

УДК 178.1/2-023.36:663.4

**Бліщ Р. О.,**

*roksolanaalex1976@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1143-5264,*

*Researcher ID F-8682-2019,*

*к.т.н., доц., доцент кафедри харчових технологій,*

*Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів*

**Петришин Н. З.,**

*n.z.lviv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7974-0308,*

*Researcher ID F-6163-2019,*

*к.т.н., доц., доцент кафедри харчових технологій,*

*Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів*

## **ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИГОТУВАННЯ ПІВНОГО СУСЛА**

**Анотація.** Постійно зростаюча вартість газу, нафти та інших джерел енергії вимагає не тільки їхнього раціонального використання на підприємствах агропромислового комплексу, але й розроблення та впровадження інноваційних технологій та устаткування, що спрямовані на ресурсоенергозбереження з урахуванням економічних, екологічних і соціальних аспектів. Харчові підприємства, зокрема виробництво пива, є енергоємними процесами, тому необхідним є раціональне використання енергії та ресурсів. Енергозбереження в харчовій галузі – один із найбільш важливих факторів, який сприяє підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних товарів. Доведено, що впровадження у харчову промисловість енергозберігаючих технологій дає змогу значно знизити собівартість продукції і підвищити прибутки на підприємстві. Розглянуто наявні способи зниження енерговитрат під час приготування пивного сусла у виробництві пива. Охарактеризовано заходи щодо збільшення використання вторинних теплових енергетичних ресурсів. Поєднання кількох технологій в одному проєкті дозволяють розширити функціональні можливості енергозбереження за рахунок повернення у виробництво не тільки тепла вторинної пари, але й теплоти гарячого охмеленого сусла, що виводиться з гідроциклонного апарату на стадію бродіння.

**Ключові слова:** пивне сусло, енергозбереження, технологія, вторинні теплові енергетичні ресурси, економія енергетичних ресурсів.

**Blishch R. O.,**

*roksolanaalex1976@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1143-5264,*

*Researcher ID F-8682-2019,*

*Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Food Technologies,*

*Lviv University of Trade and Economics, Lviv*

**Petryshyn N. Z.,**

*n.z.lviv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7974-0308,*

*Researcher ID F-6163-2019,*

*Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Food Technologies,*

*Lviv University of Trade and Economics, Lviv*

## **ENERGY SAVING TECHNOLOGIES FOR BEER WORT MAKING**

**Abstract.** The ever-increasing cost of gas, oil and other energy sources requires not only their rational use in agro-industrial enterprises, but also the development and implementation of innovative technologies and equipment aimed at saving energy and energy, taking into account economic, environmental and social aspects. Food production, in particular we will consider the production of beer, is energy-intensive process, so to minimize it the rational use of energy and resources is required. Energy saving in the food industry is one of the most important factors that contributes to raising the competitiveness of domestic goods. The perfection

*of a process can be assessed by the number of secondary energy resources generated during production: the less secondary heat is generated, the more efficient the technology. Modern technology must be waste-free, but often the output of secondary thermal energy resources is inevitable, so it is necessary to use them fully and skilled. It is proved that the introduction of energy-saving technologies in the food industry can significantly reduce production costs and increase profits at the enterprise. The existing ways to reduce energy consumption in the preparation of beer wort in beer production are considered. Measures to increase the use of secondary thermal energy resources are described. The combination of several technologies in one project allows to expand the functionality of energy saving by returning to production not only the heat of secondary steam, but also the heat of hot hopped wort, which is removed from the hydrocyclone apparatus at the fermentation stage. Therefore, given the available technologies, there are still opportunities to use and reduce energy consumption in the brewing industry.*

**Key words:** beer wort, energy saving, technology, secondary thermal energy resources, saving of energy resources.

**JEL Classification:** M1, L23

**DOI 10.36477/2522-1221-2021-28-02**

**Постановка проблеми.** Постійно зростаюча вартість газу, нафти та інших джерел енергії вимагає не тільки їхнього раціонального використання на підприємствах агропромислового комплексу, але й розроблення та впровадження інноваційних технологій та устаткування, що спрямовані на ресурсоенергозбереження з урахуванням економічних, екологічних і соціальних аспектів.

Розвиток України проходить з енергодефіцитною економікою, яка задовольняє свої потреби в паливно-енергетичних ресурсах за рахунок власного виробництва менш ніж на 50%. Підприємства харчової і переробної промисловості витрачають у середньому за рік біля 3,0 млн. тонн умовного палива та 1,8–2,3 млрд. кВт/год електроенергії. У структурі собівартості харчових продуктів паливна складова досягає 20%. Ось чому енергозбереження в харчовій галузі – один із найбільш важливих факторів, який сприяє підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних товарів.

Впровадження у харчову промисловість енергозберігаючих технологій дасть змогу значно знизити собівартість продукції й підвищити прибутки на підприємстві.

Харчові підприємства, зокрема розглядане у статті виробництво пива, є енергоємними процесами, тому необхідним є раціональне використання енергії та ресурсів.

Загальні витрати теплової енергії пивзаводу складають 81–128 МДж/гл товарного пива при загальних витратах теплової енергії на виробництво пива 130–185 МДж/гл. При цьому на кип'ятіння суслу витрачається 24–54 МДж/гл [7]. Усе це свідчить про актуальність проблеми скорочення затрат теплової енергії у пивоварному виробництві.

Технологія пива складається з таких технологічних стадій: приготування пивного суслу; освітлення та охолодження суслу; зброджування пивного суслу; доброджування пива; пастеризація та розлив.

Найпотужнішим споживачем теплової енергії є стадія приготування пивного суслу, яка складається з процесів одержання затору, його фільтрування та промивання дробини, кип'ятіння суслу з хмелем.

Пара, що використовується в цьому процесі, подається у заторний і сусловарильний котли для підігріву й кип'ятіння суслу. Кип'ятіння суслу в сусловарильному котлі є найбільш енерговитратним у всьому циклі приготування суслу.

**Постановка завдання.** Мета роботи – вирішення проблеми скорочення витрат теплової енергії у пивоварному виробництві на стадії приготування пивного суслу. Завданнями дослідження також передбачено розглянути заходи та технологічні прийоми, що сприятимуть зменшенню споживання теплової енергії та використання вторинного тепла під час приготування пивного суслу.

Досконалість того чи іншого процесу можна оцінити за кількістю вторинних енергетичних ресурсів, що утворюються під час виробництва: чим менше утворюється вторинного тепла, тим технологія ефективніша. Сучасна технологія повинна бути без- чи маловідходною, але часто вихід вторинних теплових енергетичних ресурсів є неминучим, тому необхідне їхнє повне та кваліфіковане використання [2].

Аналізуючи технічну літературу, в роботі ми поетапно розглянемо заходи, що сприятимуть зменшенню первинного споживання теплової

енергії та використання вторинного під час приготування пивного сусла.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Як відомо, найбільш енергоємними є декокційні способи затирання через тривалість процесу та високу температуру. Тому доцільно режим затирання солоду та зернопродуктів проводити інфузійним способом чи способом затирання за допомогою гарячої води, що дозволить зменшити витрати енергоносіїв.

Під час кип'ятіння сусла утворюється водяна пара в середньому від 4 до 10%, яку раніше випускали через витяжну трубу в атмосферу. Специфічний запах відчувався на значній території, що недоцільно з екологічної точки зору. За використання такого способу втрачається багато енергії, що сьогодні, враховуючи високі ціни на енергоносії, не є економічним.

Нині існує широкий діапазон способів кип'ятіння, що відповідають вимогам пивовара, наприклад, кип'ятіння за низького надлишкового тиску. За цієї технології сусло кипить 60–70 хв при температурі 103–106°C. Ступінь випаровування при кип'ятінні з використанням низького надлишкового тиску складає близько 6% [1]. За використання цього способу загальна тривалість кип'ятіння суттєво скорочується у зв'язку з підвищенням температури і прискоренням процесів розчинення й перетворення речовин. Якщо за традиційним способом кип'ятіння, де випаровується 12% (10–15%), витрати енергії становлять 14 кВт\*год, то тут 5-7%, а отже, економія становить 6кВт\*год/гл готового сусла.

У суслварильному котлі з виносним кип'ятильником сусло циркулює через кип'ятильник, що розміщений ззовні котла, і циркуляційний насос підбирають так, щоб весь об'єм сусла міг пройти через кип'ятильник 7–8 разів за годину. При цьому сусло постійно відбирається з нижньої частини суслварильного котла та перекачується через виносний кип'ятильник [4]. Цей спосіб кип'ятіння добре себе зарекомендував і успішно використовується на багатьох пивоварних заводах.

Спосіб динамічного кип'ятіння за низького надлишкового тиску передбачає підвищення та зниження тиску в діапазоні 1,0–1,2 бар (100–102 та 104–105°C) 6 разів на годину. При кожному такому скиданні тиску вміст апарату миттєво закипає з викидом пари водночас із леткими з'єднаннями. Вважається, що при використанні такої системи відгонка летючих з'єднань досягається при загальному випаровуванні у 4–5% [5].

Сучасні суслварильні котли тепер досить часто оснащуються внутрішнім кип'ятильником (перколятором), що являє собою кожухотрубний теплообмінник, розміщений у суслварильному котлі. З метою покращення теплопередачі в останньому шляхом збільшення швидкості потоку встановлюють циркуляційний насос, що подає сусло безпосередньо під нагрівач.

Інша конструкція внутрішнього кип'ятильника, що заслуговує уваги, представляє собою тонкоплівковий випаровувач [1]. Сусло при цьому кип'ятиться та випаровується у тонкому шарі, проходячи через конус, який обігривається паром у верхній частині двосекційного суслварильного апарату, нижня частина якого виконує функцію гідроциклонного апарату. Загалом сусло, що підлягає кип'ятінню, проходить через конус декілька разів, повертаючись у гідроциклонний апарат через боковий патрубок. При цьому завислі речовини гарячого сусла постійно видаляються. Вважається, що така конструкція дозволяє отримати якісний продукт зі ступенем випаровування 4–5% [5].

Під час кип'ятіння сусла з хмелем протягом 1–2 годин, окрім втрат енергії в навколишнє середовище, значна частина енергії переходить у пару, що виділяється із сусла, яка в більшості випадків також виводиться в атмосферу [4].

Повернення частини тепла здійснюють шляхом встановлення конденсатора вторинної пари, що підключений до витяжної труби котла. Якщо вторинну пару конденсувати в цьому апараті, то можна отримати назад теплоту пароутворення.

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

Науковцями розроблена також система щадного кип'ятіння пивного сусла SchoKo 2.0 [4], за якою в результаті рекуперації енергії вторинної пари, забезпечується зниження енергетичних затрат на процес до 75% та забезпечуються високоякісні технологічні показники.

Система «EquiTherm» [4] – це система енергозбереження за рахунок рекуперації теплової енергії, що виділяється під час кип'ятіння сусла.

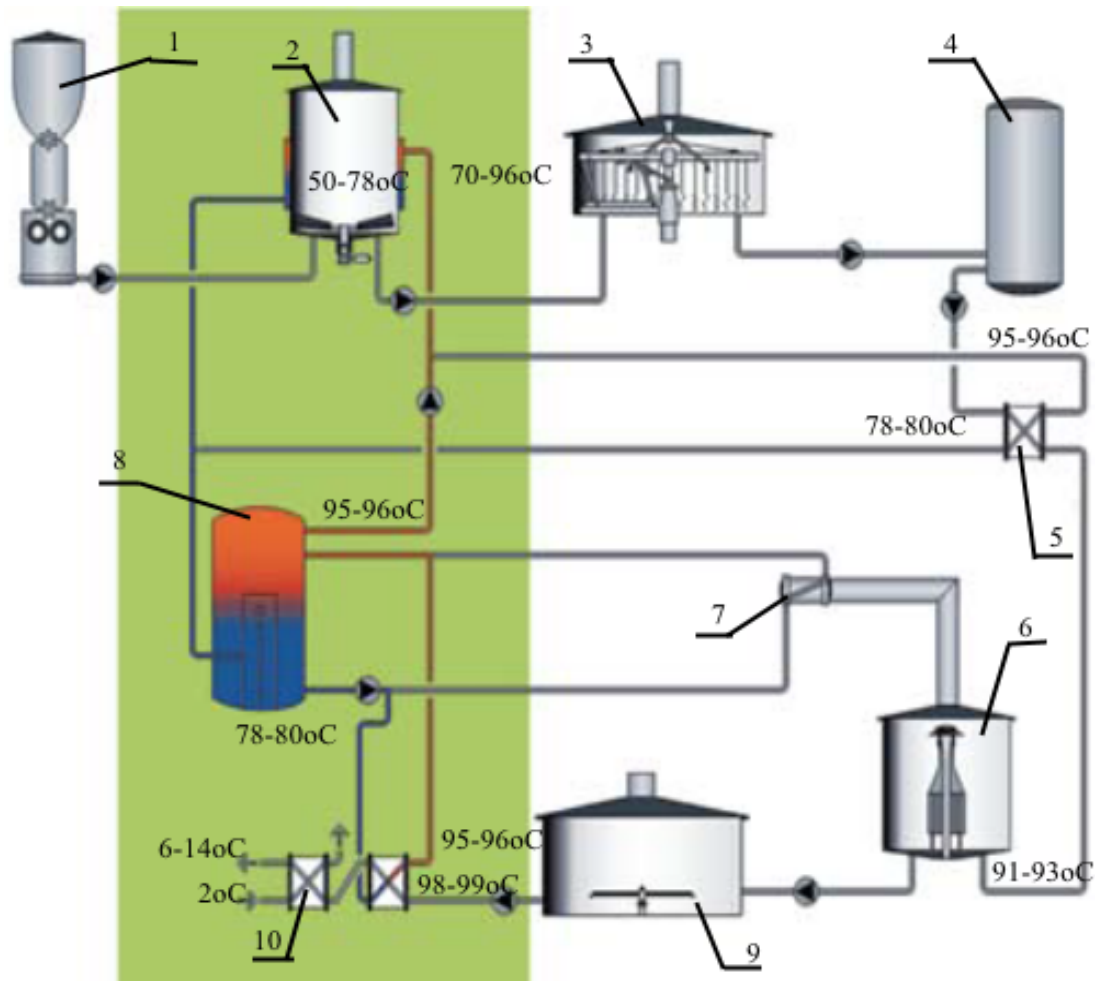


Рис. 1. Інноваційна система енергозберігання «EquiTherm»

1 – дробарка; 2 – заторний апарат; 3 – фільтраційний апарат; 4 – збірник сусла; 6 – сусловарильний апарат; 7 – конденсатор вторинної пари; 8 – енергоакумулятор; 9 – гідроциклонний апарат; 10 – теплообмінник двохсекційний

За цією схемою фільтрований затор із збірника сусла перекачують у сусловарильний апарат 6 через теплообмінник 5, у якому він нагрівається з 72 до 92°C. Тут теплоносієм виступає гаряча вода з температурою 96°C, що подається насосом з верхньої частини енергоакумулятора 8. Відпрацьовану воду з температурою приблизно 80°C повертають в енергоакумулятор, але в нижню зону. Таким чином здійснюють рекуперацію тепла на стадії кип'ятіння, що дає змогу до 60% знизити витрати первинної теплової енергії, зокрема близько 75% при його попередньому підігріві.

Під час кип'ятіння сусла з нижньої частини енергоакумулятора 8 відкачують воду з температурою близько 80°C і подають її в якості охолоджуючого агента в конденсатор вторинної пари 7, де вона нагрівається за рахунок тепла сконденсованої вторинної пари, яка виходить

з сусловарильного котла 6. На виході з конденсатора температура цієї води складає близько 96°C, тому її повертають у верхню зону енергоакумулятора. Конденсат із конденсатора вторинної пари 7 потрапляє в охолоджувач конденсату вторинної пари і підігріває воду для забезпечення потреб виробництва. Так забезпечується стабільний тепловий баланс в енергоакумуляторі.

Після кип'ятіння сусла з хмелем проводять вихрову циркуляцію для видалення білків з сусла в гідроциклонному апараті 9 і далі охмелене сусло охолоджують у теплообміннику 10.

Поєднання кількох технологій в одному проєкті дозволяють розширити функціональні можливості енергозбереження за рахунок повернення у виробництво не тільки тепла вторинної пари, але й теплоти гарячого охмеленого сусла, що виводиться з гідроциклонного апарату на стадію бродіння.

Охолодження сусла здійснюють у дві ступені на пластинчатому двофазному теплообміннику 10: на 1-й стадії – сусло охолоджується водою з температурою 78...80°C, що надходить із нижньої частини енергоакумулятора 8, яка нагрівається до 95...96°C і повертається у верхню частину енергоакумулятора; а на 2-гій – сусло піддається охолодженню до 6...14°C крижаною водою з температурою близько 2°C.

За цією схемою відбувається накопичення великої кількості тепла, тому витратити її можна не тільки на попередній підігрів сусла, але й з іншою технологічною метою, наприклад, частину теплової енергії з накопичуваа використовують при затиранні настійним способом.

У варильному відділенні утворюється надлишок гарячої води. Найпростіша форма відновлення енергії гарячої води може бути реалізована при охолодженні сусла. Охолоджуюча вода нагрівається суслем до приблизно 80–85°C і може бути використана повторно для затирання.

Добре спроектована, інтегрована мережа теплообмінників, яка відновлює та повторно використовує відпрацьоване тепло, може значно скоротити споживання енергії.

Пошуки остаточної технології кип'ятіння сусла ще не завершені. За останнє десятиліття технологія пивоваріння значно вдосконалилась, щоб забезпечити більш ефективне використання енергії.

**Висновки і перспективи подальших досліджень у цьому напрямі.** Отже, з метою повного використання вторинних теплових енергетичних ресурсів слід у розрізі кожного підприємства переглянути чинні технології, та якщо можливо, сприяти їхньому вдосконаленню з метою повного використання теплових енергетичних ресурсів.

Наші висновки свідчать про те, що з урахуванням доступних технологій усе ще існують можливості економно використовувати енергію та знизити її споживання в пивоварній галузі. Потрібно проводити подальші дослідження для підвищення ефективності використання теплової енергії, не забуваючи при цьому покращувати якість пива, що все ще залишається основною проблемою пивовара.

#### **ЛІТЕРАТУРА:**

1. Кунце В. Технология солода и пива. Санкт-Петербург : Профессия, 2008. 1100 с.
2. Майстренко Н.Ю. Резерви використання вторинних теплових енергетичних ресурсів у харчовій промисловості України. *Проблеми загальної енергетики*. 2013. Вип. 2(33). С. 43–48.

3. Федоренко Б.Н. Пивоваренная инженерия. Санкт-Петербург : Профессия, 2009. 1000 с.

4. Нарцисе Л. Краткий курс пивоварения. Санкт-Петербург : Профессия, 2007. 640 с.

5. Федоренко Б.Н. Варочный цех XXI века: затирание зернопродуктов. *Пиво и напитки*. 2008. № 6. С. 16–19.

6. Федоренко Б.Н. Инновационная система рекуперации тепловой энергии при получении пивного сусла. *Пиво и напитки*. 2017. № 6. С. 32–35.

7. Бемфорт У. Новое в пивоварении. Санкт-Петербург : Профессия, 2007. 520 с.

8. Максименко І.Ф., Бойко О.О., Осауленко Ю.В. Національний університет харчових технологій. Теплові потоки варочного відділення пивзаводів. URL: <http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/6261/1/49.pdf>.

9. Шовкалюк М.М., Голуб М.А. Аналіз енергетичної ефективності діяльності підприємства з виробництва пива. *«Молодий вчений»*. 2015. № 2 (17) – лютий, 2015 р. С. 62–65.

10. Bamforth, Charles W, Beer : tap into the art and science of brewing / by Charles Bamforth – 2nd ed. Oxford University Press, 2003. 603 p.

#### **REFERENCES:**

1. Kuncce, V. (2008) Tehnologija soloda y pyva / V. Kuncce. С-Pb.: Professyja. 1100 s.

2. Majstrenko N.Ju. (2013) Rezervy vykorystannja vtorynnyh teplovyh energetychnyh resursiv u harchovij promyslovosti Ukrai'ny. *Problemy zagal'noi' energetyky*, vyp. 2 (33), s. 43–48.

3. Fedorenko, B.N. (2009) Pyvovarennaja ynzheneryja. SPb.: Professyja. 1000 s.

4. Narcyse, L. (2007) Kratkij kurs pyvovarenyja. SPb.: Professyja. 640 s.

5. Fedorenko, B.N. (2008) Varochnyj ceh XXI veka: zatyranje zernoproduktov. *Pyvo y napytky*. № 6. S. 16–19.

6. Fedorenko, B.N. (2017) Ynnovacyonnaja sistema rekuperacyu teplovoj energyy pry poluchenju pyvnoho susla. *Pyvo y napytky*. № 6. S. 32–35.

7. Bemfort, U. (2007) Novoe v pyvovarenyu. S-Pb.: Professyja. 520 s.

8. Maksymenko I.F., Bojko O.O., Osaulenko Ju.V. Nacional'nyj universytet harchovyh tehnologij. Teplovi potoky varochnogo viddilennja pyvzavodiv. URL: <http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/6261/1/49.pdf>.

9. Shovkaljuk M.M., Golub M.A. (2015) Analiz energetychnoi' efektyvnosti dijaj'nosti pidpryjemstva z vyrobnyctva pyva. *«Molodyj vchenyj»*. № 2(17) – ljutyj, 2015 r., S. 62–65.

10. Bamforth, Charles W (2003), Beer : tap into the art and science of brewing / by Charles Bamforth – 2nd ed. Oxford University Press. 603 p.

*Стаття надійшла до редакції 28.09.2021*