Список літератури

1. Максимов, А. С. Массы конфетные, реологические свойства при вибрационных воздействиях [Текст]/ А. С. Максимов, Ю. А. Мачихин // Известия высш. учеб. завед. – 1976. – № 6. – С. 108.

2. Азаров, Б. М. Влияние вибрационных воздействий на реологические характеристики пралине [Текст] / Б. М. Азаров, М. А. Матвеева, Б. Я. Шайхаев // Изв. высш. учебн. завед. – 1976. – № 6. – С. 141.

3. Большаков, А. С. Фарш колбасный, влияние вибрации на изменение реологических свойств во время осадки [Текст] / А. С. Большаков, Ю. Р. Мамаджанов// Изв. высш. учебн. завед. – 1978. – № 6. – С.104.

4. Физико-химическая механика дисперсных структур [Текст] / М. : Наука, 1966. – 396 с.

Отримано 31.03.2010. ХДУХТ, Харків.
© В.І. Маяк, Б.В. Ляшенко, М.М. Смілик, 2010.

УДК 664.002.5(075)

Ю.Л. Білонога, д-р техн. наук, проф. (*ЛНУВМ та БТ, Львів)*
О.Р. Максисько, асистют (*ЛНУВМ та БТ, Львів)*

ВПЛИВ ОЛІЇ ПШЕНИЧНИХ ЗАРОДКІВ НА КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМІННИКА

Розраховано коефіцієнти теплопередачі нормалізованого кожухотрубного теплообмінника за умов використання олії пшеничних зародків до молока (молоко+(0,3…0,31)) мас.% олії пшеничних зародків). Показано, що у разі використання рослинної олії коефіцієнт теплопередачі збільшився на 7,09% .

Рассчитан коэффициент нормализированного кожухотрубного теплообменника при использовании масла зародышей пшеницы к молоку (молоко+(0,3…0,31)) мас.% масла зародышей пшеницы). Показано, что при использовании растительного масла коэффициент теплопередачи увеличился на 7,09%.

The coefficient of heat transfer of normalized shell-and-tube head exchange are expected at the use of oil wheat embryos to milk (milk +(0,3…0,31 of mas.% oil of wheat embryos). It is shown that at the use of vegetable oil the coefficient of heat transfer increased on 7,09 %.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Значну частину собівартості продуктів харчування складають енергоносії. Тому актуальними є підходи, які направлені на енергозбереження в основних технологічних процесах [1]. Особливою увагою на сьогоднішній день користуються методи інтенсифікації теплообмінних і масообмінних

процесів, оскільки саме тут зосереджені найбільш енергетичні втрати в промисловості [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Один з традиційних способів інтенсифікації теплообміну – збільшення швидкості руху теплоносіїв в апараті. Проте, за умови зростання швидкості потоку в 2 рази коефіцієнт теплопередачі зростає в 1,75 рази, а гідравлічний опір – в 3,4 рази, що призводить до невиправданого зростання витрат електроенергії на привід [3, с. 18]. Інші відомі способи інтенсифікації процесів теплообміну наведені в роботі [4]. Домінуючим підходом у всіх цих способах були зміни геометрії поверхні. Їх недоліком є додаткові витрати на нагнітання носіїв, їх перемішування, додаткові витрати на виготовлення усяких турбулізаторів, необхідність створення додаткового обладнання для забезпечення роботи електромагнітних і акустичних полів і витрати на це обладнання. Разом з тим, такі методи підвищення загального коефіцієнта теплопередачі К, як правило, ведуть до збільшення загального гідравлічного опору системи. Тобто ситуація може скластися так, що зменшення теплового опору в теплообмінниках за рахунок інтенсивної турбулізації теплоносія, може нівелюватися збільшенням енерговитрат на проходження теплоносіїв через теплообмінний апарат.

Рух рідин у трубопроводах чи теплообмінних апаратах згідно з науковою концепцією [5], необхідно розглядати з врахуванням дії сил поверхневого натягу в приграничному ламінарному шарі на межі контакту тверде тіло–рідина. У роботі [6] була виведена формула для розрахунку середньої товщини приграничного Л шару, який виникає в пристінній області турбулентного потоку руху рідкофазних теплоносіїв:

$$\delta = \frac{\dfrac{d^2}{\mathrm{Re}\,\mu}\sqrt{\dfrac{2\sigma cos\theta\rho}{\lambda l}}}{K_T} \qquad (1)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу на межі тверде тіло-рідина, Н/м; $cos\theta$ – гідрофільність поверхні стінки; ρ – густина рідини, кг/м^3; d – діаметр живого перерізу потоку, м; λ – коефіцієнт Дарсі; (для турбулентної області $\lambda = \dfrac{0{,}316}{\mathrm{Re}^{0{,}25}}$ з рівності Блазіуса); l – довжина трубопроводу, м; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини, Па с; K_T – кое-

фіцієнт турбулізації Л шару, $K_T = Re_{роб}/Re_{кр}$; $Re_{кр} = 2320$, $Re_{роб}$ – робоче значення критерію Рейнольда.

Значні енерговитрати в переробній промисловості, зокрема в молокопереробній, відбуваються на стадії теплової обробки продуктів. Найбільшого використання в молочній промисловості отримали трубчаті і пластинкові апарати. Серед трубчатих теплообмінників найбільше використовуються кожухотрубні теплообмінники, оскільки вони компактні, прості у виготовленні і надійні в роботі.

Підвищення загального коефіцієнта теплопередачі кожухотрубного теплообмінника шляхом введення в теплоносій малих кількостей поверхнево-активних речовин (ПАР) запропоновано в роботах [7–11].

Мета та завдання статті – це показати зміну фізико-хімічних властивостей молока, а саме зниження коефіцієнта його поверхневого натягу на межі стінка теплообмінника–молоко, коефіцієнта динамічної в'язкості молока, косинуса кута змочування, а також середньої товщини приграничного Л шару на межі стінка теплообмінника-молоко, що в цілому веде до підвищення загального коефіцієнта теплопередачі кожухотрубного теплообмінника при додаванні до молока невеликої концентрації олії пшеничних зародків.

У роботі [12] показано, що рослинні олії на межі розділу фаз рідина–газ, рідина–тверда поверхня, рідина–рідина поводяться як ПАР до компонентів молока і при оптимальних концентраціях здатні понижувати коефіцієнт поверхневого натягу молока [13].

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо теплову обробку молока. Молоко температурою $t_{1м}=35^0$ С охолоджувалось до температури $t_{2м}=13^0$ С. У трубний простір направляли молоко, в міжтрубний – «льодяну воду». Після розрахунку теплообмінника за класичною схемою [14] був вибраний нормалізований теплообмінник з наступними параметрами: діаметр кожуха D= 800 мм, діаметр труби d=25х2 мм, число ходів z=6, загальна кількість труб n=384, довжина труби L=6 м, $S_{мтр}=7{,}0\cdot10^{-2}$ м^2 – площа перерізу потоку в міжтрубному просторі).

Критерій Рейнольдса для молока в трубному просторі: $\mathrm{Re}_м = 9113{,}76$, у міжтрубному просторі $\mathrm{Re}_в = 14037{,}62$.

Середня товщина Л шару молока в трубному просторі

$$\delta_м = \frac{\left(21\times10^{-3}\right)^2}{9113{,}76\times1{,}56\times10^{-3}}\sqrt{\frac{2\times5{,}269\times10^{-2}\times0{,}919\times1027{,}3}{3{,}23\times10^{-2}\times6}} \Big/ \frac{9113{,}76}{2320} = 1{,}78\times10^{-4}\text{ м}.$$

Середня товщина Л шару води в міжтрубному просторі

$$\delta = \frac{\frac{3,85\times10^{-2}}{14037,62\times1,31\times10^{-3}}^{2}\sqrt{\frac{2\times7,422\times10^{-2}\times0,866\times1000}{2,946\times10^{-2}\times6}}}{\frac{14037,62}{2320}} = 3,62\cdot10^{-4}\text{м}\cdot$$

З класичного розрахунку можна бачити, що зменшення коефіцієнта поверхневого натягу теплоносія під впливом ПАР ніяк не відображене в рівності (2) для визначення загального коефіцієнта теплопередачі, ні в критеріальних рівняннях для визначення критерію Нуссельта, а відповідно і коефіцієнтів тепловіддачі α_1, α_2

$$K_\lambda = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}+\frac{1}{\alpha_2}}\ , \qquad (2)$$

де α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від холодного і гарячого носія відповідно, Вт/м^2·град; $\delta_{ст}/\lambda_{ст}$ – термічний опір стінки теплообмінника, Вт/м^2·град.

У роботі [15] нами запропонована формула, що дозволяє визначити загальний коефіцієнт теплопередачі K через товщини ламінарних шарів і товщину роздільної стінки між теплоносіями:

$$K_\delta = \frac{1}{\frac{\delta_{пл1}}{\lambda_{пл1}}+\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}+\frac{\delta_{пл2}}{\lambda_{пл2}}}, \qquad (3)$$

де $\frac{\delta_{пл1}}{\lambda_{пл1}}, \frac{\delta_{пл2}}{\lambda_{пл2}}$ – термічні опори Л шарів холодного і гарячого теплоносія, відповідно, Вт/м^2·град.

Коефіцієнт теплопередачі рівний:

$$K_\delta = \frac{1}{\frac{1,78\times10^{-4}}{51,16\times10^{-2}}+\frac{2\times10^{-3}}{17,5}+\frac{3,62\times10^{-4}}{57,5\times10^{-2}}} = 915,93\frac{Вт}{м^2\cdot К}.$$

Покажемо зміну коефіцієнта теплопередачі при додаванні до молока оптимальної концентрації олії пшеничних зародків.

На рисунку показані залежності коефіцієнта поверхневого натягу та коефіцієнта динамічної в'язкості від концентрації олій пшеничних зародків у молоці.

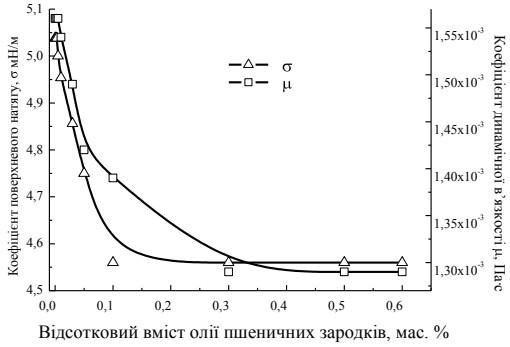

Рисунок – Залежність коефіцієнта поверхневого натягу σ (Δ) та коефіцієнта динамічної в'язкості μ (□) від концентрації олії пшеничних зародків у молоці

Для розрахунків ми вибирали значення, за яких зміна коефіцієнта поверхневого натягу максимальна, а концентрацію за даних значеннях вважали оптимальною. За цих значень концентрацій вибирали і значення для коефіцієнта динамічної в'язкості.

Середня товщина Л шару молока в трубному просторі

$$\delta_м = \frac{\left(21\times10^{-3}\right)^2}{11021,29\times1,29\times10^{-3}}\sqrt{\frac{2\times4,56\times10^{-2}\times0,933\times1027,3}{3,08\times10^{-2}\times6}}\Bigg/\frac{11021,29}{2320} = 1,42\cdot10^{-4}\ \text{м}.$$

Середня товщина Л шару води в міжтрубному просторі $\delta = 3,62\cdot10^{-4}$ м.

Коефіцієнт теплопередачі дорівнює:

$$K_\delta = \frac{1}{\frac{1,42\times10^{-4}}{51,16\times10^{-2}} + \frac{2\times10^{-3}}{17,5} + \frac{3,62\times10^{-4}}{57,5\times10^{-2}}} = 980,91\frac{Вт}{м^2\cdot К} \quad .$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі кожухотрубного теплообмінника зріс на $\frac{980,91-915,93}{915,93}\times100\% = 7,09\ \%$.

Результати розрахунку зводимо в таблицю.

Таблиця – **Зміна теплофізичних параметрів молока під впливом олій пшеничних зародків**

Параметр	Молоко	Молоко + (0,3…0,31) мас. % олії пшеничних зародків
μ , Па·с	1,56 10^{-3}	1,29 10^{-3}
σ, Н/м	5,26 10^{-2}	4,56 10^{-2}
cos θ	0,919	0,933
Re	9113,7	11021,29
$\delta_{пл}$, м	1,78 10^{-4}	1,41 10^{-4}
$\frac{\delta_{пл1}}{\lambda_{пл1}}, \frac{м\cdot К}{Вт}$	3,48 10^{-4}	2,75 10^{-4}
K, $\frac{Вт}{м^2 К}$	915,93	980,91 (7,09%)

Як видно з таблиці, при введенні олії пшеничних зародків у кількості (0,3…0,31) мас. % до молока коефіцієнт поверхневого натягу зменшується, а це мінімізує середню товщину приграничного Л шару у системі стінка трубопроводу – молоко в 1,26 рази, а зі зменшенням середньої товщини приграничного Л шару швидкість в ньому зростає. Термічний опір приповерхневого Л шару також зменшується. Мінімізація теплового опору – це підвищення загального коефіцієнта теплопередачі теплообмінника на 7,09%.

Додатковим позитивним ефектом є те, що олія із зародків пшениці – джерело поліненасичених жирних кислот, які не синтезуються в організмі людини. Вміст лінолевої кислоти в ній складає 44…65%, ліноленової – 4…10% від загального вмісту жирних кислот [16]. В олії зародків пшениці містяться α- і β-токофероли (вітамін Е). Токофероли виступають як природні антиоксиданти прямої дії, регулюють обмін

жирів, білків та вуглеводів [17]. Тобто малі добавки олії пшеничних зародків до молока роблять позитивний внесок у процес теплообміну молока і надають молоку оздоровчо-профілактичних властивостей, тобто роблять його функціональним продуктом харчування.

Висновки.

1. Оптимальна концентрація олії пшеничних зародків до молока зменшує середню товщину приповерхневого Л шару в системі потік молока–стінка теплообмінника, а значить зменшується його термічний опір в 1,26 рази.

2. Зменшення термічного опору приграничного Л шару інтенсифікує проходження кількості тепла, і підвищує загальний коефіцієнт теплопередачі теплообмінника на 7,09 %.

3. Добавка олії пшеничних зародків створює ефект функціонального продукту.

Список літератури

1. Бурдо, О. Г. Стратегия повышения энергетической эффективности АПК [Текст] / О. Г. Бурдо // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2003. – № 2. – С. 18–22.

2. Бурдо, О. Г. Энергетическая стратегия в условиях кризиса [Текст] / О. Г. Бурдо // Наукові праці ОНАХТ. – 2009. – № 35. – Т. 2. – С. 4–9.

3. Коваленко, Л. М. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи [Текст] / Л. Коваленко, А. Глушков. – М. : Энергоиздат, 1986. – 214 с.

4. Анипко, О. Б. Методы интенсификации теплоотдачи теплообменников транспортных средств [Текст] : обзор / О. Анипко, К. Горбунов // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2001. – № 1. – С. 13–25.

5. Білонога, Ю.Л. Інтенсифікація та оптимізація тепломасообмінних процесів при виробництві органопрепаратів і переробці вторинної сировини м'ясокомбінатів [Текст] : автореф. дис. … д-р техн. наук : спец.05.18.12 / Ю. Л. Білонога. – Одеса, 2006. – 36 с.

6. Підвищення коефіцієнта теплопередачі теплообмінної апаратури при використанні ПАР [Текст] / Ю. Л. Білонога [та ін.] // Науковий вісник Львівської державної академії ветеринарної медицини імені С. З. Гжицького. – 2004. – Т. 6, №2. – Ч. 3. – С. 126–131.

7. Білонога, Ю. Підвищення коефіцієнта теплопередачі кожухотрубного теплообмінника при тепловій обробці молока [Текст] / Ю. Білонога, О. Максисько //Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2005. – С. 82–85.

8. Білонога, Ю. Підвищення коефіцієнта теплопередачі теплообмінної апаратури за умов додавання поверхнево-активних речовин (ПАР) до теплоносіїв [Текст] // Ю. Білонога, О. Максисько // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства та торгівлі : зб. наук. праць / Харківськ. держ. ун-т харчування та торгівлі. – 2006. – Вип. 1(3).– С. 174–181.

9. Пат. 42080, Україна, МПК F28F 1/24; F28B 1/00. Спосіб інтенсифікації теплопередачі в системі холодоносій (вода) – стінка теплообмінника-молоко [Текст] / Кравців Р. Й., Білонога Ю. Л., Максисько О. Р., Занічковська Л. В. ; заявл. 29.12.12; опубл. 25,06.2009, Бюл. №12.

10. Білонога Ю. Інтенсифікація теплообміну при додаванні аніонних поверхнево-активних речовин (ПАР) до води [Текст] // Ю. Білонога, О. Максисько // Науковий вісник Львівського національного унівенрситету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – 2009. – Т. 11, № 2(41). – Ч. 5. – С. 3–9.

11. Білонога, Ю. Вплив поверхнево-активних речовин (ПАР) на коефіцієнт теплопередачі кожухотрубного теплообмінника [Текст] // Ю. Білонога, О. Максисько // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. – 2009. – Т. 11, № 3(42). – Ч. 3. – С. 191–197.

12. Білонога, Ю. Обгрунтування вибору рослинних олій в якості поверхнево-активних речовин (ПАР) до компонентів молока [Текст] / Ю. Білонога, О. Максисько // Наукові праці ОНАХТ. – 2009. – Вип. № 35. – Т. 2. – С. 158–164.

13. Білонога, Ю. Оптимізація концентрацій рослинних поверхнево-активних речовин (ПАР) в молоці для інтенсифікації теплопередачі в системі стінка теплообмінника-потік [Текст] / Ю. Білонога, О. Максисько // Наукові праці ОНАХТ. – 2008. – Вип. № 32. – С. 200–204.

14. Дытнерский, В. Н. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] : пособие по проектированию / В. Н. Дытнерский; под ред. В. Н. Дытнерского. – М. : Химия, 1991. – 495 с.

15. До питання розрахунку коефіцієнта теплопередачі теплообмінної апаратури [Текст] / Ю. Л. Білонога [та ін.] // Науковий вісник Львівської державної академії ветеринарної медицини імені С. З. Гжицького. – 2005. – Т.7, № 2. – Ч. 6. – С. 3–8.

16. Кулакова, С. Н. О растительных маслах нового поколения в нашем питании [Текст] / С. Н. Кулакова, М. М. Гаппаров, Е. В. Викторова // МЖП. – 2005. – № 1. – С. 4–8.

17. Булгаков, А. С. Пищевые добавки [Текст] : справочник / А. С. Булгаков. – СПб : Vt, 1996. – 350 с.

Отримано 31.03.2010. ХДУХТ, Харків.
© Ю.Л. Білонога О.Р. Максисько, 2010.