

БКК 36я2

С 74

Соколенко А.І., д-р техн. наук,
Піддубний В.А., д-р техн. наук,
Якимчук М.В., к-т техн. наук,
Шевченко О.Ю., д-р техн. наук,

Національний університет харчових технологій

ЛОГІСТИКА ЕНЕРГООЩАДНОЇ ВЗАЄМОДІЇ МАТЕРІАЛЬНИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ В ПИВОВАРНІЙ ГАЛУЗІ

Початок третього тисячоліття від 2000 до 2008 року характеризувалися стабільним зростанням світової економіки, за яким мало місце зростання валового продукту на рівні 4 % за рік. Відповідним чином зростало і споживання енергоресурсів, важливою складовою яких були нафта і нафтопродукти. За даними [1] із 1998 р. – часу локального мінімуму до 2005 р., коли середньорічна вартість "чорного золота" в поточних цінах перевищила \$ 50 за барель, нафта подорожчала не менш, як у четверо. У 2006 році зростання цін продовжилося. Наприклад, якщо вартість російської експортної суміші Urals у січні–березні становила \$ 58,2 за барель (+ 35 % порівняно з аналогічним періодом 2005 р.), то в липні–вересні – вже \$ 70,2 за барель (+ 22 %).

Вважається, що бум на нафтовому ринку був спричинений як збільшеним попитом на вуглеводну сировину, так і зменшенням видобутку і перероблення. Окрім того мали місце і суб'єктивні причини, пов'язані зі спекуляціями на світових біржах.

Названі цінові трансформації, очевидно, стали однією з причин помітного зменшення приросту світової економіки, починаючи з 2008 року. За рахунок цього явища, яке оцінюється як світова криза, впав попит на нафту і нафтопродукти, що відобразилося зниженням цін на них до рівня \$ 40 за барель. Однак вказане падіння цін на нафту для України залишилося майже непоміченим, що пояснюється важливою роллю суб'єктивних чинників.

Проте на економіку держави впливав і впливає на високому рівні такий об'єктивний чинник, як імпортований газ, ціна на який від 2000-ного року також зросла не менше, як учетверо. Наведена інформація вказує на те, що діяльність підприємств в енергетичній сфері повинна враховувати, а на краще прогнозувати динаміку світових процесів.

Між тим відомо, що в структурі собівартості продукції вітчизняних підприємств енерговитрати у 3–5 разів перевищують показники сучасних світових технологій. [2, 3]. Ця обставина є важким тягарем з точки зору інтересів конкурентоздатності на світовому ринку. Виправлення такої ситуації є невідкладним завданням підприємств, галузей промисловості і економіки держави в цілому.

У зв'язку з викладеним завданням цього дослідження визначено оцінку потенціалу енергетичних втрат на ділянці варіння і охолодження пивного суслу і перспектив утилізації вторинних енергетичних потоків.

Значна кількість харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв ґрунтуються на використанні транзитних технологій, за яких енергетичні потенціали матеріальних носіїв теплових потоків після їх взаємодії з іншими матеріальними потоками скидаються в навколишнє середовище. Прикладом цього є відпрацьоване, як сушильний агент, повітря, вторинна пара сушларильних апаратів пивзаводів, відпрацьоване повітря з апаратів для вирощування мікроорганізмів, теплові потоки, що знімаються холодильними агентами з охолоджуваної продукції тощо.

Разом з тим, ті ж процеси сушіння різних напівфабрикатів або продукції, зерна, солоду, фруктів та овочів є ізоентальпійним, а рівень насичення сушильних агентів парою відображує разом з температурою суміші їх енергетичний потенціал. Очевидно, що він близький до енергетичного потенціалу первинного енергоносія. При цьому можливості використання потенціалу вторинного матеріального теплоносія залежать від співвідношення його термодинамічних параметрів і наявності способів трансформації останніх. За таких умов виживим є використання фазових переходів, інверсії фаз, принципів перерозподілу тепло-

вої енергії тощо.

Теплові методи оброблення сировинних потоків в умовах їх кип'ятіння супроводжуються утворенням вторинної пари за рахунок використання потенціалу первинних енергоносіїв. Оскільки питома теплота пароутворення і теплота конденсації пари співпадають, то це означає можливість компенсації теплових витрат, пов'язаних з пароутворенням, а також обмеження енергетичних витрат первинного енергоносія рівнем компенсації втрат в навколишнє середовище.

Енергетичний потенціал вторинної пари може підвищуватися за рахунок її стискання в механічних або термокомпресорах або використовуватися в системах теплопередавання до матеріальних потоків з меншими температурами, в тому числі і в режимах конденсації.

Конденсація парової фази в складі повітряно-парової суміші після процесів сушіння вологовмісткої продукції може бути важливою складовою утилізації цієї частини теплового потоку, яка одночасно доповнюється потенціалом охолоджуваної газової фази.

Здійснення таких процесів з використанням випарників теплових насосів дозволяє розв'язати дві паралельні задачі виробництва. Перша з них стосується трансформації низькопотенціальної енергії вихідного матеріально-теплового потоку у високопотенціальну енергію з розгалуженими можливостями її використання. Інша ж задача стосується використання охолодженого газового потоку, наприклад, в системах живлення повітряних компресорів, стабілізації параметрів термокамер, для кондиціонування повітря тощо.

Проте повноцінні переваги у створенні сучасних технологій мають системи замкнутого енергокористування у вигляді відповідних контурів, в основу яких покладаються принципи перерозподілу і трансформації енергетичних потоків, рекуперація матеріально-теплових потоків, використання енергетичних накопичувачів, економічних режимів роботи теплохолодильних установок, логічний перерозподіл пікових навантажень у часі тощо.

Рекуперація тепломатеріальних потоків є ефективним напрямком знижен-

ня енергетичних витрат на їх організацію. Рівень рекуперації у більшості випадків обмежується зміною складу потоків і накопиченням в них небажаних компонентів. Вилучення останніх відкриває можливості суттєвого збільшення частки рециклів.

Підходи на рівні синергетичних та ексергічних в оцінці обладнання та процесів відкривають резерви в підвищенні їх ефективності і є перспективними.

Наведемо приклади, які стосуються використання замкнутих контурів енергокористування і рекуперативного повернення матеріально-енергетичних потоків.

Відомо, що пивоварна галузь промисловості оцінюється, як суттєво енергозатратна [2, 3]. Так за варіння суслу 8–12 % його перетворюється у вторинну пару [4]. На більшості підприємств України цей потенціал не використовується і виробництво кожної тисячі гектолітрів пива супроводжується тепловими втратами $22,6 \cdot 10^9$ Дж, що еквівалентно теплоті згорання близько 540 м^3 газу з теплотворною здатністю 42000 кДж/м^3 .

До числа причин такого становища відносяться циклічний характер виробництва на цій ділянці та відносна складність системи рекуперації (утилізації) вторинної пари (рис. 1).

Еквівалентним за результатом є варіант використання механічної компресії вторинної пари (рис. 2).

До числа недоліків обох вказаних схем відноситься можливість потрапляння повітря до складу вторинної пари, що приводить до погіршення конденсації і теплопередавання в сорочці сушварильного апарата. Проте такий недолік не має місця за умови, якщо вторинна пара в режимі барботажу передається у водне середовище, наприклад, у пляшкормийну машину або у ванни пастеризатора фасованої продукції (рис. 3).

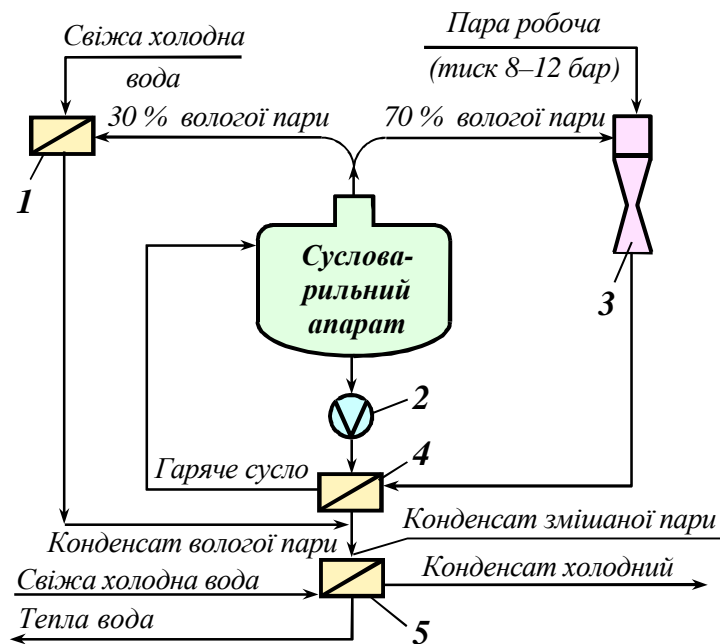


Рис. 1. Схема використання тепла сушварильного апарата за допомогою пароструминного компресора: 1 – конденсатор пари; 2 – насос для перекачування сушла; 3 – пароструминний компресор; 4 – виносний кип'ятильник; 5 – охолоджувач конденсату вологої пари

Зварене пивне сушло з температурою близькою до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ передається у відстійний чан. За технологічними вимогами його необхідно охолодити до $6\text{--}12\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає початку бродіння.

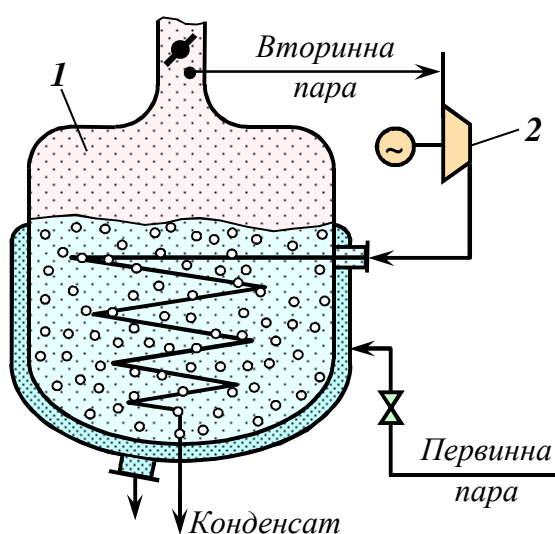


Рис. 2. Схема апарата з механічним компресором: 1 – сушварильний апарат; 2 – механічний компресор

Однак за класичною технологією у зв'язку з необхідністю здійснення коагуляції і вилучення білкових осадів необхідно витримувати певний температурно-погодинний режим. У більшості випадків охолодження здійснюється з використанням внутрішньої трубчастої системи охолодження в інтервалі від 98 до $40\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Після охолодження до вказаних температур і осадження білкових зависей сушло декантацією виводиться з

чану і швидко охолоджується в зовнішніх охолоджувальних пристроях. Загальна кількість теплової енергії, що при цьому відводиться від 200 гектолітрів складає

$$Q = mc(t_{(п)} - t_{(к)}) = 20000 \cdot 4,2(98 - 8) = 7560000 \text{ кДж},$$

де m – маса суслу; c – теплоємність суслу; $t_{(п)}$ і $t_{(к)}$ – відповідно початкова і кінцева температури суслу.

Утилізація теплової енергії хоча б першої фази дозволила б повернути 4870000 кДж, що еквівалентно 116 м³ природного газу.

Заслуговує на увагу також і оцінка витрат охолоджуючої води

$$m_{в} = \frac{Q_{ч}}{c_{в}(t_{(к)в} - t_{(п)в})} = \frac{6552000}{4,19(45 - 15)} = 52124 \text{ кг},$$

де $Q_{ч}$ – кількість теплоти, що відбирається у відстійному чані за охолодження суслу до 20 °С; $t_{(к)в}$ і $t_{(п)в}$ – відповідно кінцева і початкова температури води.

Таким чином за вказаних технологій витрати води на охолодження приблизно у 2,5 рази перевищують об'єм продукції. У зв'язку з цим виникає необхідність у пошуку інших можливостей в організації теплофізичних процесів.

До числа найбільш дієвих варіантів у цьому випадку слід віднести організацію охолодження суслу в режимі протитоку. При цьому можливо одержати подвійний ефект, оскільки максимальним буде вилучення теплової енергії і мінімальними витрати води.

На можливість такого варіанту має місце вказівка в роботі [5], однак при цьому відсутня інформація щодо виконання умов утворення і видалення білкових осадів.

В роботі [3] пропонується схема охолодження суслу та охолодження з використанням теплової труби з передаванням енергетичного навантаження на

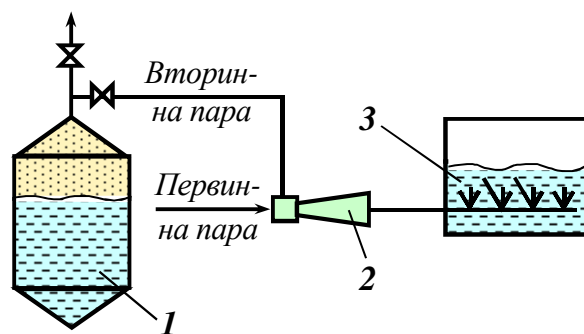


Рис. 3. Схема до утилізації вторинної пари: 1 – суслорварильний апарат; 2 – ежектор; 3 – пляшкоюйна машина або пастеризатор

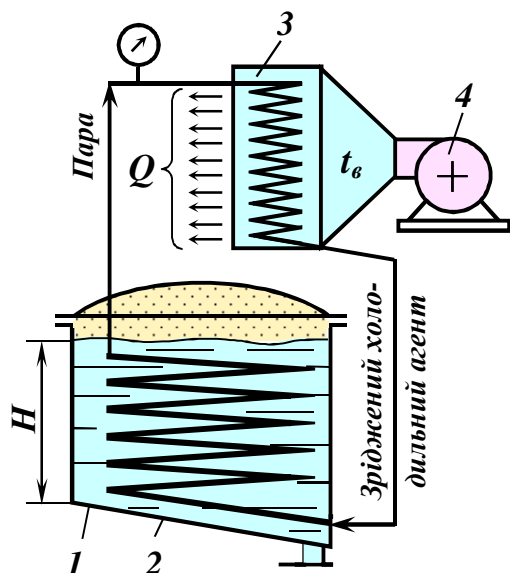


Рис. 4. Схема системи охолодження суцільної труби з аналогом теплової труби: 1 – відстійний чан; 2 – змієвиковий випарник; 3 – повітряний конденсатор; 4 – вентилятор

повітряний потік (рис. 4). Важливо, що за реалізації такої схеми вплив на охолоджуване середовище відповідає технологічним вимогам.

Внутрішній об'єм системи охолодження заповнено холодильним агентом, а тиск в ній забезпечує фазові переходи в змієвиковому випарнику і конденсаторі.

Наведені на рис. 1 та 2 схеми відображують варіанти використання теплових насосів у різному апаратному оформленні. Проте фізичне підґрунтя в обох випадках стосується підвищення

температурного і енергетичного потенціалу вторинної пари, за яких стає можливим повернення її в систему нагрівання. Така трансформація термодинамічних параметрів досягається за рахунок підвищення тиску. При цьому відношення енергетичного потенціалу стиснутої вторинної пари у 5–7 разів перевищує енергетичні витрати на її стискання. Вказане співвідношення пояснюється тим, що за таких умов відсутні енергетичні витрати, пов'язані з генеруванням пари.

Висновки. 1. Розвиток конкурентноздатних переробної і харчової промисловостей можливий лише за повноцінного використання сучасних енергоощадних технологій, в основу яких покладено рекуперацію теплових потоків або їх трансформацію з використанням теплових насосів.

2. Механічна або термокомпресія вторинної пари мають приблизно однакову енергетичну ефективність, однак в апаратному оформленні термокомпресори виглядають менш складними.

3. Утилізація вихідних низькопотенціальних теплових потоків є енергетично- і економічно доцільною за використання теплових насосів на основі зворотного циклу Карно.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рябцев Г.Л., Сапегін С.В., Лукач Ю.Ю. та ін. Ринок полімерів: чому не виправдовуються прогнози // Упаковка, – 2007. – № 1. – С. 8–10.
2. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива. – К.: Урожай, – 1999. – 542 с.
3. Соколенко А.И., Українець А.И., Яровой В.Л. и др. Справочник специалиста пищевой промышленности. Книга 2. Теплофизические процессы. Энергосбережение. – К.: АртЭк, – 2003. – 432 с.
4. Главачек Ф., Лхотский А. Пивоварение. – М.: Пищевая пром-сть. – 1977. – 624 с.
5. Кунце В. Технология солода и пива. – С.-Пб.: Профессия. – 2001. – 912 с.