

ASSESSMENT OF PROSPECTS FOR THE USE OF SECONDARY ENERGY RESOURCES OF BREWERIES

A. Sokolenko, O. Shevchenko, K. Vasylykivsky, S. Litvinchuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Energy resources
Brewery
Boiling department
Washing water
Congestion
Vacuuming*

Article history:

Received 28.04.2020
Received in revised form
11.05.2020
Accepted 28.05.2020

Corresponding author:

A. Sokolenko
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article analyzes the features of energy and technological transformations in the processes in breweries, indicating the existence of contradictions in the selection and use of the amount of washing water to filter congestion and energy consumption for wort concentration during boiling. The economic cost indicator which was selected as the optimization criterion in the system of “filtration — boiling” processes has led to the creation of an appropriate mathematical formalization, which presents such components as the cost of extractives and energy resources and thermodynamic parameters.

The analysis of the peculiarities of the preparation of congestion led to the conclusion that it is expedient to apply energy pulse effects by vacuum for the organization of adiabatic steam generation.

Information about the device for boiling with the use of vacuum chambers arranged in the transport system between mash and filtration devices and substantiation of thermodynamic processes is given. The potentials of the vapor phase synthesis and its quantitative indicators are determined under the energy source of the system, namely the heat of the mash mass in the conditions of known ranges of pressure decrease.

It is shown that the technological result of the influence of vacuum treatment on the solid part of the mash mass is accompanied by a limitation of the amount of washing water, energy resources and economic costs during wort boiling. This trinity opens the prospect of using the potential of the secondary vapor of wort brewing machines for drying unloaded from the filtration apparatus beer pellets in parallel with the wort boiling process.

The use of adiabatic phase transitions is one of the variants of discrete-pulse technologies with manifestations of energy-mechanical influences, in which there is no need to separate the generated vapor phase. The latter allows in this technology to be limited to the manifestation of only the pulse itself, the result and course of which in time depends on the level of pressure drop in the volume of the medium.

ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ВАРИЛЬНИХ ВІДДІЛЕНЬ ПИВЗАВОДІВ

А. І. Соколенко, О. Ю. Шевченко, К. В. Васильківський, С. І. Літвинчук
Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано особливості енергетичних і технологічних трансформацій у процесах варильних відділень пивзаводів з вказівкою на існування протиріччя при виборі та використанні кількості промивних вод для фільтрації заторів і енергозатрат на концентрування сусла під час варіння. Вибраний за критерій оптимізації в системі процесів «фільтрація — варіння» показник економічних витрат привів до створення відповідної математичної формалізації, в якій представлено такі складові, як собівартість екстрактивних речовин та енергетичних ресурсів і термодинамічні параметри.

Аналіз особливостей приготування заторів підтвердив доцільність застосування енергетичних імпульсних впливів шляхом вакуумування для організації адіабатного генерування пари.

Наведено інформацію про влаштування варильних агрегатів із застосуванням вакуумних камер, вмонтованих у транспортну систему між заторним і фільтраційним апаратами, та обґрунтування термодинамічних процесів. За енергетичного джерела системи, зокрема теплоти заторної маси в умовах відомих діапазонів зниження тисків, визначено потенціали синтезу парової фази та її кількісні показники.

Показано, що технологічний результат впливу вакуумної обробки на тверду частину заторної маси супроводжується обмеженням кількості промивних вод, енергетичних ресурсів і економічних витрат при варінні сусла. Вказана триєдність відкриває перспективу використання потенціалу вторинної пари суслотварильних апаратів для сушіння невивантаженої з фільтраційного апарата пивної дробини в паралельному з варінням сусла процесі.

Використання режимів адіабатних фазових переходів є одним з варіантів дискретно-імпульсних технологій з проявами енергомеханічних впливів, за яких відсутня необхідність відокремлення генерованої парової фази. Останнє дає змогу в цій технології обмежитись проявом лише самого імпульсу, результат і перебіг якого у часі залежить від рівня зниження тиску в об'ємі середовища.

Ключові слова: енергетичні ресурси, пивзавод, варильне відділення, промивні води, затор, вакуумування.

Постановка проблеми. Особливості перебігу технологічних операцій на різних етапах виробництва інколи формулюють вимоги до оброблюваних середовищ, які суперечать одна одній. Саме вони лежать в основі того, що оптимальні умови ведення процесів і нині не досягаються. До відомих протиріч належать вимоги глибокого вилучення екстрактивних речовин із зерноприпасів і забезпечення якісної фільтрації пивних заторів при обмеженні кількості про-

мивних вод [2; 3; 5]. При цьому певне значення має сам солод і його якісні показники. Подрібнюється він зволуженим і склад помелу залежить також від способів його затирання та фільтрації.

Неподрібнені оболонки в процесах фільтрації утворюють фільтраційний шар, на якому формується вся структура, швидкість відокремлення рідинної фракції і ступінь її освітлення.

Метою затирання є екстрагування розчинюваних речовин солоду та несо- лоджених матеріалів і переведення під дією ферментів нерозчинених речовин у розчинні. Такі речовини, як вуглеводи, частково білки та продукти їх гідролізу легко переходять у розчин. Основні ж компоненти зерноприпасів — крохмаль і білки — нерозчинні. Саме тому завдяки спрямованій дії ферментів вони пере- водяться у розчинний стан з накопиченням у середовищі декстринів, мальтози та глюкози.

Оцукрений затор складається з рідинної фази (пивне сусло) і твердої (пивна дробина). На першій фазі здійснюється, власне, фільтрування основного сусла, а на другій — вимивання екстракту з дробини. Очевидно, що ступінь вимивання екстракту залежить від структури помелу і кількості промивної води, що по- дається на процес. Збільшення останньої приводить до зростання ступеня ви- лучення екстрактивних речовин, але разом з тим це приводить до необхідності збільшувати кількість випару при варінні сусла.

Кількість води для промивання дробини залежить від кількості і концен- трації першого сусла та від концентрації екстрактивних речовин у суслотвариль- ному апараті, а збільшення кількості промивних вод означає необхідність збіль- шення кількості випару на наступній стадії.

Існує взаємозалежність між матеріальними й енергетичними потоками на цій ділянці [1; 4; 6], і отже, можливою є оптимізація цих співвідношень.

Метою дослідження є оцінка перспектив використання вторинних енерго- матеріальних ресурсів варильних відділень пивзаводів на основі переходів від локальних розв'язань задач удосконалення окремих процесів до їх поєднання в комплекс інтересів системи.

Матеріали і методи стосуються поглибленого аналізу перехідних процесів і процесів з усталеними режимами, які відповідають технологіям затирання, фільтрації, промивання заторів, варіння й охолодження пивного сусла. Від- слідковуються взаємні впливи у спробах підвищити рівні вилучення ек- трактивних речовин у процесах фільтрації з урахуванням компенсації випарів сусла в суслотварильних апаратах та відповідних енергетичних витрат. Щодо існуючих технологій вирішення вказаного протиріччя, пропонується на основі використання енергоімпульсних трансформацій у масових потоках середовищ зі зміною структури твердої фази заторів для поглиблення та прискорення ви- лучення екстрактивних речовин і переведення їх у рідинну фракцію.

В основі енергоімпульсних трансформацій оцінюються впливи змінних тис- ків і можливості використання потенціалів вторинної пари суслотварильних апа- ратів для сушіння пивної дробини.

Результати і обговорення. Структурою витрат на виробництво передбачається нормативний вихід екстрактивних речовин. За досягнення цього показника промивка припиняється, хоча економічна доцільність таких дій у більшості випадків залишається без оцінки. Проте остання є цілком досяжною і такою, яку цілком можливо одержати в умовах діючого виробництва.

Загальний алгоритм при цьому такий:

- на основі лабораторних оцінок визначається залежність між виходом в абсолютних одиницях маси екстрактивних речовин $m_{\text{ек.р}}$ і масою використаної для цього промивної води $m_{\text{в}}$. У загальній формі представимо її залежністю:

$$m_{\text{ек.р}} = Am_{\text{в}}^z,$$

де A та z — експериментальні для цієї системи коефіцієнти.

За собівартості одиниці екстрактивних речовин $c_{\text{ек.р}}$ додатковий економічний ресурс виробництва при цьому складе:

$$P_1 = c_{\text{ек.р}} m_{\text{ек.р}} = c_{\text{ек.р}} Am_{\text{в}}^z;$$

- визначаються додаткові енергетичні й економічні витрати, пов'язані зі збільшенням кількості випару. При цьому енергетичні витрати на теоретичному рівні (без урахування ККД енергетичної системи) складуть:

$$E_2 = rm_{\text{в}},$$

де r — теплота пароутворення. За собівартості енергії c_2 отримаємо:

$$P_2 = c_2 E_2 = c_2 rm_{\text{в}};$$

- виконуємо загальну оцінку економічної доцільності в діях з підвищення виходу екстрактивних речовин:

$$L = P_1 - P_2 = c_{\text{ек.р}} Am_{\text{в}}^z - c_2 rm_{\text{в}}.$$

Остання залежність надає можливість знайти екстремум функції L . Для цього виконаємо її диференціювання за параметром $m_{\text{в}}$:

$$\frac{dL}{dm_{\text{в}}} = c_{\text{ек.р}} Az m_{\text{в}}^{z-1} - c_2 r.$$

Прирівнявши до нуля останній результат, отримаємо:

$$c_{\text{ек.р}} Az m_{\text{в}}^{z-1} = c_2 r; \quad m_{\text{в}}^{z-1} = \frac{c_2 r}{c_{\text{ек.р}} Az}; \quad m_{\text{в}} = \sqrt[z-1]{\frac{c_2 r}{c_{\text{ек.р}} Az}}.$$

Ефективність процесів екстракції і фільтрації пивних заторів залежить від значної кількості чинників, починаючи від процесів замочування зернової маси і завершуючи режимами відлежування солоду і параметрів приготування заторів. Значення має як структура компонентів помелу з капілярно-пористою структурою, так і фізика впливів на них створюваних температурних полів, механічних впливів, режимів циркуляції тощо. Однак, незважаючи на вказану різноманітність впливів, слід звернути увагу на те спільне, що всім їм притаманне. Таким спільним щодо окремого компонента системи є те, що всі вони мають «зовнішні» дії, за яких градієнти відмічених температурних і силових впливів спрямовані в середину частинок і мають викликати ущільнення ос-

танні. З точки зору інтересів наступної дифузії з них екстрактивних водорозчинних речовин такий результат явно не є найкращим.

Можливість суттєвого впливу на додаток до традиційних методів теплової обробки та екстракції стосується режимів адіабатного кипіння середовищ. У таких режимах змінюються за напрямком градієнти температурних полів і збігаються градієнти масоперенесення. Окрім того, адіабатне пароутворення, що стосується кожної частинки твердої фази, супроводжується внутрішнім силовим впливом, величина якого залежить від динаміки загального зниження тиску (вакуумування) в системі. Така внутрішня силова дія приводить до збільшення, капілярів, пори розширюються або навіть досягається руйнування частинок. Наслідком таких структурних змін має бути прискорена і поглиблена екстракція.

Стосовно оброблення пивних заторів у режимах адіабатного кипіння, слід відмітити наявність фізичних і термодинамічних підстав для цього. До їх числа відносяться параметри, за яких варіння заторів завершується. Переведення заторної маси в режим адіабатного кипіння доцільно здійснювати при транспортуванні її до фільтраційного апарата. Таке вирішення технологічної схеми залишає без втручання всю технологію приготування заторів, що забезпечить необхідні якісні показники.

Обробка заторної маси в режимі адіабатного кипіння повинна передбачати керовані температурні режими. Це означає необхідність пропускання її через апарат зі зниженим тиском, величина якого повинна привести середовище в активне адіабатне кипіння.

У зв'язку з технологічними вимогами температуру затору, що передається у фільтраційний чан, обмежують величиною 76—78°C, хоча за більш високих температур процес фільтрування відбувається помітно швидше. Пояснюється вибір на користь вказаного діапазону температур тим, що α -амілаза при температурах вищих за 78°C все більше інактивується. Однак за фільтрування заторів нативний крохмаль ще переходить у розчин і повинен розщеплюватися.

Близько 75—80% маси засипу за затирання розчинюється (екстрагує), а нерозчинений залишок відокремлюється у вигляді дробини [6; 9]. Основна кількість утвореного екстракту складається з мальтози, мальтотріози, глюкози, які доповнюються раніше утвореними в ячмені сахарозою та фруктозою. У зв'язку з викладеним глибина вакуумування затору повинна забезпечувати його адіабатне кипіння при температурах від 78°C і нижче.

Пропозиції щодо створення систем з вакуумуванням потоків заторної маси відображені у патентах України 30540 [8] і 97895 [7]. В останньому випадку схема варильного агрегату відповідає рис. 1, а формула винаходу сформульована так: варильний агрегат для пива, що складається із заторного апарата, фільтраційного та сусловарильного апаратів, вакуумної камери з шлюзовими затворами, насоса, з'єднаних між собою системою трубопроводів, який відрізняється тим, що на ділянці трубопроводу між заторним апаратом і вакуумною камерою встановлено ежекційний пристрій, з'єднаний зоною розрідження з внутрішнім об'ємом вакуумної камери.

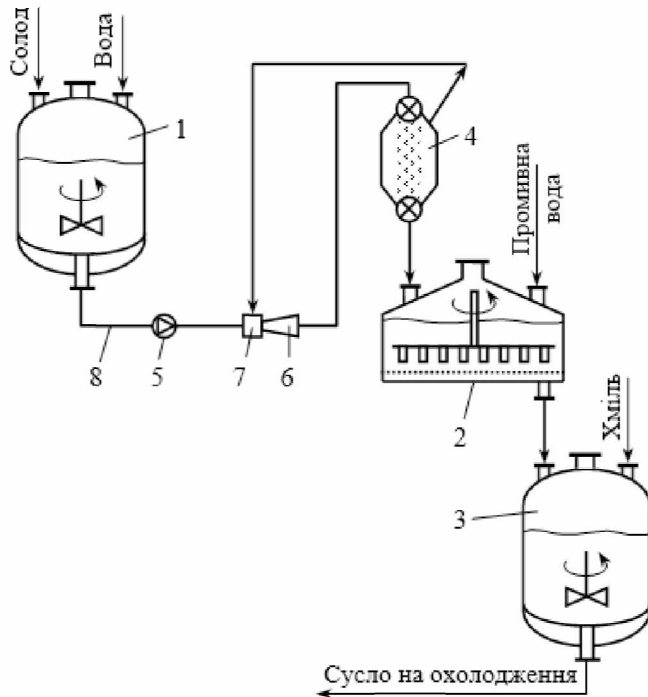


Рис. 1. Схема варильного агрегату для пива (патент України 97895)

Наслідком такої трансформації класичної схеми є поєднання технологічного, енергетичного та економічного ефектів.

Варильний агрегат (рис. 1) працює так: подрібнений солод і вода надходять у заторний апарат 1, в якому за температури 50—80°C здійснюється процес оцукрювання крохмалю та утворюється заторна маса. При подаванні заторної маси насосом 5 по системі трубопроводів 8 в зоні розрідження 7 ежектора 6 утворюється розрідження, завдяки якому камера 4 вакуумується, внаслідок чого потік зернової маси в ній переходить до режиму адіабатного кипіння з руйнуванням міжклітинних і клітинних структур заторної маси. Відсмоктувана з вакуумної камери вторинна пара стискається в ежекторі і повертає свій тепловий потенціал потоку. У фільтраційному апараті 2 здійснюється фільтрація мутного сусле, а прозоре сусле стікає в сушварильний апарат 3, в якому воно кип'ятиться з хмелем для досягнення необхідних технологічних показників.

Технічний результат полягає у можливості підвищення рівня вилучення екстрактивних речовин з заторної маси, зменшення втрат з пивною дробиною, зниження енерговитрат на процес концентрування пивного сусле та покращення якості продукції.

За необхідності підтримання підвищеного температурного режиму фільтраційної маси пропонується до використання варильний агрегат для пива за патентом України 50230 (рис. 2).

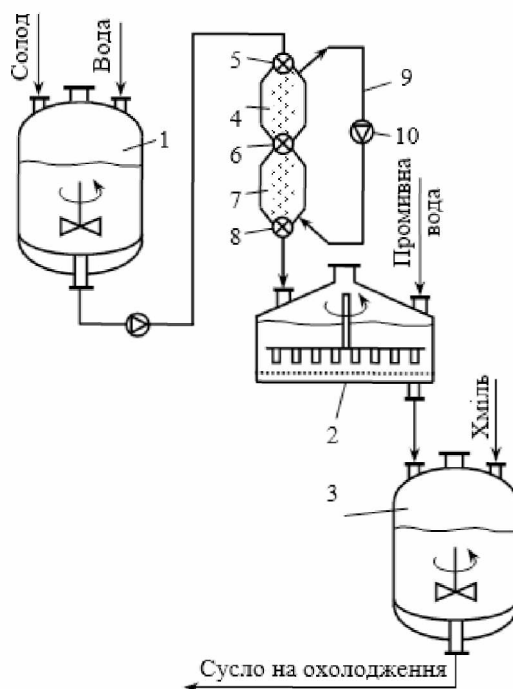


Рис. 2. Схема варильного агрегату для пива (патент України 50230)

Агрегат складається із заторного апарата 1, фільтраційного 2 та сусловарильного 3 апаратів, вакуумної камери 4 з верхнім 5 та нижнім 6 шлюзовими затворами, пароконтактної камери 7 з нижнім шлюзовим затвором 8, циркуляційного контуру 9 вторинної пари з компресором 10.

Подавання заторної маси у вакуумну камеру супроводжується адіабатним кипінням останньої з руйнуванням міжклітинних і клітинних структур зі зниженням температури від 80 до 70—78°C. Розрідження у вакуумній камері підтримується за рахунок роботи компресора циркуляційного контуру вторинної пари.

Стискання останньої приводить до підвищення температури, її енергетичний потенціал передається заторній масі в пароконтактній камері з підвищенням температури до 80°C. Технічний результат збігається з попередніми пропозиціями і в основній частині відповідає можливості зниження кількості промивних вод і обмеження втрат екстрактивних речовин.

Оцінка енергетичних впливів на заторну масу в періоди вакуумування зводиться до того, що за швидкоплинного перебігу процесу від моменту потрапляння потоку в зону розрідження з початковою температурою $t_{(n)} = 80^\circ\text{C}$ кінцева температура $t'_{(к)}$ на виході залежить від значення тиску. Надалі в наших оцінках значення параметрів відносимо на рідинну фазу. Так, воді з температурою 80°C відповідає значення ентальпії $h' = 335,2$ кДж/кг [10]. За таких умов адіабатному фазовому переходу відповідає тиск $P = 0,047359$ МПа.

Значенням можливих співвідношень термодинамічних параметрів відповідають дані табл. 1, в якій наявні тиски P , МПа, температури t , °С, ентальпії рідинної фази h' , кДж/кг, парової фази h'' , кДж/кг і теплоти фазового переходу r , кДж/кг.

Таблиця. Значення термодинамічних параметрів

P , МПа	t , °С	h' , кДж/кг	h'' , кДж/кг	h' , кДж/кг
0,1	99,63	417,51	2675,7	2258,2
0,09	96,71	405,21	2671,1	2265,9
0,08	93,51	391,72	2666,0	2278,8
0,07	89,96	376,77	2660,2	2283,4
0,06	85,95	359,93	2653,6	2293,7
0,05	81,35	340,57	2646,0	2305,4
0,04	75,89	322,60	2638,8	2316,2
0,03	69,12	289,31	2625,3	2336,0
0,02	61,15	268,18	2616,6	2358,1
0,01	45,83	191,84	2584,4	2392,6
0,005	32,90	137,77	2561,2	2423,4

З аналізу таблиці випливає, що початковій температурі середовища відповідає певне значення тиску, за якої розпочинається фазовий перехід. Якщо тиск у системі є змінним у часі у бік зменшення за всякої залежності $P = P(\tau)$, то його зниження приведе у кінцевому результаті до початкового тиску $P'_{(п)}$, що відповідає температурі середовища (наприклад, $t'_{(п)} = 80\text{ °С}$). Тоді кінцевому тиску $P'_{(к)}$ відповідає кінцева температура середовища $t'_{(к)}$.

Сполученням $P'_{(п)}$ і $t'_{(п)}$ та $P'_{(к)}$ і $t'_{(к)}$ відповідають значення ентальпій $h'_{(п)}$, $h''_{(п)}$, $h'_{(к)}$, $h''_{(к)}$ та енерговитрати на фазові переходи $r''_{(п)}$ та $r''_{(к)}$.

Різні закономірності в змінах тисків $P = P(\tau)$, у тому числі і за умови $P = \text{const} = P_{(к)}$ визначають динаміку перебігу процесу генерування парової фази, однак за різних значень $\tau_{(к)}$ загальні результати збігатимуться, що відображується графічною інтерпретацією $t = t(P)$ за даними табл. 1 (рис. 3).

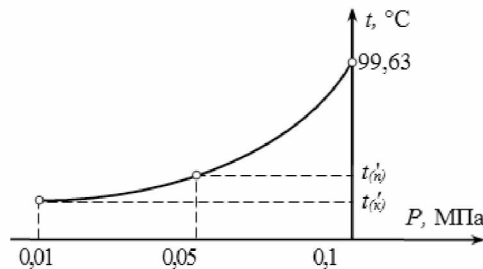


Рис. 3. Залежність між температурою і тиском фазового переходу

Прийнятим значенням $t'_{(п)} = 81,35\text{ °С}$ і $t'_{(к)} = 45,83\text{ °С}$ відповідають $P'_{(к)} = 0,01$ МПа, $h'_{(п)} = 340,57$ кДж/кг, $h'_{(к)} = 191,84$ кДж/кг, $r''_{(п)} = 2305,4$ кДж/кг і $r''_{(к)} = 2392,6$ кДж/кг, за яких різниця ентальпій $\Delta h'$ становить:

$$\Delta h' = h'_{(n)} - h'_{(к)} = 340,57 - 191,84 = 148,73 \text{ кДж / кг.}$$

Теплота фазового переходу в середньому обчисленні визначається залежністю:

$$r''_{\text{сеп}} = \frac{r''_{(n)} + r''_{(к)}}{2} = \frac{2305,4 + 2392,6}{2} = 2349 \text{ кДж/кг.}$$

Питоме співвідношення значень $\Delta h'$ і $r''_{\text{сеп}}$ дає змогу визначити кількість генерованої пари:

$$\Delta m_{\text{п}} = \frac{\Delta h'}{r''_{\text{сеп}}} = \frac{148,73}{2349} = 0,0633 \text{ кг/кг.}$$

Потужність енергетичного впливу визначається часом перебігу процесу і за значення $t_{(к)} = 10$ с отримаємо:

$$N = \frac{\Delta h'}{t'_{(к)}} = \frac{148,73}{10} = 14,873 \text{ кВт/кг.}$$

За умови попереднього нагрівання затору до 100°C розрахункові дані становлять:

$$\Delta h'' = 417,51 - 191,84 = 225,67 \text{ кДж/кг;}$$

$$\Delta m_{\text{п}} = \frac{225,67}{2325,4} = 0,097 \text{ кг} \quad \text{і} \quad N = \frac{225,67}{10} = 22,568 \text{ кВт/кг.}$$

Перехід до оцінок термодинамічної ситуації переведення систем вакуумування до незрівноважених станів з їх швидкоплинним перебігом за значень середніх потужностей приводить до висновку про їхню високу енергонасиченість. Саме імпульси високої потужності визначають фізичний вплив на систему з прискореним виходом рідинної фази із загальної маси, а ідея використання вакуумного насоса в ній означає, що відсмоктувана парова фаза повинна бути стиснута до значень, які перевершують зовнішній атмосферний тиск з відповідним збільшенням температури й енергетичного потенціалу. Враховуючи, що значення теплоти пароутворення і теплоти конденсації збігаються і відбувається енергетичне поповнення за рахунок стискання пари, можна зробити висновок про доцільність підтримання енергетичного потенціалу середовища завдяки використанню внутрішнього конденсатора або іншим способом. Одна з пропозицій такого напрямку відображена в розробці (рис. 2).

Головним результатом вакуумної обробки потоку заторної маси є можливість скорочення кількості промивних вод, вторинним наслідком якого є скорочення випарів суслу у сушловарильному апараті.

Разом з тим інтенсивне кип'ятіння сусла є обов'язковою складовою технологічного процесу, тому зменшення кількості промивних вод лише частково обмежує енерговитрати для концентрування сусла. У зв'язку з цим утворення вторинної пари підтверджує необхідність рекуперативного використання її потенціалу. Особливості побудови загальної технології і послідовностей процесів супроводжується відносними ускладненнями організації рекуперативних систем і поглибленого використання енергетичних ресурсів. Це пов'язано з їхньою несинхронністю, незбіганням величин потенціалів, необхідністю створення

систем накопичення і зберігання енергоматеріальних ресурсів. Нестандартна оцінка таких систем потребує пошуку і створення паралельних процесів з використанням потенціалів вторинних енергетичних ресурсів.

Послідовність процесів фільтрації заторів та кип'ятіння суслу і можливе паралельне виконання останнього з сушінням пивної дробини вкладаються в рамки послідовних і паралельних процесів. При цьому енергетичний потенціал вторинної пари співрозмірний енерговитратам на сушіння дробини. Таке поєднання втілюється в ідею, відображену в патенті України 98892 (рис. 4), за якою пропонується сушіння дробини здійснювати безпосередньо у фільтраційному апараті після завершення фільтрації і від початку утворення вторинної пари в сушварильному апараті. При цьому формула винаходу відображена таким чином: варильний агрегат для пива, що складається із заторного апарата, вакуумної камери, фільтраційного та сушварильного апаратів, з'єднаних між собою системою трубопроводів, який відрізняється тим, що паровий об'єм сушварильного апарата з'єднано з калорифером-нагрівачем системи подавання повітря в підситовий простір фільтраційного апарата.

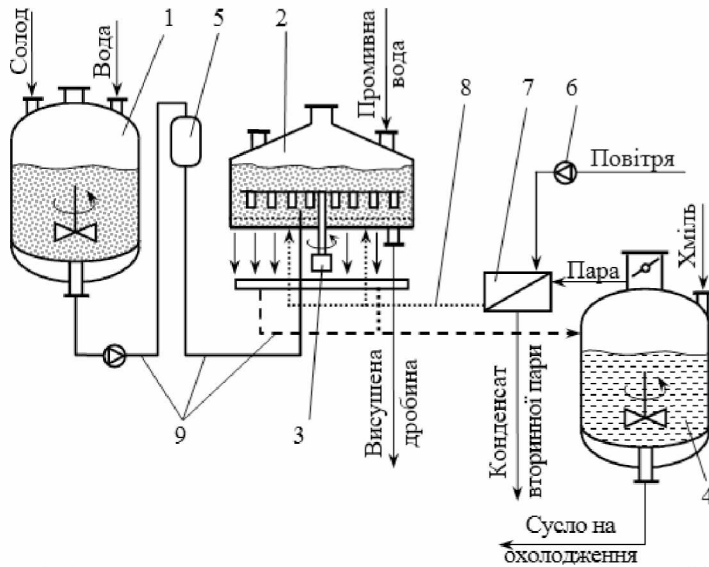


Рис. 4. Схема варильного агрегату для пива (патент України 98892)

У заторному апараті 1 за температури в діапазоні 50—80°C здійснюється оцукрювання крохмалю та утворюється заторна маса. З переходом останньої у вакуумну камеру 5 відбувається частковий фазовий перехід на рівні адиабатного кипіння з руйнуванням клітинних і міжклітинних структур солоду. Через нижній затвор вакуумної камери заторна маса потрапляє у фільтраційний апарат 2, в якому здійснюється фільтрація мутного суслу, прозоре сусле стікає у сушварильний апарат 4, де воно кип'ятиться з хмелем для досягнення необхідних технологічних показників.

Утворювана в сушварильному апараті вторинна пара подається в калорифер-нагрівач 7, в який повітродувною машиною 6 подається зовнішнє по-

вітря. В результаті взаємодії повітря нагрівається і подається системою подавання повітря 8 у підситовий простір фільтраційного апарата, рівномірно розподіляючись по площі його поперечного перерізу. Таке продування дробини гарячим повітрям забезпечує її сушіння в паралельному процесі з варінням сусла за рахунок використання потенціалу вторинної пари.

Висушена дробина механічно вивантажується з фільтраційного апарата за допомогою мішалки шару дробини. Переваги реалізації такої системи: мінімальна кількість обладнання для доукомплектації, яка обмежується калорифером-нагрівачем та повітродувною машиною. Важливо також, що енергозабезпечення здійснюється за рахунок потенціалу вторинної пари суловарильного апарата навіть у тих випадках, коли вона після термокомпресії використовується для процесу випарювання. Таке сполучення технології сушіння дробини і регенеративного використання вторинної пари на потреби суловарильного апарата дає змогу ліквідувати відомий недолік 30-відсоткового надлишку вторинної пари, що не вкладається в рамки регенерації [6].

Наразі ідея використання потенціалу вторинної пари суловарильних апаратів знайшла розповсюдження в оснащенні останніх рекуперативними конденсаторами, системами механічної або термокомпресії і разом з впровадженням попередніх пропозицій створює завершену систему використання вторинних енергоматеріальних ресурсів.

Висновки

Особливості технологічних вимог до перебігу процесів варильних відділень пивзаводів, їхня кількість і послідовність виконання приводять до висновку про відносну складність оптимізації несинхронних операцій. Так, варіння заторів, фільтрація, варіння пивного сусла та його охолодження організовані окремими операціями без спроб поєднання їхніх енергетичних потенціалів. При цьому недоліки процесів фільтрації заторів у зв'язку з їх промиванням перекладаються на операцію варіння зі збільшенням випарів.

Виконаний аналіз цих співвідношень вказує на можливість мінімізації економічних витрат за показниками вилучення екстракту й енерговитратами. Удосконалення системи досягається на стадіях передфільтраційної обробки заторів і варіння сусла.

Проведення процесу сушіння дробини паралельно з варінням сусла доцільно для поєднання можливостей фільтраційного та суловарильного апаратів.

Термодинамічна оцінка енергетичних імпульсних впливів вакуумування заторної маси в режимі транспортування за показниками потужності вказує на перспективи їх застосування.

Література

1. Бут С. А. Удосконалення процесів і обладнання у виробництвах солодів і пива. Київ: Кондор-Видавництво, 2016. 262 с.
2. Шевченко О. Ю., Соколенко А. І., Бут С. А., Степанець О. І. Замкнуті енергетичні контури в харчових технологіях. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Том 25, № 1. С. 116—127.

3. Шевченко О. Ю., Соколенко А. І., Степанець О. І., Бут С. А. Термодинамічна оцінка процесів рекуперації вторинних енергетичних ресурсів. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Том 25, № 2, С. 134—143.
4. Бут С. А. Особливості трансформації матеріальних і енергетичних потоків при приготуванні заторів. *Хранение и переработка зерна*. 2015. № 2(191). С. 52—55.
5. Бут С. А., Бондар В. І., Соколенко А. І. Термодинамічні співвідношення підготовки і фільтрації пивних заторів. *Хранение и переработка зерна*. 2015. № 3—4(192). С. 84—86.
6. Кунце В. *Технология солода и пива*. Пер. с нем. С.-Петербург: Профессия, 2001. 912 с.
7. Патент 97895 UA, МПК C12C 7/00, F04F 5/20 (2006.01) Варильний агрегат для пива / Соколенко А. І., Козодой Ю. А., Піддубний В. А.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № a201013165; заявл. 05.11.2010; опубл. 26.03.2012, Бюл. № 6, 2012 р.
8. Патент 30540 UA, МПК (2006) C12C 13/00 Варильний агрегат для пива / Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Піддубний В. А., Блаженко С. І., Васильківський К. В.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № u200713555; заявл. 04.12.2007; опубл. 25.02.2008, Бюл. № 4, 2008 р.
9. Домарецький В. А. *Технологія солоду та пива: підруч. для студентів вищ. закл. освіти, що навчаються за спец. «Технологія бродил. вир-в і виноробства»*. Київ: Урожай, 1999. 544 с.
10. Буляндра О. Ф. *Збірник задач з технічної термодинаміки*. Київ: НУХТ, 2015. 394 с.