

УДК 663.44-048.78

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ДНИЩА СУСЛОВАРИЛЬНОГО АПАРАТУ НА ЙОГО КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ

Удодов Сергій Олександрович к.т.н., доцент
Мерзляк Дмитро Вікторович аспірант
Марцинкевич Леся Валентинівна асистентка
Національний університет харчових технологій
Udodov S.
Merzlyak D.
Martsinkevich L.
National University of Food Technologies

Анотація: процеси, що проходять у варильному відділенні пивзаводу, а особливо кип'ятіння пивного сусла, є одним з головних і найбільш енергоємним. Тому особливу увагу слід приділяти розрахунку конструктивних елементів обладнання, яке забезпечує ефективне проходження цих процесів. На процес теплопередачі від тепло-агента до продукту в першу чергу впливає матеріал апарату, товщина стінки та форма днища апарату. Однак при підборі та розрахунках геометричних параметрів апарату виникають деякі проблеми та питання, що потребують поглибленого дослідження та уточнення.

З цією метою в даній статті проводиться аналіз конструктивних особливостей днищ сусліварильних апаратів та їх вплив на технологічні аспекти пивоваріння, проблем пов'язаних із розрахунком геометричних параметрів апаратів, вплив певних факторів на особливості конструкції. Наведені залежності між технологічними та конструктивними параметрами, що впливають на товщину стінки днища апарату із паровою сорочкою. Надані рекомендації, що до можливості подальшого використання отриманих результатів, та наведені способи для вирішення розглянутих проблем в даному напрямку.

Ключові слова: пиво, пивне сусло, сусліварильний апарат, днище, теплопередача.

Вступ

Процеси приготування пивного сусла тісно пов'язані із тепловою обробкою продукту, при цьому особливу увагу в даному питанні варто приділити процесу кип'ятіння сусла з хмелем. Це пов'язано з тим, що при кип'ятіння на протязі 1-2 годин (в залежності від способу проведення процесу)[1], сусло піддається високим термічним навантаженням а тому витрачається велика кількість енергії. Більшість сусліварильних апаратів нашого часу розраховані на обігрів за допомогою водяної пари. Пар під тиском подається в парову сорочку апарату або в між трубний простір внутрішнього або виносного теплообмінників та при конденсації на стінках апарату передає теплову енергію суслу. Беручи до уваги специфіку конструктивного виконання комбінованих заторно-сусліварильних апаратів міні-пивоварної галузі доцільно зауважити, що більшість таких апаратів виготовляється із паровими сорочками при днищі апарату. Форми днищ сусліварильних апаратів можуть бути декількох типів: сферичні, еліптичні, конічні, призматичні, ввігнуті в середину і т.д.[2] При використанні нагрівальних сорочок форма днища може сприяти інтенсифікації циркуляції рідини, що в свою чергу покращує теплопередачу. У днища з великою кривизною нагрів здійснюється нерівномірно в різних частинах апарату. Стовп рідини біля стінки апарату має меншу висоту ($h_1 < h_2$), але при цьому велику площу поверхні нагріву ($f_1 > f_2$) в порівнянні з стовпом рідини того ж діаметру в центральній частині [1]. В наслідок чого пароутворення відбувається більш інтенсивно біля стінок а ніж в центрі апарату.

Хоча найбільш ефективними є днища апаратів еліптичної та сферичної форми, складність, а тому і висока ціна їх виготовлення змушує все більше використовувати днища конічної форми. При цьому важливо дослідити при якому куті при вершині конуса форма днища буде максимально

Одними з розповсюджених форм днищ, як показує практика, є еліптичні форми днища. Висоту опуклої частини днища не рекомендується приймати менше $0,2D_{вн}$. У разі, коли $h/D_{вн} > 0,3$, товщина днища вибирається рівною товщині циліндричної частини апарату, оскільки міцність днища вища, ніж у циліндра. Розрахунок еліптичних та сферичних відбортованих днищ ємностей і апаратів, що працюють під внутрішнім або зовнішнім тиском, проводиться за формулою (1) [4]:

$$\delta = \frac{P_3 \cdot D_{вн}}{4\sigma \cdot \eta \cdot \varphi \cdot K \cdot z} \cdot \frac{D_{вн}}{2h} + C \quad (1)$$

де P_3 – розрахунковий або робочий тиск, який дорівнює надлишковому тиску, що виникає при нормальному протіканні робочого процесу в апараті, МПа; $D_{вн}$ – внутрішній діаметр корпусу (циліндру), м; σ – номінальна допустима напружка, вибирається у залежності від марки сталі та температури стінки, МПа; η – коефіцієнт, що враховує клас апарату; при обігріванні паром або підігрітими газами вибухо- й пожежобезпечних або токсичних речовин $\eta = 0,9$, для інших речовин $\eta = 1$; j – коефіцієнт міцності зварного шва; C – поправка на корозію і округлення товщини до стандартного розміру металевих листів; $h \geq 0,2D_{вн}$ – висота опуклої частини днища, м; $z = 1 - d/D_{вн}$ – коефіцієнт неукріпленого отвору; d – діаметр неукріпленого отвору, м; K – конструктивний коефіцієнт. При внутрішньому тиску приймається $K=1$ для глухих днищ і $K=0,95$ для днищ з неукріпленими отворами; при зовнішньому тиску приймається $K=0,63$ для глухих днищ і $K=0,6$ для днищ з неукріпленими отворами.

Товщина стінки конічного днища при $\alpha \leq 70^\circ$ визначається:

а) по напрузі на вигин формула (2)

$$\delta = \frac{P_3 \cdot D_{вн}}{4\sigma \cdot \eta \cdot \varphi} + C \quad (2)$$

б) по напрузі на розтягування формула (3)

$$\delta = \frac{P_3 \cdot D_{вн}}{2 \cdot \cos \alpha \cdot (\sigma \cdot \varphi - P_3)} + C \quad (3)$$

і приймається більше з двох значень.

При проведенні розрахунків враховується, як тиск з боку рідини, так і тиск пари, що діє на стінку днища апарату. Тиск в паровій сорочці безпосередньо буде залежати від способу кип'ятіння пивного суслу. Так при класичному способі в паровій сорочці виникає тиск в межах 0,25 МПа, а при кип'ятінні при низькому надлишковому тиску на стінку днища апарату діє тиск від 0,3 до 0,45 МПа [2].

При проведенні досліджень та розрахунків, для відображення більш чіткої залежності між конструктивними параметрами апарату, отримані значення товщини стінки не округлялись до стандартних розмірів листової сталі, а також не враховувалась поправка на корозію «С».

Одним з перших факторів, від яких залежить товщина стінки, є безпосередньо форма днища та продуктивність апарату. Одними з найбільш розповсюджених є конічні та еліптичні (напівсферичні) форми днищ. Продуктивність апарату на пряму залежить від продуктивності варильного порядку пивоварні чи пивзаводу. За основну градацію продуктивності приймаємо класифікацію вітчизняного виробника пивоварного обладнання «Кий-Пиво» [5]. Як показують дослідні розрахунки рис.3 товщина стінки при еліптичному днищі значно перевищує розрахункову товщину при слабо-конічному днищі ($\alpha = 65^\circ$). При цьому беручи до уваги складність виготовлення еліптичних та напівсферичних днищ, можна остаточно віддати перевагу конічним днищам апаратів.

Однак при виборі конічних днищ одним з актуальних питань конструювання є вибір кута при вершині конуса днища апарату. Значення кута в свою чергу впливає на ефективність природної циркуляції шарів суслу в апараті та на товщину стінки днища апарату. Від товщини стінки вже безпосередньо залежить швидкість і інтенсивність теплопередачі, матеріалоємність та собівартість обладнання.

Побудовані залежності між кутом α та товщиною стінки при різних тисках пари в паровій сорочці рис. 4 дають можливість зробити висновок, що використання систем кип'ятіння при

низькому надлишковому тиску змушує значною мірою підвищувати матеріалоемність обладнання за рахунок збільшення товщини стінки днища апарату.

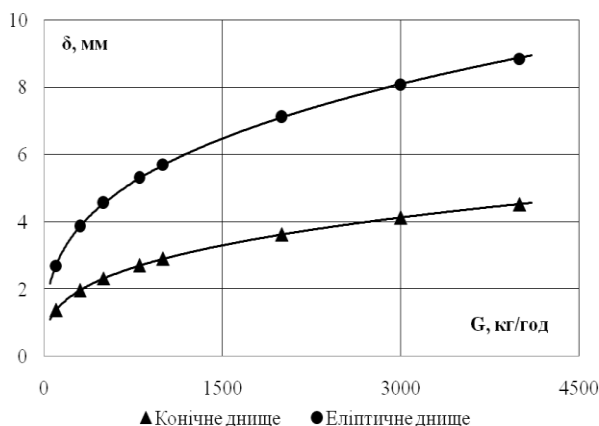


Рис. 3. Залежність розрахункової товщини стінки днища апарату від продуктивності при різних формах днища

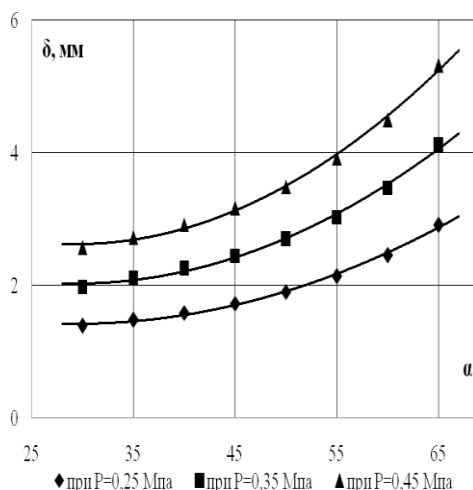


Рис. 4. Залежність товщини стінки днища апарату від половини кута при вершині конусного днища

Висновки

На основі отриманих результатів можна зробити висновки, що при використанні високого тиску в паровій сорочці апарату значною мірою збільшується товщина стінки днища. Для зменшення матеріалоемності апарату з конічним днищем доцільно приймати α від 30° до 50° . В апаратах великої продуктивності для зменшення товщини стінки можливе встановлення додаткових ребер жорсткості на зразок відводів для конденсату [6]. Отримані результати можуть бути використані для подальшого дослідження даного питання.

Список літератури

1. Федоренко, Б.Н. Пивоваренная инженерия: технологическое оборудование отрасли / Б.Н. Федоренко. — СПб.: Профессия, 2009. — 1000 с.
2. Кунце В. Технология солода и пива. Перевод с нем., - С-Пб., Издательство «Профессия», 2003. — 912 с.
3. Optimization of thermal resistance and bottom wall temperature uniformity for double-layered microchannel heat sink, *Energy Conversion and Management*, Volume 93, 15 March 2015, Pages 141-150.
4. Кретов И.Т., Антипов С.Т., Шахов С.В. Инженерные расчеты технологического оборудования предприятий бродильной промышленности. — М.: КолосС, 2004. — 391 с.
5. Електронний ресурс <http://studopedia.org/4-166478.html>
6. Електронний ресурс <http://kiv-pivo.kiev.ua/cost.html>

7. Патент на корисну модель 94568 Україна, МПК C12C 13/00, Парова сорочка з відводами для конденсату / Мерзляк Д. В. (UA), Удодов С. А. (UA), Марцінкевич Л.В. (UA), бюл. № 22 від 25.11.2014.

References

1. Fedorenko , B.N. Pivovarennaya inzheneriya : tekhnologicheskoye oborudovaniye otrasli / B.N. Fedorenko . - SPb .: Professiya , 2009. - 1000 s.
2. Kuntse V. Tekhnologiya soloda i piva . Perevod s nem. - S -Pb . , Izdatel'stvo « Professiya » , 2003. - 912 s.
3. Optimization of thermal resistance and bottom wall temperature uniformity for double-layered microchannel heat sink, Energy Conversion and Management, Volume 93, 15 March 2015, Pages 141-150.
4. Kretov I.T. , Antipov S.T. , Shakhov S.V. Inzhenernyye raschety tekhnologicheskogo oborudovaniya predpriyatiy brodil'noy promyshlennosti. - M .: KolosS , 2004. - 391 s.
5. Elektronnyy resurs <http://studopedia.org/4-166478.html>.
6. Elektronnyy resurs <http://kiy-pivo.kiev.ua/cost.html>.
7. Patent na korysnostey model' 94568 Ukrayina , MPK S12S 13/00 , Parova sorochka z vidvodami dlya kondensatu / Merzlyak D. V. (UA) , Udodov S. A. (UA) , Martsynkevych L.V. (UA) , byul . № 22 vid 25.11.2014.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ДНИЩА СУСЛОВАРОЧНОГО АППАРАТА НА ЕГО КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Аннотация: процессы, которые проходят в варочном отделении пивзавода, особенно кипячение пивного сусла, является одним из главных и наиболее энергоемким. Поэтому особое внимание следует уделять расчета конструктивных элементов оборудования, которое обеспечивает эффективное прохождение этих процессов. На процесс теплопередачи от тепло- агента к продукту в первую очередь влияет материал аппарата, толщина стенки и форма днища аппарата. Однако при подборе и расчетах геометрических параметров аппарата возникают некоторые проблемы и вопросы, требующие углубленного исследования и уточнения.

С этой целью в данной статье проводится анализ конструктивных особенностей днищ сусловарочных аппаратов и их влияние на технологические аспекты пивоварения, проблем связанных с расчетом геометрических параметров аппаратов, воздействие определенных факторов на особенности конструкции. Приведенные зависимости между технологическими и конструктивными параметрами, влияющими на толщину стенки днища аппарата с паровой рубашкой. Даны рекомендации, что к возможности дальнейшего использования полученных результатов, и приведены способы для решения рассматриваемых проблем в данном направлении.

Ключевые слова: пиво, пивное сусло, сусловарочным аппарат, днище, теплопередача.

RESEARCH OF INFLUENCE OF THE BOTTOM FORMS A BREWING DEVICE ON ITS DESIGN FEATURES

Summary: the processes that take place in brewhouse, especially beer wort boiling, are one of the main and most energy intensive. Therefore, special attention should be paid to the calculation of structural elements equipment that provides efficient passing of these processes. The process of heat transfer from the heat-agent to the product primarily affects the device material, wall thickness and shape of the bottom of the device. However, the selection and calculation of geometrical parameters of the device there are some problems and issues that demanding in-depth study and specification.

For this purpose, this article analyzes the structural features of the bottoms brewing devices and their impact on the technological aspects of brewing, problems related to the calculation of geometrical parameters of devices, the impact of certain factors on design features. Given dependences between technology and design parameters that affect the wall thickness of the bottom unit of a steam jacket. The recommendations that the possibility of future use of the results and ways for the solution of the considered problems are given in this direction

Keywords: beer, beer wort, brewing unit, bottom, heat transfer.