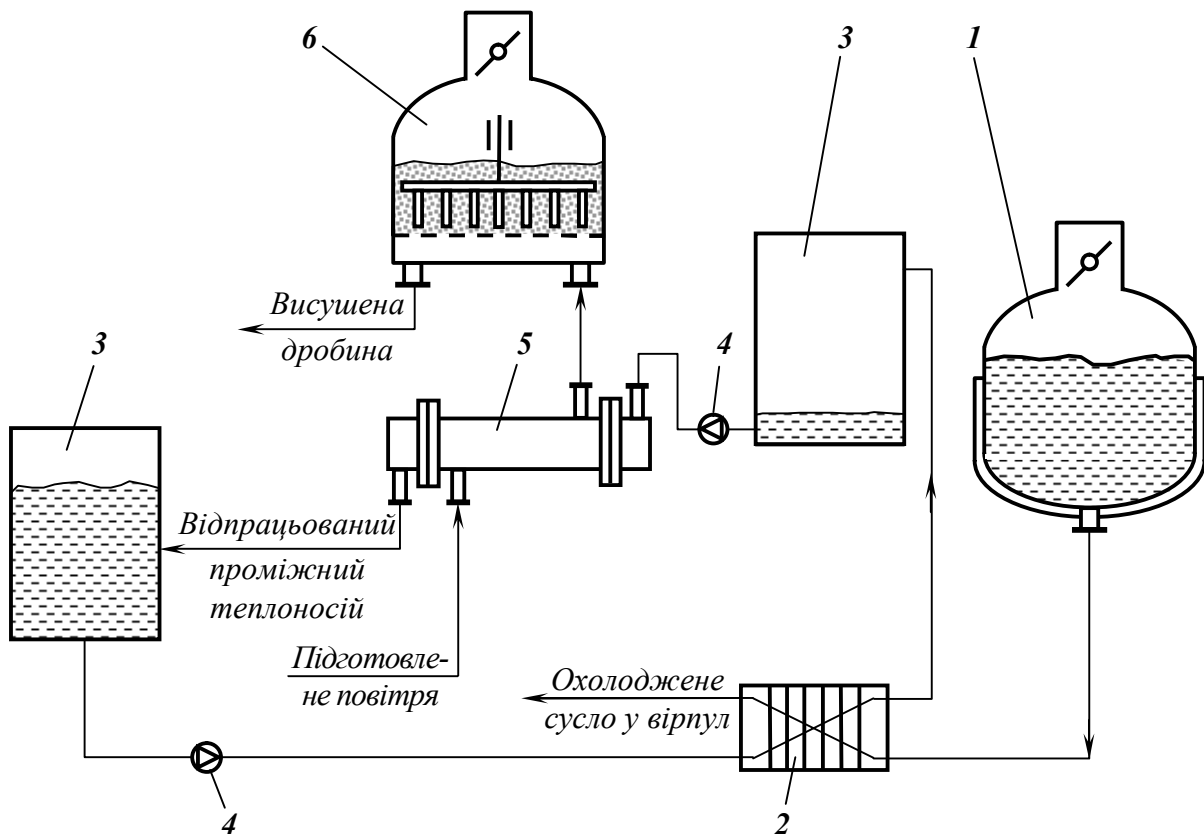


Рис 2. Схема теплотехнічного забезпечення сушіння дробини 1 – суслотварильний апарат, 2 – пластинчастий теплообмінний апарат, 3 – збірники проміжного теплоносія, 4 – насоси, 5 – калорифер, 6 – фільтраційний апарат

редати проміжному теплоносію, що збирається у правій буферній ємкості 3. Пропускання теплоносія через калорифер 5 дозволяє передати тепловий потенціал сушильному агенту. Відпрацьований проміжний теплоносій збирається у лівій ємкості 3 і зберігається до наступного циклу. Наявність двох буферних ємкостей дозволяє забезпечити корегування процесу сушіння в часі і не обмежувати технологічні значення швидкості охолодження сусла. Зазначена схема дозволяє накопичувати проміжний теплоносій з температурою 90–95 °С, а тем-

пература повітряного потоку може складати 80–85 °С.

Якщо проміжним теплоносієм обрано воду, то це означає, що її теплоємність і теплоємність суслу близькі за значеннями. Звідси витікає, що об'єми буферних ємкостей проміжного теплоносія мають бути близькими до об'єму суслу.

До числа нетрадиційних ідей, що знайшли реалізацію в цій схемі, слід віднести швидке охолодження суслу, що має здійснюватися в режимі протитоку з проміжним теплоносієм. Завдяки такому режиму, по-перше, досягається передавання запланованого теплового потенціалу і, по-друге, створюється замкнута система використання води, як проміжного теплоносія.

Між тим відомо, що в сучасних схемах охолодження суслу процес супроводжується витратами практично п'ятикратного по відношенню до суслу об'єму води, або комбінацією використання охолоджувальної води з холодильних установок. В запропонованій схемі матеріальні втрати води відсутні окрім разового заповнення замкнутої системи. Також досягається головна мета – одержання сухої дробини.

Окрім названих позитивних наслідків можна очікувати на позитивні ефекти і в процесах освітлення суслу. Як відомо, виконання цієї операції здійснюється у вірпулах за рахунок утворення і осідання в гравітаційному полі білкових зависей. При цьому очевидно, що утворення зависей залежить від температури середовища, і зниження цього показника збільшує швидкість утворення осадів. Разом з тим розташування поверхонь охолодження безпосередньо в середовищі означає наявність локальних об'ємів з різними температурами, а рівно і наявність конвективного перемішування за рахунок опускних і висхідних контурів. Очевидно, що це дестабілізує сидементаційний процес. У зв'язку з цим приходимо до висновку про перспективність активного попереднього охолодження суслу до номінальної температури.

Таким чином, на основі запропонованої системи досягається високий рівень використання енергетичного потенціалу системи і обмежується екологічний вплив на довкілля хоча б у явному вигляді. Останнє зауваження пов'язане з тим, що дещо замаскований вплив все ж має місце викидами відпрацьованого

сушильного агенту.

Нагадаємо, що ізоентальпійний процес сушіння супроводжується матеріальним потоком випареної вологи, яка несе в собі енергетичний потенціал пароутворення. Феноменологічні міркування вказують на те, що і у цьому випадку можливим є створення локального контуру енергокористування на основі відновлення осушувальної здатності повітря, однак подальші розробки такого напрямку лежать за межами наукових інтересів цієї статті.

Висновки. Виконані теоретичні дослідження і узагальнення дозволяють відмітити наступне:

1. Підрахунки теплових і матеріальних балансів вказують на те, що тепловий потенціал охолоджуваного сусла еквівалентний потенціалу випаровування вологої фракції пивної дробини;

2. Фільтраційний апарат може виконувати функції сушильної камери за рахунок підведення в його підситовий простір сушильного агенту і продування його через шар дробини;

3. Маневрування параметрами сушіння дробини можливе за рахунок встановлення двох буферних ємкостей проміжного теплоносія, завдяки чому досягається створення замкнутої системи проміжного теплоносія і виключаються втрати води на охолодження сусла.

4. Швидкоплинне охолодження сусла в потоці і в режимі протитоку з проміжним теплоносієм дозволяє на 90 – 95 % використати тепловий потенціал сусла;

5. Подавання у вірпул охолодженого сусла підвищує швидкість утворення білкових зависив і швидкість освітлення сусла;

6. Сушіння дробини безпосередньо у фільтраційному чані забезпечує мінімальні втрати живильних речовин, однак запропонована теплотехнічна схема цілком придатна до використання з різними типами сушарок, в яких повітряні потоки виконують роль сушильного агенту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кунце В. Технология солода и пива / Кунце В. – С.-Петербург: Про-

фесия, 2001. – 912 с.

2. *Бурдо О. Г.* Эволюция сушильных установок / Бурдо О. Г. – Одесса: Полиграф, 2010. – 368 с.

3. *Снежкин Ю. Ф.* Энергосберегающие теплотехнологии производства пищевых порошков из вторичных сырьевых ресурсов / Снежкин Ю. Ф., Буряк Л. А., Ховин А. А. – К.: Наукова думка, 2004. – 228 с.

Одержано редколегією 10.12.2010