

ОГЛЯД ТА ОЦІНКА МЕТОДІВ РЕКУПЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ НА СУШАРКАХ СОЛОДУ

Соколенко А.І., докт.техн.наук, Білик О.А., канд. техн. наук, Вінніченко І.М., студент, Дідик І.М., студент

Національний університет харчових технологій

Наведено оцінку методів рекуперації теплової енергії на сушарках солоду і пам'ятку-рекомендацію спеціалістам галузі.

Ключові слова: солод, сушіння, теплота, рекуперація, енергія, технологія.

Дана оценка методов рекуперации тепловой энергии на сушилках солода и памятка-рекомендация специалистам отрасли.

Ключевые слова: солод, сушка, теплота, рекуперация, энергия, технология.

And estimation methods for recovery of thermal energy in the dryer malt and recommendation memo-skilled sector.

Keywords: malt, drying, heat, recuperation, energy, technology.

Особливості технології та обладнання. Солод, який отримують у результаті пророщування ячменю, не придатний до зберігання через високу вологість (до 43%) і брак властивостей, необхідних для виготовлення пива [1]. Відповідні властивості солод набуває після сушіння, відокремлення ростків і витримування в часі. Режими термічного оброблення під час сушіння повинні вибиратися певним чином з метою збереження ферментів системи. Від початку сушіння вологість зеленого солоду знижується з 41-43 до 3,5-4,0 % для світлих і 1,5-2% для темних сухих солодів. У процесі втрати солодом води розрізняють дві стадії:

1) підсушування або висушування свіжопророслого солоду до вологості 18-20%, що відповідає точці гігроскопічності. Подальше підсушування до 10% відбувається дещо складніше, але все ж достатньо просто, бо волога, що видаляється, є міжклітинною;

2) висушування, після якого вміст вологи у світлому солоді досягає 3,5-4,0%, а в темному - 1,5-2,0%. Тут видаленню вологи протидіють капілярні, а наприкінці й колоїдні взаємодії, які утримують воду всередині зернівки. На цій стадії відбувається зморщування ростків і вони відпадають. Зневоднювання відбувається за температури 80-105 °С.

Відомо, що ферменти солоду за підвищеної вологості є дуже термолабільними, тому під час термічного оброблення підвищення температури і зниження вологості мають бути у чітких співвідношеннях [1, 3]. На початку сушіння в солоді тривають процеси дихання і життєдіяльності, але підвищення температури і зниження вологості призводять до руйнування дихальних ферментів. На першій стадії сушіння триває нагромадження амінокислот і цукру за рахунок діяльності гідролітичних ферментів.

Ферментативній фазі відповідає інтервал температур від 40 до 70 °С. За низької вологості ферменти проявляють значно більшу стійкість і зберігаються тим краще, чим раніше буде видалена волога. Ці обставини

враховують за використання різних способів сушіння світлих і темних солодів.

У світлих солодах, внаслідок видалення значної кількості вологи на ранніх стадіях, відбуваються невеликі зміни ферментного складу.

Темні солоди підсушуються за вищих температур і вологості, коли ферменти проявляють більшу активність і утворюють більше продуктів розщеплення. Темний солод з порівняно високою вологістю потрапляє в зону температур вищу за 80 °С і потім висушується за 100-105 °С, що призводить до більших втрат ферментів порівняно з випадком отримання світлого солоду.

Хімічна фаза сушіння настає за температур вище від 70 °С, які несприятливі для більшості ферментів. У цій зоні температур відбувається також коагуляція неферментативних білків, зменшується ступінь дисперсності колоїдних білкових речовин. Найсуттєвішими є хімічні перетворення, які призводять до утворення ароматичних і фарбних речовин. Починаються вони за порівняно низьких температур, але повністю колір і аромат формуються лише за 95-100 °С [1,3,4].

Наведена інформація дає певне уявлення щодо технологічних режимів і дозволяє перейти до систематизації і оцінки методів рекуперації теплової енергії на сушарках.

Відомо, що до числа факторів, які зумовлюють баланси теплових і матеріальних ресурсів та необхідний екологічний рівень, є технологічне і технічне забезпечення, вид первинних енергоносіїв, способи підготування сушильних агентів та кондиціювання повітря, рівень використання вторинних енергетичних ресурсів, ступінь автоматизації технологічних процесів.

Оцінюючи втрати енергетичних ресурсів солодовень, слід вказати на теплоту пророщування солоду, теплоту відпрацьованих газів та теплоту сушильного агента на сушарках.

Варто нагадати ще й про те, що під час роботи холодильних установок у багатьох випадках мільйони кілоджоулів теплової енергії знімаються з конденсаторів і передаються градирнями в атмосферу. У роботі [1] зазначено, що рециркуляція димових газів у сушарках зменшує витрати первинних енергоресурсів на 14 %, а витрати теплоти на сушарках або солодових заводах становлять 85-90 % загальних витрат її на виробництво солоду. В сушарках на 100 кг сухого солоду отримують близько 80 кг переведеної в стан пари вологи, а на отримання 1 т солоду за умови ощадливого енергокористування витрачають близько 4 млн кДж.

Втрати теплової енергії існують у вихідних матеріальних потоках димових газів, сушильного агента, солоду та в радіаційному або конвективному розсіюванні теплоти на спорудах та обладнанні.

Що стосується теплових втрат з вихідними матеріальними потоками сушарок, то в багатьох випадках здійснюють рекуперацію вторинних теплових ресурсів з димових газів і сушильного агента. Якихось вказівок на спроби утилізувати теплоту солоду після ростковідбивних машин ми не знайшли і пояснити це можна порівняно коротким періодом цієї технологічної операції та складністю технічного виконання такого процесу, хоча не варто стверджувати його безперспективність. У цьому зв'язку

нагадаємо, що цукрова промисловість широко використовує операцію рекуперативного охолодження цукру-піску після сушіння.

Втрати теплоти із сушильним агентом у солодосушарках становлять до 30 і навіть до 50 % загальних втрат на сушіння солоду. З метою зменшення таких втрат використовують скляні теплообмінники, в яких теплота передається вхідному потоку повітря, що надходить потім у теплогенератор або калорифер. У теплообміннику накопичується конденсат водяної пари, який видаляється безперервно або циклічно.

Є дані, що скляні теплообмінники скорочують витрати палива на 30-35 %, а термін їх окупності становить близько 2 років [4].

Використання скляних теплообмінників почалося з метою рекуперації теплоти димових газів у тепло- та парогенераторах. Саме скло як інертний матеріал дозволяє працювати в агресивному середовищі, яке створюється оксидами сірки, фосфору та іншими з'єднаннями. Окрім того, саме теплообмінні апарати з трубами порівняно великих розмірів дозволяють організувати перехресні значні потоки газів. Однак суттєвим недоліком їх є низька теплопровідність матеріалу труб.

Безсумнівно, конструктивне оформлення сушарки має неабияке значення з погляду зниження теплових втрат. За інших рівних умов їх мінімізація досягається в сушарці безперервної дії. Певний вплив на кінцевий результат має спосіб сушіння. У літературних джерелах є вказівки на те, що за умови імпульсного подавання сушильного агента вдається зекономити до 40 % енерговитрат на етапі сушіння і термічного оброблення порівняно зі звичайним режимом. Таке твердження, мабуть, може бути справедливим в екстремальних умовах, проте за умови правильно вибраних витрат сушильного агента на процес такий рівень економії енерговитрат здається сумнівним. Імпульсне сушіння солоду інтенсифікує технологічний процес за рахунок того, що в проміжках часу зупинки в подаванні сушильного агента температурний і концентраційний градієнти збігаються. Однак випаровування однієї й тієї самої кількості вологи потребує однакових енергетичних витрат, тому загальна кількість підведеної теплової енергії залишається однаковою. Проте економія можлива за рахунок скорочення загального часу сушіння і втрат у навколишнє середовище.

Можна погодитися з поширеною думкою щодо того, що критерієм оптимізації в сушінні солоду мають виступати "...мінімальні питомі енерговитрати за умови високої якості цільового продукту..." [1]. Але таке твердження нічого не визначає, оскільки потребує роз'яснення термін "висока якість цільового продукту". Добре відомо, що в її досягненні дрібниць немає від самого початку виробництва солоду.

Наразі є можливість ґрунтовніше визначити умови досягнення оптимізації, погоджуючись на такий термін, як питомі енергетичні витрати. Оскільки за інших рівних умов точно відомим є співвідношення між вологістю солоду і його температурою, то для його підтримання залишається один фактор впливу - кількість сушильного агента, що подається за одиницю часу.

Контрольним параметром оптимізації за таким критерієм має бути відносна вологість відпрацьованого сушильного агента. Останній показник має

корелювати з вологістю солоду. Таким чином, якщо втримувати показник відносної вологості в межах розрахункової номінальної, то це означає мінімізацію теплових витрат. Зниження відносної вологості нижче номінальної за заданої температури означає наявність теплових втрат.

Певна їх компенсація відбуватиметься в разі використання рекуператора теплової енергії, а за відсутності останнього втрати стають незворотними.

Заслуговує на увагу думка фахівців Воронежської академії харчових технологій та Українського державного університету харчових технологій [1], яка ґрунтується на системному аналізі біотехнологічних процесів, що відбуваються в разі ворушіння солоду під час сушіння і термічного оброблення. Встановлено, що ворушіння солоду в цей період не прискорює сушіння, а навпаки - знижує його ефективність.

Фізичну суть такого явища пояснюють тим, що за умови наявності значного шару солоду до першого перемішування утворюється вагома різниця вологості зерна по висоті. Очевидно, що й сушительний агент змінює показник своєї відносної вологості саме по висоті шару. Тому імовірно, що більш висушений солод нижніх шарів, потрапляючи у верхні шари після перемішування, опиниться в умовах поза межами зрівноваженого стану за вологістю і в результаті зволожуватиметься. За зовнішніми оцінками в цьому твердженні є логічні ознаки, однак ґрунтовних доказів автори не наводять. Зрозуміло, що відсутність перемішування певною мірою спрощує технологію і призводить до зменшення витрат електроенергії, однак те, що нижні й верхні шари солоду за весь цикл отримують різні впливи сушительного агента, сумніву не викликає. Зі збільшенням шару солоду ця різниця впливів зростає. Негативні явища повторного зволоження можна нівелювати, наприклад, за рахунок активного перемішування, проте дедалі більшого поширення набуває практика сушіння солоду у високому шарі і без перемішування. А за таких умов рекуперація теплоти сушительного агента стає обов'язковою.

Хоча питаннями утилізації теплоти сушительних агентів займаються виробничники і вчені вже близько ста років, вітчизняні підприємства мають обмежений досвід експлуатації рекуператорів. Утім, подальший розвиток виробництва солоду багато в чому залежатиме саме від упровадження енергозберігаючих технологій.

У літературних джерелах [4-6] вказується на те, що до числа утилізаторів теплоти належать: 1) регенератори - обертальні, статичні з насадками, пластинчасті; 2) рекуператори пластинчасті, трубчасті, з проміжним теплоносієм; 3) теплові насоси; 4) багатокамерні (баштові), з проміжним теплоносієм; 5) теплообмінники з тепловими трубами статичні та відцентрові. Створення рекуператорів пов'язано з проблемою підвищення коефіцієнтів теплопередачі, оскільки температурні перепади обмежені. Особливості рекуперації на сушарках солоду полягають у необхідності передачі теплоти від одного порівняно великого газового потоку до іншого. За таких умов важко обійтися без проміжного теплоносія. Якщо теплоносієм вибрати таким чином, щоб на ділянці відбирання теплоти у відпрацьованого агента він кипів, а на ділянці передачі теплоти свіжому повітрю

конденсувався, то фазові переходи проміжного теплоносія дадуть найбільші з можливих коефіцієнтів тепловіддачі.

Необхідні значення коефіцієнтів теплопровідності можна отримати відповідним вибором матеріалу поверхні теплопередавання. Очевидно, що лімітувати процес за таких умов будуть коефіцієнти тепловіддачі від агента до стінки теплопередавальної поверхні і від неї до свіжого повітря. Відомо, що на цих ділянках інтенсифікувати процес можна за рахунок швидкості газових потоків, проте останнє пов'язано зі зростанням втрат напору.

Із цією метою рекуператори виконують у вигляді багатоходових теплообмінників, і збільшення числа ходів наближає такі апарати з перехресним ходом потоків газів до протиточних апаратів. Завдяки цьому зростає рівень рекуперації і зменшуються різниці температур газових потоків на вході та на виході теплообмінників.

Створення такої схеми рекуперації, однак, пов'язується з необхідністю врахування режимів роботи сушарок, бо відомо, що температура сушильного агента на виході змінюється в одному циклі від 20 до 85-100°C. Змінюється також і температура повітря, що забирається на процес. За таких умов реалізація системи з фазовими переходами проміжного теплоносія можлива лише за рахунок зміни тиску в його контурі. Схематичне зображення системи наведено на рис. 1.

Для системи з фазовими переходами проміжного теплоносія циркуляційний контур 2 перетворюється власне на теплову трубу з розвиненими зонами випаровування і конденсації, роль яких відіграють теплообмінники 1 і 3 відповідно. За вертикального розташування системи (як на схемі) гравітаційні сили повертатимуть конденсат проміжного теплового агента у випаровувач теплообмінник 1. За таких умов робота буде можливою і без насоса 5.

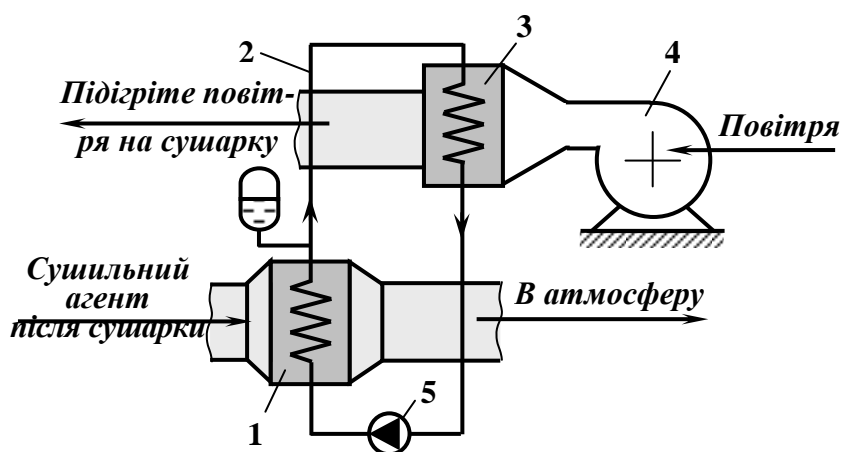


Рис. 3. Схеми рекуператора з проміжним теплоносієм: 1 – теплообмінник для відбирання теплоти у відпрацьованого сушильного агента; 2 – циркуляційний контур проміжного теплоносія; 3 – теплообмінник для нагрівання свіжого повітря; 4 – вентилятор; 5 – насос

Практично в діапазоні температур системи можливе використання води як проміжного теплоносія, і тоді використання насоса 5 буде бажаним, оскільки конвективної циркуляції буде недостатньо. Важливим є те, що така система може бути здійснена на основі складових, які поставлені на серійне виробництво підприємствами України.

За умов фазових переходів можуть працювати такі теплоносії, як аміак, фреони або навіть вода за створення відповідного розрідження в циркуляційному контурі. Перші два з числа перелічених теплоносіїв використовуються і в теплових насосах, хоча можливий діапазон температурних режимів за їх використання може бути суттєво більшим.

Нагадаємо, що тепловий насос складається з тих самих основних елементів, що й холодильний пристрій (випаровувач, компресор, конденсатор, дросель). Завдяки останньому отримуємо можливість здійснювати конденсацію і випаровування за різних тисків і температур, і це дає змогу відбирати теплоту в охолодженіших матеріалів і передавати нагрітішим за рахунок роботи компресора. Холодильний коефіцієнт для різних теплових насосів становить від 3 до 7 одиниць, і це означає, що на 1 кВт потужності припадає від 3 до 7 кВт теплових потоків.

Важливою перевагою теплового насоса можна вважати можливість роботи в умовах змінних температур охолоджувального потоку сушильного агента і свіжого повітря. Вибором температурних режимів процес відбирання теплоти у відпрацьованого сушильного агента доцільно спрямовувати в режим конденсації вологи для підвищення ефективності процесу. Проте слід пам'ятати, що за наявності сірковмістних первинних теплоносіїв і коли продукти згоряння є сушильним агентом термін роботи теплообмінного апарата різко скорочується.

Та обставина, що в режимі конденсації вологи відпрацьований сушильний агент осушується, дає можливість певну його частку повертати в режимі рециркуляції в калорифери на вхід до сушарки. Взагалі використання теплових насосів і осушування повітря дають можливість створення замкнених циклів користування повітрям.

У літературних джерелах є вказівки на можливість використання хімічних осушувачів повітря, наприклад, літій-хлоридних. Осушене повітря дає змогу майже на третину скоротити процес і повністю перейти на рекупераційне повітря, що мінімізує енергетичні витрати, хоча літєвий осушувач потребує певної кількості теплоти для регенерації робочого середовища.

Випуск теплових насосів для відповідної підготовки повітря (нагрівання й охолодження) на рівні серійних агрегатів освоєно на Мелітопольському заводі холодильного машинобудування під назвою теплохолодильних установок. Як холодильний агент використовують фреон-142, який має вищу температуру конденсації, ніж фреон-12. За тиску в межах 0,6-1,1 МПа після компресора повітря, долаючи конденсатор, нагрівається до 40-67°C.

Перспективою є можливість отримання температури сушильного агента 60-80 °C за використання фреонів, а для вимог отримання більш високих температур потрібно використовувати інші речовини або комбінувати нагрівання повітря в теплових насосах з іншими методами енергопідведення.

У практичних умовах робота таких систем здійснюється з коефіцієнтом трансформації енергії, який є відношенням енергії, що передається сушильному агенту в конденсаторі, до використаної енергії в компресорі, рівним від 4,5 до 5,4 одиниць. За таких співвідношень використання теплових насосів стає економічно доцільним, і навіть в умовах сезонних виробництв сільського господарства вони почали здобувати ширше використання в країнах Європи та Америки.

Поєднання інтересів процесів пророщування солоду і його сушіння досягається саме використанням теплових насосів, оскільки відпрацьоване повітря після сушарки охолоджується у випаровувачі й може бути спрямоване на аерацію в солодоростильні пристрої. Останнє доцільно і в літній, і в зимовий сезони, оскільки влітку буде отримано охолоджене і насичене вологою повітря, а взимку зникає необхідність енергетичних втрат, пов'язаних з нагріванням холодного повітря. Принципову схему такої системи комплексного використання теплового насоса наведено на рис. 2 [1].

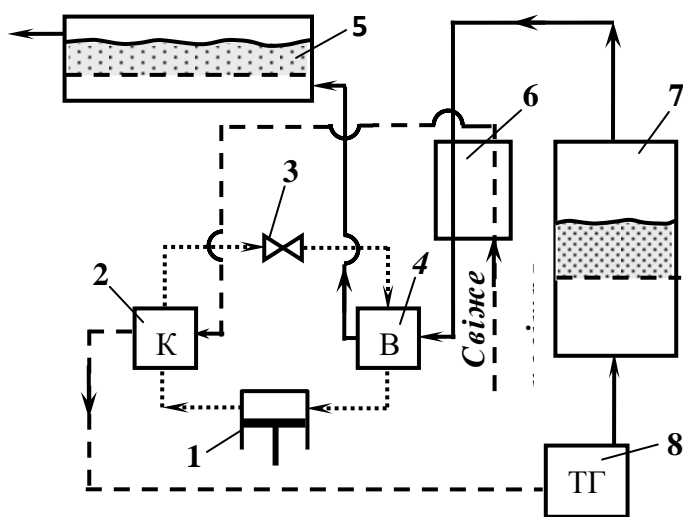


Рис. 4. Схема до комплексного використання теплового насоса у виробництві солоду: 1 – компресор; 2 – конденсатор; 3 – дросель; 4 – випаровувач; 5 – солодоростильний ящик; 6 – теплообмінник; 7 – сушарка; 8 – теплогенератор

Література

1. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива. - К., "Урожай". - 1999. - С. 542.
2. Нарцисс Л. Технологія солода. - М., "Пищевая промышленность". - 1980.-С. 503.
3. Мальцев П.М. Технологія солода и пива. - М., "Пищевая промышленность". - 1964. - С. 858.
4. Гинзбург А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. - М., Агропромиздат. - 1985. - С. 336.

5. Смольский Б.М. Использование тепла низкотемпературных парогазо-вых теплоносителей при помощи пластинчатых теплообменников. - Минск, ИТМО АН БССР, Продпринт № 4. - 1981. - С. 36.

6. Смольский Б.М., Васильев Л.Л. Теплообменники для утилизации вторичных энергоресурсов. - ИФЖ, т. XII. № 2. - 1982. - С. 335-345.

7. Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Бут С.А. та ін. Деклараційний патент на корисну модель № 15647 (Р 25В1/00; С 12С7/00) "Система рекуперації енергетичних потоків у виробництві солоду. Опубл. 17.07.06, бюл. № 7.