

УДК 664.002.5(075)

ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН (ПАР) НА ГІДРОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОНОСІЯ НА МЕЖІ «СТІНКА ТРУБОПРОВОДУ-ВОДА»

Максисько О.Р., к.т.н.

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Тел.(032) 239-26-35

Анотація – у статті показано зміну гідромеханічних характеристик теплоносія, що рухається у трубопроводі, а саме, в приграничному ламінарному (Л) шарі під дією поверхнево-активних речовин (ПАР). Показано, що зменшення коефіцієнта поверхневого натягу мінімізує товщину Л шару в системі стінка трубопроводу-вода, а, значить, збільшує середню швидкість потоку в ньому. Знайдено числовий діапазон поверхневого числа для води за додавання ПАР.

Ключові слова – коефіцієнт поверхневого натягу, приграничний ламінарний шар, середня товщина приграничного Л шару, поверхнево-активні речовини, поверхневе число.

Постановка проблеми. Для проходження процесів теплообміну в системі стінка трубопроводу-теплоносій визначальними є гідромеханічні характеристики потоку рідкофазного теплоносія. Теплообмінні процеси протікають у теплообмінній рекуперативній апаратурі, тобто на межі контакту двох фаз -тверде тіло-рідина (стінка теплообмінника-теплоносій). На межі розділу цих двох фаз виникає потужне поле сил поверхневого натягу [1], яке змінює потік рідини з утворенням приграничного Л шару. Середня товщина цього Л шару є визначальною при проходженні кількості теплоти в теплообмінній апаратурі, оскільки в ньому концентрується до 98% теплового опору системи, однак при розрахунку теплообмінної апаратури термічні опори Л приграничних шарів рідинних теплоносіїв не враховуються. Якщо розглянути це питання у масштабах країни, де працюють десятки тисяч теплообмінників, то питання зменшення теплових опорів системи теплопередачі виявляється на сьогоднішній день своєчасним і актуальним.

Аналіз останніх досліджень. Концепція розгляду всіх гідромеханічних процесів із врахуванням сил поверхневого натягу на

межі контакту тверде тіло-рідина (ТТ- Р) запропонована в роботі [2]. У [3] введене поверхнєве число, що є відношенням сил поверхнєвого натягу до сил інерції у межах Л шару. Значення цього числа на декілька порядків перевищують значення чисел Рейнольдса та Фруда, що говорить про домінуючий вплив сил поверхнєвого натягу в Л шарі:

$$P_0 = \frac{1}{N} \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\mu v_x}, \quad (1)$$

де N – видозмінений критерій Рейнольдса,

$$N = \frac{v_x \delta \rho}{\mu} = 10,47 - 11,5 \text{ [4, с. 94]},$$

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини, Па·с;

δ – товщина приграничного Л шару, м;

ρ – густина рідини, кг/м³;

σ – коефіцієнт поверхнєвого натягу на межі (ТТ- Р), Н/м;

$\cos\theta$ – гідрофільність поверхні змочування;

v_x – швидкість пристінних шарів рідини, м/с.

Формулювання цілей статті (постановка завдання.) У технологічних процесах при охолодженні в ролі холодоагенту використовується «льодяна» вода. Мета роботи - знайти числовий діапазон поверхнєвого числа для «льодяної» води за додавання оптимальних концентрацій різного виду ПАР.

Основна частина. З рівності (1) видно, що числові значення поверхнєвого критерію суттєво залежать від коефіцієнта поверхнєвого натягу. Відомо, що коефіцієнт поверхнєвого натягу теплоносіїв можна зменшувати, уводячи оптимальні концентрації ПАР.

Для визначення діапазону числових значень поверхнєвого критерію проведена серія експериментів по забезпеченню зміни коефіцієнта поверхнєвого натягу σ , косинуса кута змочування $\cos\theta$ та динамічного коефіцієнта в'язкості μ водних розчинів під дією ПАР різних груп. З аніонних ПАР використовувались натрій лаурилсульфат, та натрій алкансульфонат, з неіонних ПАР досліджували октилфенілполієпоксилат та моноалкільний ефіру поліетиленгліколю на основі первинних жирних спиртів, з катіонних – бензетоній хлорид та дінорам. Експериментально знайдені концентрації, за яких коефіцієнт поверхнєвого натягу є мінімальним.

На підприємствах харчової, фармацевтичної та переробної промисловостей середня швидкість руху рідин у трубопроводах становить $v \approx 1 \text{ м/с}$, діаметр трубопроводу $d = 21 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, довжина трубопроводу $l = 3 \text{ м}$.

Середню товщину приграничного Л шару обчислювали за формулою [5]:

$$\delta = \frac{d^2}{\text{Re}\mu} \sqrt{\frac{2\sigma \cos\theta \rho}{\lambda l}} \quad (2).$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу на межі (ТТ- Р), Н/м;

$\cos\theta$ – гідрофільність поверхні стінки;

ρ – густина рідини, кг/м³ ;

d – діаметр живого перерізу потоку, м;

λ – коефіцієнт Дарсі; $\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}}$;

l – довжина трубопроводу, м;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини, Па с;

K_T – коефіцієнт турбулізації Л шару, $K_T = \frac{\text{Re}_{\text{роб}}}{\text{Re}_{\text{кр}}}$; $\text{Re}_{\text{кр}} \approx 2320$.

Швидкість у пристінних шарах знаходили з видозміненого числа Рейнольдса $v_x = \frac{N\mu}{\delta\rho}$, приймаючи значення $N=10,5$. Результати розрахунків представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Зменшення середньої товщини Л шару під дією ПАР

Назва ПАР	Параметри		
	Раціональна концентрація, мас. %	Середня товщина Л шару, м	Швидкість у пристінних шарах, м
Вода	-	$116 \cdot 10^{-6}$	0,116
<i>Аніонні ПАР</i>			
натрій лаурилсульфат	0,15...0,2	$87 \cdot 10^{-6}$	0,153
натрій алкансульфонат	0,1...0,15	$83 \cdot 10^{-6}$	0,160
<i>Неіонні ПАР</i>			
октилфенілполієпоксилат	0,05...0,15	$79 \cdot 10^{-6}$	0,167
моноалкільний ефір поліетиленгліколю на основі жирних спиртів	0,05...0,1	$93 \cdot 10^{-6}$	0,147
<i>Катіонні ПАР</i>			
бензетоній хлорид	0,4...0,5	$85 \cdot 10^{-6}$	0,155
дінорам	0,08...0,15	$94 \cdot 10^{-6}$	0,142

Аналізуючи дані таблиці, видно, що середня товщина Л шару суттєво залежить від коефіцієнта поверхневого натягу рідини і під дією ПАР зменшується. При зменшенні середніх товщин приграничного Л шару швидкість в ньому зростає, а це інтенсифікує проходження кількості теплоти через нього. При цьому енергія зв'язку між стінкою трубопроводу і приповерхневим шаром води зменшується, мінімізується «прилипання» рідини до стінок.

На рис. 1 показано залежність поверхневого числа від концентрацій досліджуваних ПАР у воді.

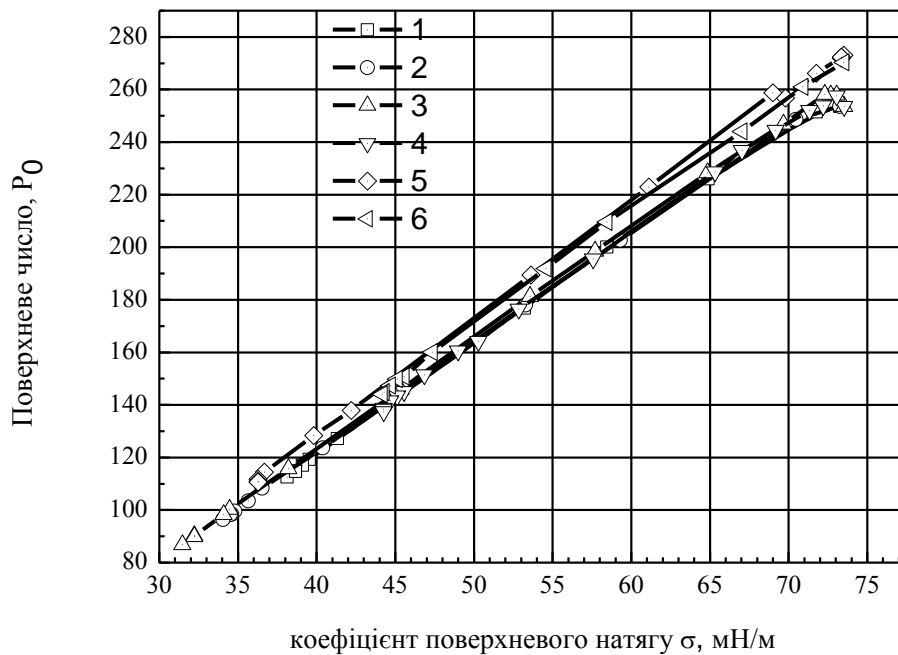


Рис. 1. Залежність поверхневого числа від концентрацій ПАР: 1– натрій лаурилсульфат; 2 – натрій алкансульфонат; 3 – октилфенілполіепоксилат; 4 – моноалкільний ефір поліетиленгліколю; 5 – бензетоній хлорид; 6 – дінорам.

З графіка видно, що при зменшенні коефіцієнта поверхневого натягу теплоносіїв зменшується числове значення поверхневого критерію. Для води при нормальних умовах числове значення поверхневого критерію становить 333,4. Діапазон поверхневого числа для досліджуваних ПАР становить для аніонних ПАР 96 – 113, для неіонних ПАР 87 – 139, для катіоноактивних 109 – 140.

Оскільки всі значення поверхневого числа P_0 лежать на прямій і накладаються, то з такої залежності, вимірявши коефіцієнт поверхневого натягу σ після введення ПАР у теплоносій, можна

визначити поверхневе число та швидкість у приповерхневому Л шарі v_x .

$$P_0 = \frac{1}{N} \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\mu v_x} = \frac{\mu}{v_x \delta \rho} \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\mu v_x} = \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\delta \rho v_x^2}$$

$$\text{Звідки } v_x = \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\mu N P_0}$$

Отже, за малих концентрацій ПАР у воді, суттєво зменшується коефіцієнт поверхневого натягу, середня товщина Л шару є мінімальною, а середня швидкість у цьому шарі є максимальною, і числове значення поверхневого критерію – мінімальне.

Висновки.

1. Знайдено числовий діапазон поверхневого числа для «льодяної» води за додавання оптимальних концентрацій ПАР різних видів.

2. Зменшення коефіцієнта поверхневого натягу мінімізує товщини приграничних шарів у системі стінка трубопроводу-вода, а, значить, збільшує середні швидкості в цих приграничних Л шарах, і, як наслідок, така система значно ефективніше може передавати кількість тепла.

Література:

1. Білонога, Ю.Л. Інтенсифікація та оптимізація тепломасообмінних процесів при виробництві органолептичних препаратів і переробці вторинної сировини м'ясокомбінатів [Текст]: Автореферат дис. ... доктора техн. наук./Ю.Л.Білонога. – Одеса, 2006. – 36 с.

2. Білонога, Ю. Л. Про доцільність розгляду гідромеханічних процесів з урахуванням сил поверхневого натягу на границі контакту тверде тіло-рідина [Текст] / Ю. Л. Білонога // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2006. – №2. – С. 56-64.

3. Білонога, Ю. Л. Зміна гідромеханічних і теплофізичних характеристик теплоносія у приграничному шарі під дією поверхнево-активних речовин (ПАР) [Текст] / Ю. Л. Білонога, О. Р. Максисько // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2009. – №2. – С. 121-126.

4. Кук, Г. А. Процессы и аппараты молочной промышленности [Текст] / Г. А. Кук. – М. : Пищевая промышленность, 1973. – 767 с.

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

**ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ (ПАВ)
НА ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ГРАНИ СТЕНКА ТРУБОПРОВОДА-
ВОДА**

Максысько О.Р.

Аннотация – в статье показаны изменения гидромеханических характеристик теплоносителя, который движется в трубе, а именно, в приграничном ламинарном слое под действием поверхностно-активных веществ (ПАВ). Показано, что уменьшение коэффициента поверхностного натяжения минимизирует толщину приграничного L слоя в системе стенка трубопровода-вода, а, значит, увеличивает среднюю скорость потока в нем. Найден числовой диапазон поверхностного числа для воды при добавлении ПАВ.

**ANFLUENCE SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES ON
HYDROMECHANICAL CHARACTERISTICS OF HEAT-
CARRYING AGENT IN BY LIMITING LAYER**

Maksysko O.

Summary

The article deals with the change of hydromechanical characteristics of heat-carrying agent, that move in tube, namely, in by-limiting layer under the surfactants. It was also shown that a reduce of surface tension coefficient minimize a thickness of by-limiting L layer in system of pipeline – water wall, it means that it increase an average speed of stream in this L layer. Numerical range of surface criterion for water solution SS were found out and are investigating. Minimal meaning of surface criterion are observed at optimal concentrations surfactants.