

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

МАКСИСЬКО ОКСАНА РОМАНІВНА

УДК 664.002.5(075)

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ З
ВИКОРИСТАННЯМ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Львівському національному університеті ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького Міністерства аграрної політики та продовольства України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор,
Білонога Юрій Львович,
Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького,
кафедра загальнотехнічних дисциплін, професор кафедри.

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор,
Михайлов Валерій Михайлович,
Харківський державний університет харчування та торгівлі,
проректор з наукової роботи;

– кандидат технічних наук, доцент
Зиков Олександр Вікторович
Одеська національна академія харчових технологій,
кафедра процесів, апаратів і енергетичного менеджменту,
доцент кафедри.

Захист відбудеться *«19» квітня 2012 р.* о 13³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 Одеської національної академії харчових технологій, за адресою: вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій, за адресою: вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039.

Автореферат розіслано *«16» березня 2012 р.*

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент

Г.І. Палвашова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Основною проблемою переробних галузей промисловості є низька їх енергоефективність. Не винятком є і підприємства харчової промисловості. Рідкофазні харчові продукти, молоко, соки, пиво, вершки та ін. повинні піддаватися тепловій обробці – пастеризації, охолодженню, оскільки швидко псуються, а тому і значні енерговитрати відбуваються саме на стадії теплової обробки продуктів. Всі ці процеси протікають у спеціальних теплообмінних апаратах. В переробних галузях, зокрема в харчовій, хімічній, найбільш розповсюджені кожухотрубні теплообмінники. Вони забезпечують надійний теплообмін між теплоносіями завдяки великій поверхні теплообміну, прості у виготовленні й надійні в експлуатації. Для їх ефективної роботи необхідно, щоб коефіцієнт теплопередачі та корисної дії, були максимальними. Тому питання, що пов'язані з інтенсифікацією теплообмінних процесів, а також підвищення коефіцієнта теплопередачі систем охолодження та нагрівання в переробній промисловості є актуальними та економічно доцільними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові дослідження дисертаційної роботи виконувались в рамках науково-дослідних робіт кафедри загальнотехнічних дисциплін Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького «Розробка, дослідження, вдосконалення, вузлів, деталей, технологічного обладнання м'ясної і молочної і переробних галузей», «Розробка, вдосконалення і автоматизація енергоекологізберігаючих технологічних процесів, матеріалів та вузлів переробної промисловості», «Вдосконалення енергозберігаючих технологій і матеріалів для харчової і переробної промисловості» (№№ держреєстрації 0102U001322 і 0102U001349) з 1999 по 2010 рік, де автор була одним із співвиконавців.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є підвищення енергоефективності процесу охолодження рідини з одночасним зменшенням гідравлічного опору системи.

Досягнення поставленої мети вимагало виконання таких завдань:

- провести аналіз літературних джерел і патентної документації, щодо інтенсифікації процесів теплообміну;
- провести аналіз емпіричних залежностей, які пов'язані з розрахунком середньої товщини приповерхневого ламінарного (Л) шару на межі контактування фаз тверде тіло-рідина (стінка трубопроводу – протік рідини) та його теплового опору;
- визначити фізичні властивості водних розчинів (динамічний коефіцієнт в'язкості, коефіцієнт поверхневого натягу, кут змочування) за додавання найбільш поширених поверхнево-активних речовин (ПАР) різної природи, знайти концентрації ПАР, за яких ці параметри були б мінімальними;
- здійснити пошук природних ПАР до компонентів молока (модельна рідина 2), визначити їх раціональні концентрації, та їх вплив на коефіцієнт його поверхневого натягу та динамічної в'язкості;
- встановити оптимальні концентрації ПАР за яких значення поверхневого числа є мінімальне;

– розрахувати та експериментально перевірити коефіцієнт теплопередачі нормалізованого кожухотрубного та його гідравлічний опір за додавання раціональних концентрацій ПАР до теплоносіїв.

Об'єкт досліджень – процес теплообміну рідкофазної сировини.

Предмет досліджень – фізичні та гідродинамічні параметри розчинів ПАР, їх вплив на середню товщину приповерхневого Л шару, на його середню швидкість та загальний коефіцієнт теплопередачі кожухотрубного теплообмінника.

Методи досліджень – аналітичний, числові методи комп'ютерного розрахунку, експериментальні дослідження з використанням сучасного обладнання, статистичні методи обробки експериментальних даних.

Наукова новизна отриманих результатів. В роботі **вперше** сформульовані та доведені наукові положення:

– для характеристики теплоносія та можливості інтенсифікації теплопередачі запропонований новий безрозмірний комплекс – поверхневе число, що є функцією від коефіцієнта поверхневого натягу теплоносія;

– додавання раціональних концентрацій поверхнево-активних речовин до теплоносіїв забезпечує зменшення середньої товщини приграничного ламінарного (Л) шару в системі стінка теплообмінника-потік теплоносія та підвищення загального коефіцієнта теплопередачі теплообмінної апаратури.

У результаті аналітичних і експериментальних досліджень вперше:

– встановлено, що сили поверхневого натягу в межах приграничного Л шару характеризуються величиною поверхневого числа P_0 ; значення числа P_0 залежить від коефіцієнта поверхневого натягу теплоносія;

– обґрунтовано та експериментально підтверджено, що за раціональних концентрацій ПАР спостерігається мінімальне значення поверхневого числа;

– досліджено поверхневі властивості рослинних олій межі розділу фаз рідина – газ, рідина – тверда поверхня, рідина – рідина; встановлено, що на межі розділу цих фаз рослинні олії ведуть себе як ПАР до компонентів молока;

– підібрано раціональні концентрації природних ПАР до теплоносіїв для забезпечення максимального коефіцієнта теплопередачі;

– встановлено числові діапазони поверхневого числа для «льодяної» води та емульсії природного походження (молока) за додавання відповідних ПАР;

– отримано залежність поверхневого числа від коефіцієнта поверхневого натягу теплоносія;

– проведено комп'ютерне моделювання процесу теплообміну кожухотрубних теплообмінників;

– показано, що додавання ПАР до теплоносіїв забезпечує двоєдину задачу збільшення загального коефіцієнта теплопередачі кожухотрубного теплообмінника та зменшення його гідравлічного опору.

Практичне значення отриманих. Теоретичними й експериментальними дослідженнями та виробничими випробуваннями розроблено, встановлено й практично підтверджено, що додавання до теплоносіїв встановленої концентрації ПАР підвищує загальний коефіцієнт теплопередачі теплообмінної апаратури і не призводить до зростання загального гідравлічного опору системи.

Новизна технічних рішень дисертаційної роботи захищена деклараційним

патентом України на корисну модель № 42079. Результати роботи впроваджені на Львівському підприємстві ТзОВ «Пластфарма» та заводі харчових продуктів «Компанія «Данило Галицький» у м. Винники Львівської області.

Особистий внесок здобувача полягає у плануванні та проведенні експериментів, виборі об'єктів та методів експериментальних досліджень, обробці та узагальненні отриманих науково обґрунтованих результатів у вигляді формування висновків та пропозицій, підготовці матеріалів досліджень до публікування, виконаних у співавторстві та самостійно, розробці технологій і нормативної документації, промислової апробації розроблених технологій. Особистий внесок здобувача підтверджується представленими документами та публікаціями.

Апробація роботи. Основні наукові дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на Міжнародній науково-практичній конференції «Молоді вчені у вирішенні проблем аграрної науки і практики» (Львів, 2004 р., 2009 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв» (Харків, 2005 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційність розвитку сучасного аграрного виробництва» (Львів, 2008 р., 2009 р.); Міжнародній науковій конференції «Вдосконалення процесів і обладнання харчових і хімічних виробництв» (Одеса, 2008-2011 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції «Интегрированные технологии и энергосбережение. ИТЭ-2009» (Алушта, 2009 р., 2010 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг» (Харків, 2010 р.).

Публікації. Результати дисертації опубліковані у 15-ти наукових роботах, з них 13 публікацій у фахових виданнях, 1 патент України, теза 1 доповіді.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, який налічує 147 найменувань (16 сторінок) та 3 додатків (4 сторінки). Роботу викладено на 152 сторінках, які включають 56 рисунків (24 сторінки), 22 таблиці (14 сторінок).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано її зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету і завдання досліджень, наведена наукова новизна, практичне значення та особистий внесок автора, представлена апробація результатів, публікації автора.

В **першому розділі** «Теоретичні основи інтенсифікації теплообмінних процесів на межі контакту стінка трубопроводу – потік теплоносія» проаналізовано рух рідин в трубопроводах та апаратах з врахуванням сил поверхневого натягу в приграничному (Л) шарі, на межі тверде тіло – рідина. Подані основні залежності для розрахунку середньої товщини цього шару. Середня товщина Л шару визначає тепловий опір системи. Особлива увага приділена огляду методів інтенсифікації процесу теплообміну. Представлена класифікація та характеристика ПАР. Відзначено перспективність інтенсифікації процесів теплообміну за використання поверхнево-активних речовин. На основі аналітичного огляду сформульовано постановку задачі досліджень.

У другому розділі «Методичні аспекти досліджень» описано загальні методики проведення експериментальних досліджень. Основні фізичні властивості теплоносіїв (коефіцієнт поверхневого натягу, динамічний коефіцієнт в'язкості, густина, кут змочування) визначали за стандартними методиками. Наведено методику визначення коефіцієнта теплопередачі та гідравлічного опору кожухотрубного теплообмінника на експериментальному стенді.

У третьому розділі «Вплив поверхнево-активних речовин (ПАР) на гідромеханічні характеристики теплоносіїв на межі стінка трубопроводу-потік» викладено основні результати експериментальних досліджень дисертаційної роботи. Показано, що на межі потік теплоносія – стінка трубопроводу, тобто в межах Л шару, виникає потужне поле поверхневих сил, що характеризується поверхневим

числом $P_o = \frac{1}{N} \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\mu v_x}$, де σ – коефіцієнт поверхневого натягу на межі тверде тіло

– рідина, Н/м; $\cos\theta$ – косинус кута змочування; N – видозмінене число Рейнольдса,

$N = \frac{v_x \delta \rho}{\mu} = 10,47 - 11,5$; v_x – середня швидкість в пристінних шарах, м/с.

Встановлено, що значення поверхневого числа P_o залежать від коефіцієнта поверхневого натягу теплоносія. Проведена серія експериментів по забезпеченню зміни коефіцієнта поверхневого натягу σ , косинуса кута змочування $\cos\theta$ та динамічного коефіцієнта в'язкості μ «льодяної» води (модельна рідина 1) та емульсії природного походження молока (модельна рідина 2) під дією ПАР. До водних розчинів додавались найбільш поширені аніонні, неіоногенні та катіонні ПАР. На (рис.1-3) показано залежність коефіцієнтів поверхневого натягу рідин та динамічного коефіцієнта в'язкості від концентрації досліджуваних типів ПАР.

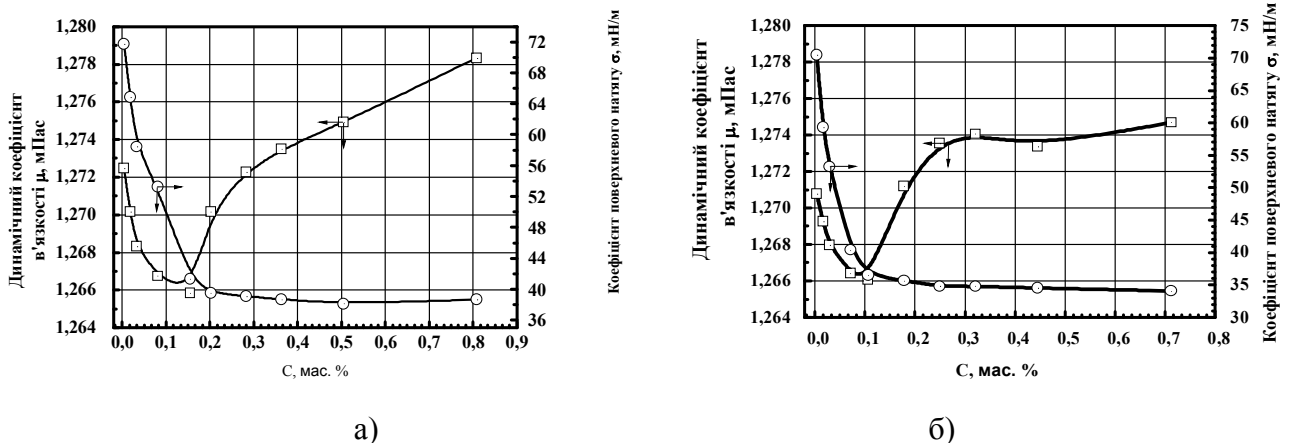


Рис. 1. Залежність коефіцієнта поверхневого натягу σ та динамічного коефіцієнта в'язкості μ води від концентрації аніонних ПАР: а) натрій лаурилсульфату (Emal), б) натрій алкансульфонату (E-30).

Мінімальне значення коефіцієнта поверхневого натягу води досягалось за концентрації (0,15...0,2) мас.% натрій лаурилсульфату та за (0,10...0,15) мас.% натрій алкансульфонату. За цих концентрацій коефіцієнт поверхневого натягу зменшується в 1,82 рази та 1,98 рази відповідно.

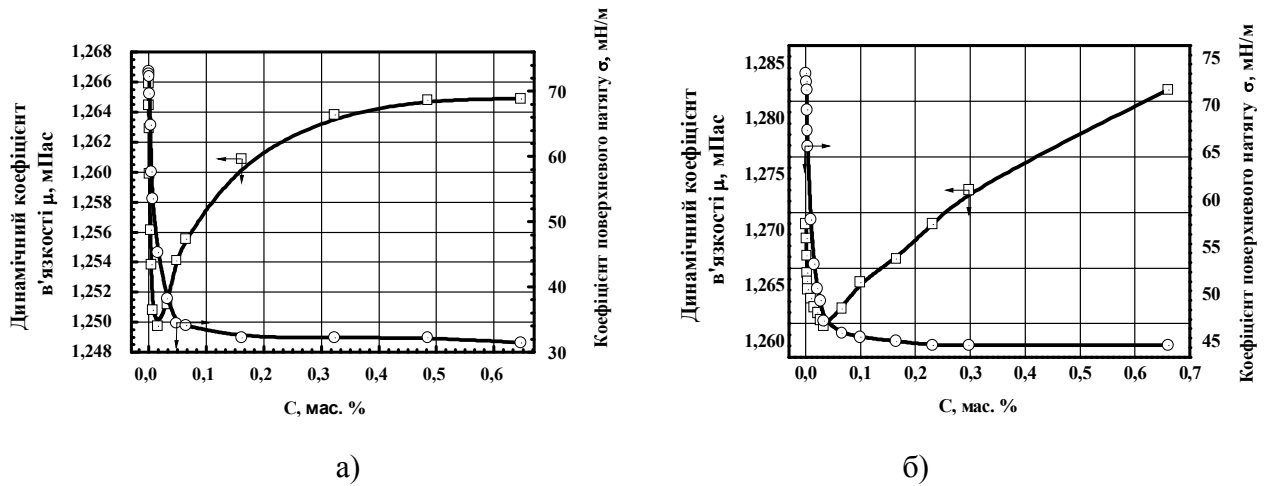


Рис. 2. Залежність коефіцієнта поверхневого натягу σ та динамічного коефіцієнта в'язкості μ води від концентрації неіоногенних ПАР: а) октилфенілполієпоксилату (Triton X-100), б) моноалкільного ефіру поліетиленгліколю на основі первинних жирних спиртів (ОС-20)

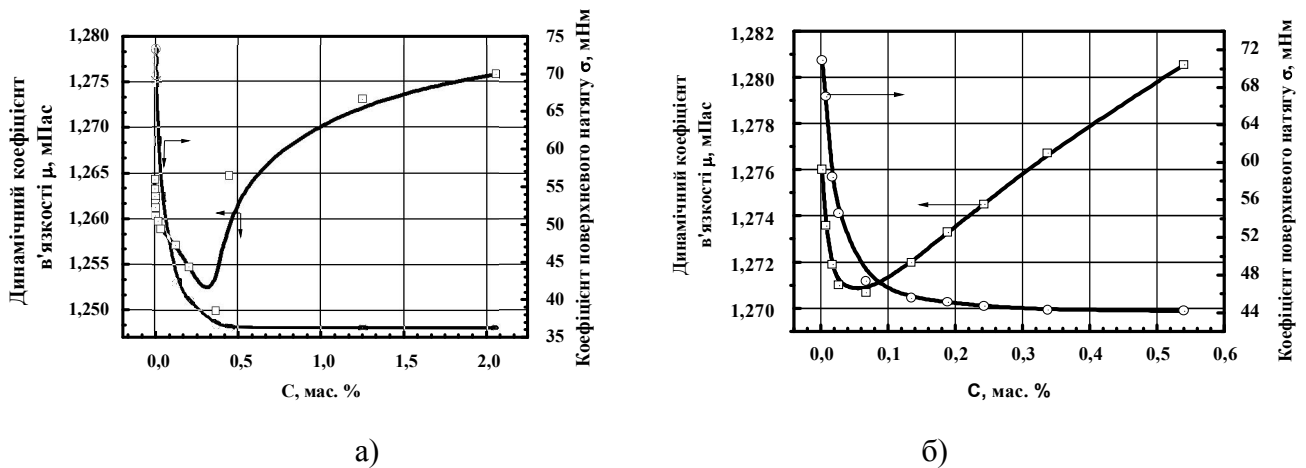


Рис. 3. Залежність коефіцієнта поверхневого натягу σ та динамічного коефіцієнта в'язкості μ від концентрації катіонних ПАР: а) бензетоній хлориду, б) діораму

Максимальне зменшення коефіцієнту поверхневого натягу для представників неіоногенних ПАР, зокрема, октилфенілполієпоксилату спостерігається за концентрації (0,05...0,15) мас.%. За цієї концентрації коефіцієнт поверхневого натягу зменшується в 2,32 рази. Для моноалкільного ефіру поліетиленгліколю на основі первинних жирних спиртів за концентрації (0,05...0,10) мас.% коефіцієнт поверхневого натягу зменшується в 1,66 рази. Для бензетоній хлориду та діораму (катіонних ПАР) мінімальне значення коефіцієнтів поверхневого натягу спостерігається за концентрацій (0,40...0,50) мас.%, та (0,08...0,15) мас.% відповідно. За цих концентрацій коефіцієнт поверхневого натягу зменшується у 2,0 рази та в 1,57 рази відповідно, в порівнянні з водою.

При обґрунтуванні вибору рослинних олій в якості ПАР до компонентів молока (модельна рідина 2) були проведені комплексні дослідження фізичних властивостей рослинних олій. Були визначені густина олій ρ , динамічний коефіцієнт в'язкості μ та коефіцієнт поверхневого натягу σ (табл. 1). Здатність досліджуваних

рослинних олій змочувати тверду поверхню оцінювали шляхом аналізу форми краплі рідини на поверхні твердого тіла. Розраховані значення кута змочування θ (табл. 1).

Таблиця 1

Фізичні характеристики рослинних олій(p \geq 0,95, n=3)

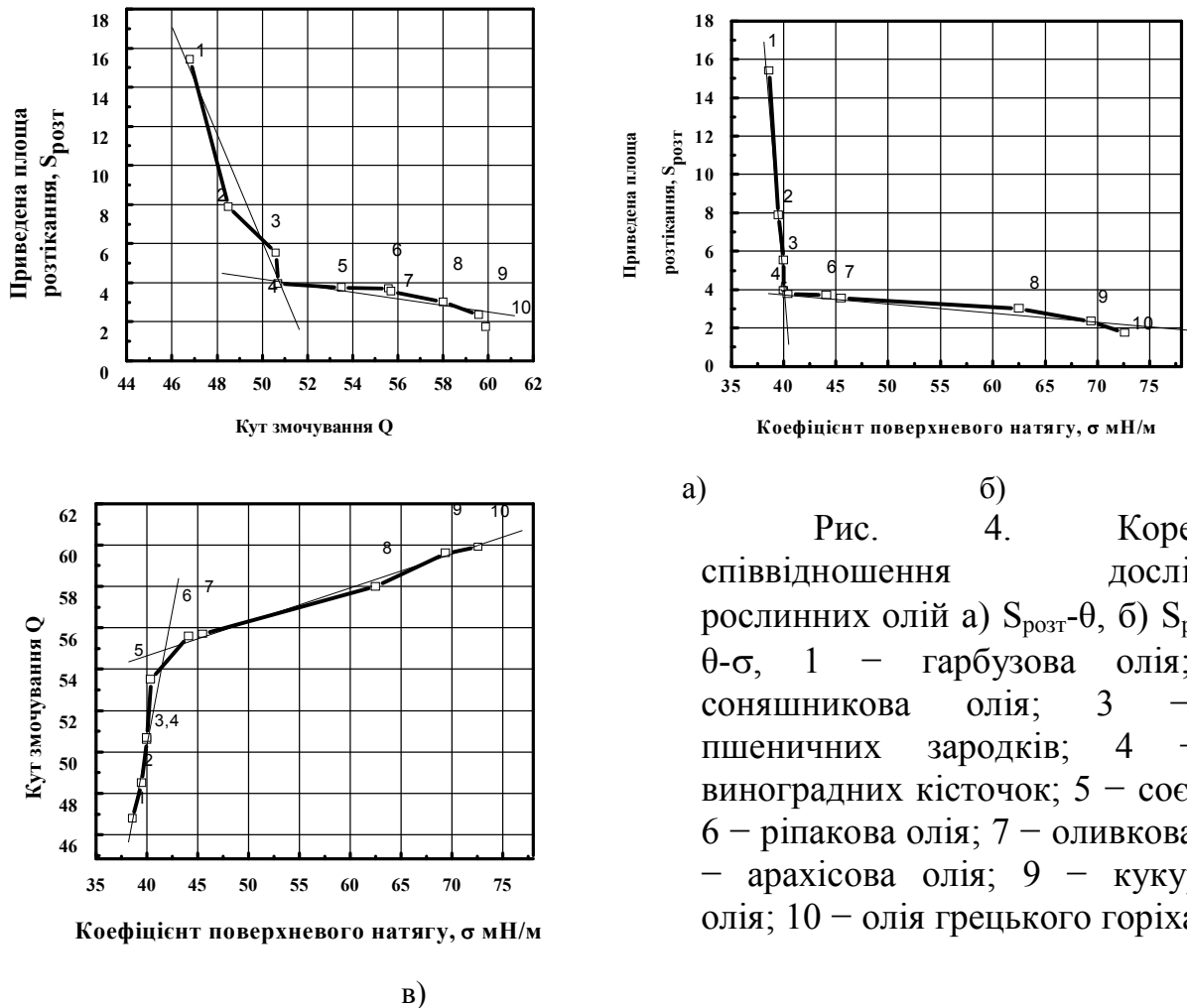
Олія	Густина ρ , кг/м ³	Динамічний коефіцієнт в'язкості μ , мПа·с	Коефіцієнт поверхневого натягу σ , Н/м	Кут змочування θ	Приведена площ розтікання $S_{розт} 10^{-2}$, м ² /Г
Гарбузова	918,6	70,0	38,6	46,79	15,4
Соняшникова	920,7	50,5	39,5	48,52	7,88
Пшеничних зародків	923,0	76,6	40,0	50,53	5,53
Виноградних кісточок	954,3	72,0	40,0	50,69	3,96
Соєва	919,6	64,4	40,5	53,49	3,76
Ріпакова	917,4	77,0	44,1	55,60	3,71
Оливкова	912,3	81,0	45,5	55,79	3,55
Арахісова	917,0	77,4	62,5	57,99	3,01
Кукурудзяна	919,4	33,0	69,4	59,63	2,35
Грецького горіха	919,6	57,2	72,7	59,92	1,74

Для оцінки спорідненості рослинних олій до полярного середовища був використаний метод, що базується на здатності нерозчинної у воді рідини (олії) розтікатись по поверхні води. Для визначення оптимального радіусу краплі, попередньо одержані результати вимірювань проєкцій її на мікрофотографіях, відповідно, математично опрацьовані.

Аналізуючи результати дослідження поверхневих властивостей показано, що досліджувані рослинні олії на межі розділу фаз рідина – газ, рідина – тверда поверхня, рідина – рідина ведуть себе як поверхнево-активні речовини до модельної рідини 2. В той же час, за характером прояву цих властивостей можна виділити дві групи рослинних олій: 1 група – ріпакова, соняшникова, соєва олії, олія виноградних кісточок і олія пшеничних зародків, оливкова та гарбузова олія. Ці олії характеризуються, порівняно з іншими, відносно низьким значенням коефіцієнта поверхневого натягу – 39 – 45 мН/м, що свідчить про достатньо високу поверхневу активність цих олій. 2 група – арахісова олія, олія грецького горіха, кукурудзяна олія, які характеризуються дещо вищим значенням поверхневого натягу – 62 – 72 мН/м.

Аналогічна тенденція спостерігається для даних по змочуваності твердої поверхні. Так, кут змочування θ для олій 1 групи дорівнює 51–56°, в той час як для олій 2 групи $\theta = 58 - 60^\circ$. Олії 2 групи характеризуються низькою здатністю розтікатись по поверхні води, що загалом добре корелює з результатами

вимірювання крайового кута змочування. Для встановлення залежності між поверхневими властивостями рослинних олій (коефіцієнт поверхневого натягу, кут змочування та площа розтікання) та оцінки такого зв'язку між цими параметрами використовувався кореляційний аналіз, за якого тіснота зв'язку визначалась коефіцієнтом парної кореляції r . На рис. 4 представлені графіки кореляцій досліджених рослинних олій.

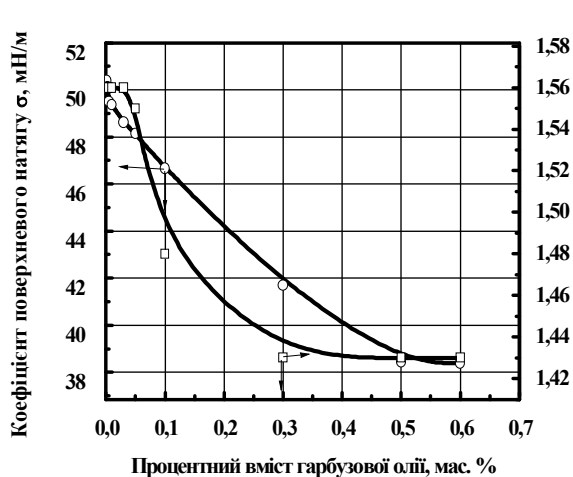


а) б)
 Рис. 4. Кореляційні співвідношення досліджених рослинних олій а) $S_{розт}-\theta$, б) $S_{розт}-\sigma$, в) $\theta-\sigma$, 1 – гарбузова олія; 2 – соняшникова олія; 3 – олія пшеничних зародків; 4 – олія виноградних кісточок; 5 – соєва олія; 6 – ріпакова олія; 7 – оливкова олія; 8 – арахісова олія; 9 – кукурудзяна олія; 10 – олія грецького горіха.

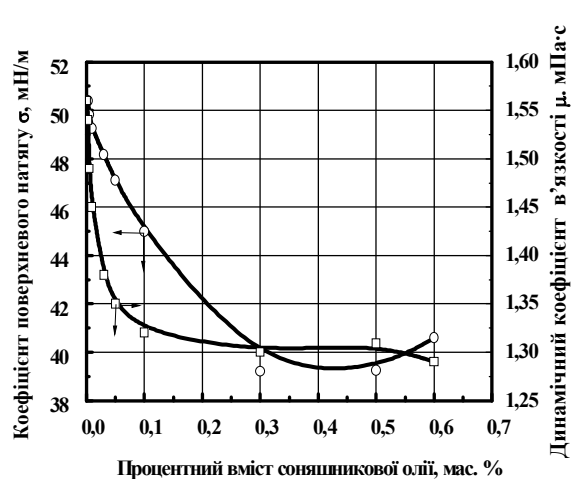
в)

Коефіцієнти парної кореляції $\theta - \sigma$ та $\theta - S_{розт}$ є достатньо близькі до одиниці і дорівнюють відповідно $r_{\theta\sigma} = 0,868$ та $r_{\theta S} = 0,813$. Кореляція експериментальних даних $S_{розт} - \sigma$ є менш надійна – коефіцієнт парної кореляції $r_{S\sigma} = 0,700$, однак, у цьому випадку може проявлятися вплив в'язкості на динаміку розтікання олії по поверхні рідини. В той же час аналіз кореляційних залежностей дає змогу виділити дві групи рослинних олій, для кожної з яких прослідковується наявність тісної кореляції між відповідними парами параметрів. До першої групи відносяться гарбузова, соняшникова олії, олії пшеничних зародків та виноградних кісточок, соєва олія. Для цієї групи олій сильно виражений взаємозв'язок параметрів $S-\theta$, $S-\sigma$ та $\theta-\sigma$. Це група олій, які характеризуються високою, порівняно з іншими оліями, поверхневою активністю. Друга група олій – це ріпакова, оливкова, арахісова, кукурудзяна та олія грецького горіха, для яких теж спостерігається практично лінійна кореляція між відповідними парами параметрів, хоча взаємозв'язок цих параметрів, порівнюючи з першою групою, є значно слабший.

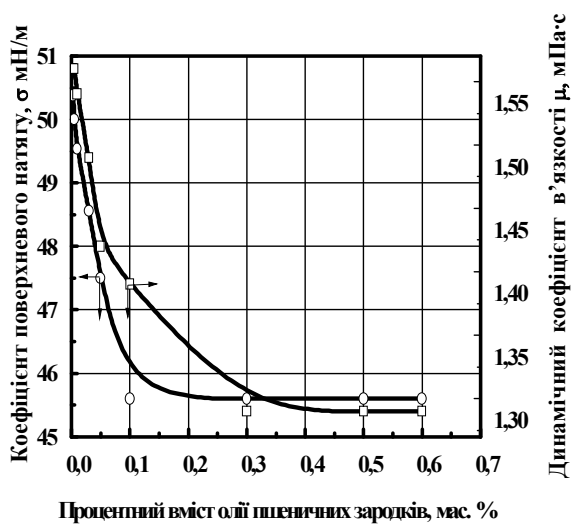
Проведено ряд дослідів із забезпечення зміни коефіцієнта поверхневого натягу, косинуса кута змочування і динамічного коефіцієнта в'язкості емульсії природного походження (молока) за додавання до нього рослинних олій. Молоко поміщали в посудину з термостатом, де його перемішували мішалкою з частотою обертання 3 с^{-1} . В молоко вносили добавку олій, а одну пробу залишали як контрольну. На рис. 5 показано зміни коефіцієнтів поверхневого натягу та динамічного коефіцієнта в'язкості від вмісту рослинних олій.



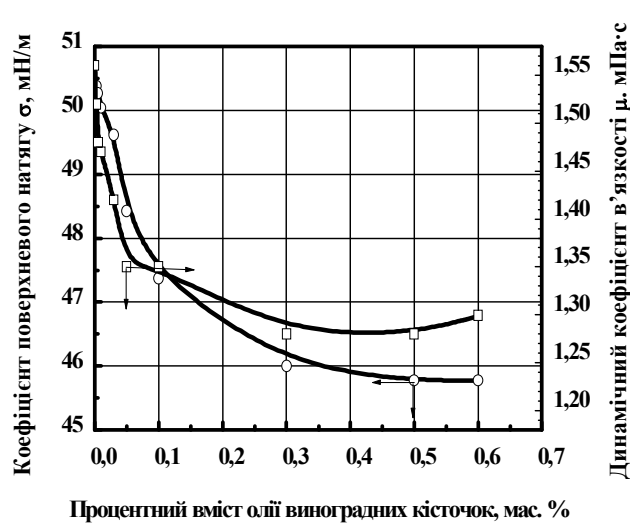
а)



б)



в)



г)

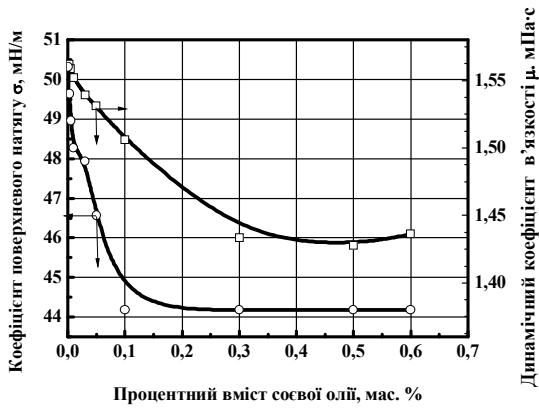


Рис. 5. Залежності коефіцієнта поверхневого натягу σ і динамічного коефіцієнта в'язкості μ молока від концентрації досліджуваних рослинних олій: а) гарбузової олії, б) соняшникової олії, в) олії пшеничних зародків, г) олії виноградних кісточок, д) соєвої олії.

Експериментальні дані показують, додаючи раціональні концентрації ПАР різної природи до теплоносіїв можна понизити коефіцієнт його поверхневого натягу, а значить мінімізувати середню товщину приграничного Л шару в системі стінка трубопроводу-носій. Середню товщину приграничного Л шару визначали за формулою:

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

де d – діаметр живого перерізу потоку, м; ρ – густина рідини, кг/м^3 ; l – довжина трубопроводу, м; λ – коефіцієнт Дарсі; $K_T = \frac{Re}{Re_{крит}}$ – коефіцієнт турбулізації Л шару.

Розраховано числові діапазони поверхневого числа для «льодяної» води та молока за додавання відповідних ПАР (табл. 2 та табл. 3.).

Таблиця 2
Значення поверхневого числа за раціональних концентрацій ПАР до модельної рідини 1 («льодяної» води)

($p \geq 0,95$, $n=3$)

Теплоносій	Раціональна концентрація, мас. %	Середня товщина Л шару, м	Швидкість в пристінних шарах, м/с	Значення поверхневого числа Pe_0
Вода		$116 \cdot 10^{-6}$	0,116	254
Аніонні ПАР натрій лаурилсульфат (Emal)	0,15...0,20	$87 \cdot 10^{-6}$	0,153	112
натрій алкансульфонат (E-30)	0,10...0,15	$83 \cdot 10^{-6}$	0,160	96

<i>Неіонні ПАР</i>				
Октилфенілполіепоксилат (Triton X-100)	0,05...0,15	$79 \cdot 10^{-6}$	0,167	86
моноалкільний ефір поліетиленгліколю на основі жирних спиртів (ОС-20)	0,05...0,10	$93 \cdot 10^{-6}$	0,143	138
<i>Катіонні ПАР</i>				
бензетоній хлорид	0,40...0,50	$85 \cdot 10^{-6}$	0,155	108
дінорам	0,08...0,15	$94 \cdot 10^{-6}$	0,142	139

Таблиця 3

Значення поверхневого числа за раціональних концентрацій природних ПАР до модельної рідини 2 (молока)

(p≥0,95, n=3)

Теплоносій	Раціональна концентрація, мас. %	Середня товщина Л шару, м	Швидкість в пристінних шарах, м/с	Значення поверхневого числа, $Р_0$
Молоко		$113 \cdot 10^{-6}$	0,141	127
Молоко + гарбузова олія	0,5...0,6	$82 \cdot 10^{-6}$	0,155	106
Молоко + соняшникова олія	0,3...0,4	$86 \cdot 10^{-6}$	0,153	105
Молоко + олія пшеничних зародків	0,3...0,4	$92 \cdot 10^{-6}$	0,152	116
Молоко + олія виноградних кісточок	0,1...0,15	$91 \cdot 10^{-6}$	0,150	116
Молоко + олія сої	0,3...0,4	$97 \cdot 10^{-6}$	0,149	119
Молоко + ріпакова олія	0,3...0,4	$101 \cdot 10^{-6}$	0,145	120
Молоко + оливкова олія	0,5...0,6	$103 \cdot 10^{-6}$	0,144	121
Молоко + арахісова олія	0,5...0,515	$106 \cdot 10^{-6}$	0,143	123
Молоко + кукурудзяна олія	0,5...0,6	$107 \cdot 10^{-6}$	0,142	125
Молоко + олія грецького горіха	0,5...0,6	$108 \cdot 10^{-6}$	0,141	126

Зменшуючи середні товщини приграничного Л шару води та молока, швидкість в них зростає, а це інтенсифікує проходження кількості теплоти через нього. Оскільки середня товщина Л шару суттєво залежить від коефіцієнта поверхневого натягу рідини, то і швидкість в приповерхневих шарах також залежить від нього. При зменшенні товщини приграничного Л шару швидкість в пристінній області зростає, то крива розподілу векторів швидкостей в цій області буде зростати інтенсивніше (рис. 6).

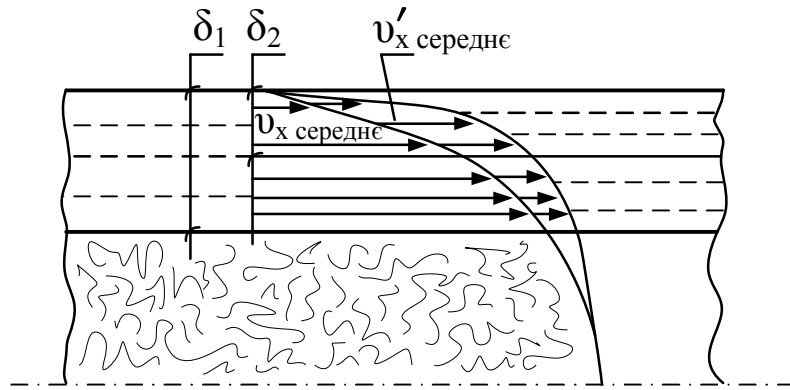


Рис. 6. Розподіл векторів швидкостей у приграничному Л шарі.

Графіки залежностей поверхневого критерію модельної рідини 1 («льодяної» води) та модельної рідини 2 (молока) від коефіцієнтів їх поверхневого натягу за додавання відповідних ПАР представлені на рис. 7.

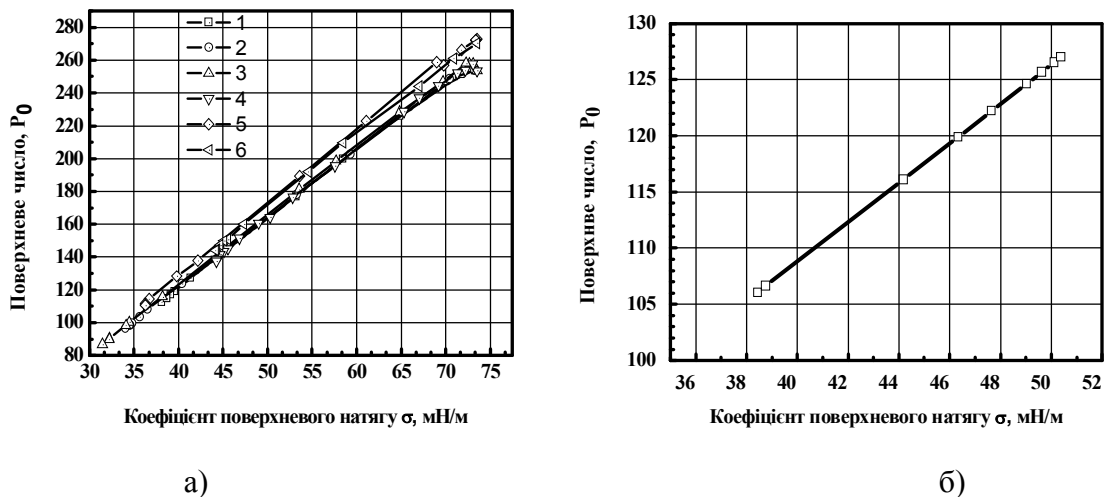


Рис. 7. Залежність поверхневого числа від коефіцієнта поверхневого натягу: а) води, б) молока; 1– натрій лаурилсульфат, 2– натрій алкансульфонат, 3 – октилфенілполієпоксилат, 4 – моноалкільний ефір поліетиленгліколю, 5 – бензетоній хлорид, 6 – дінорам.

Значення поверхневого числа за тих самих умов для води становить 253, а для молока – 127. Це можна пояснити тим, що коефіцієнт поверхневого натягу сирого молока $50,38 \cdot 10^{-2}$ Н/м, води – $73,25 \cdot 10^{-2}$ Н/м, тобто для молока набагато менший. Мале значення коефіцієнта поверхневого натягу молока обумовлено вмістом в ньому молочного жиру та білків, тобто вмістом фосфоліпідів, які є також ПАР.

Всі значення числа P_o лежать на прямій і накладаються. З такої залежності, вимірявши коефіцієнт поверхневого натягу σ після введення ПАР у теплоносій, можна визначити поверхнє число та швидкість v_x у приповерхневому Л шарі:

$$P_o = \frac{1}{N} \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\mu v_x} \frac{\mu}{v_x \delta \rho} \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\mu v_x} = \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\delta \rho v_x^2}$$
, звідки $v_x = \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\mu N P_o}$. Отже, за малих концентрацій ПАР, як при додаванні до води, так і до молока, суттєво зменшується

коефіцієнт поверхневого натягу, середня товщина приповерхневого шару є мінімальною, а середня швидкість в цьому шарі є максимальною, і значення поверхневого числа – мінімальне, що дозволяє інтенсифікувати проходження кількості тепла за таких умов.

В четвертому розділі «Підвищення коефіцієнта теплопередачі кожухотрубного теплообмінника за додавання поверхнево-активних речовин» показано зміну коефіцієнта теплопередачі кожухотрубного теплообмінника за додавання до теплоносіїв раціональних концентрацій ПАР. Загальний коефіцієнт теплопередачі K обчислювали за формулою:

$$K_{\delta} = \frac{1}{\frac{\delta_{nl1}}{\lambda_{nl1}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{nl2}}{\lambda_{nl2}}}, \quad (2)$$

де $\frac{\delta_{nl1}}{\lambda_{nl1}}, \frac{\delta_{nl2}}{\lambda_{nl2}}$ – термічні опори L шарів, Вт/м² К.

Рівність (2) корисна тим, що показує безпосередній зв'язок коефіцієнта теплопередачі K з коефіцієнтом динамічної в'язкості, коефіцієнтом поверхневого натягу теплоносія та гідрофільністю поверхні, які суттєво змінюються при використанні ПАР. Додавання раціональних концентрацій ПАР різної природи до «льодяної» води збільшує коефіцієнт теплопередачі на 13,0...23,4 %. За додавання раціональних концентрацій рослинних олій до молока загальний коефіцієнт теплопередачі теплообмінника зростає на 10 %. На 40 % збільшується коефіцієнт теплопередачі кожухотрубного теплообмінника за внесення встановлених концентрацій досліджуваних ПАР до обидвох теплоносіїв. Гідравлічний опір теплообмінника при цьому не збільшився (табл. 4).

Таблиця 4

Зміна теплофізичних параметрів теплоносіїв за додавання раціональних концентрацій ПАР

($p \geq 0,95, n=3$)

Параметр и	Молоко	Молоко (0,5...0,6) мас.% гарбуз. олії	Вода	Вода +(0,05...0,15) мас.%. октилфенілполіепоксилату
$\sigma, \text{Н/м}$	$52,6 \cdot 10^{-2}$	$38,3 \cdot 10^{-3}$	$74,22 \cdot 10^{-2}$	$31,47 \cdot 10^{-2}$
$\cos\theta$	0,919	0,953	0,866	0,975
Re	9113	11465	14037	14538
$\delta_{nl}, \text{м}$	$1,78 \cdot 10^{-4}$	$1,26 \cdot 10^{-4}$	$3,62 \cdot 10^{-4}$	$2,43 \cdot 10^{-4}$
$\frac{\delta_{nl1}}{\lambda_{nl1}}, \frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	$3,48 \cdot 10^{-4}$	$2,46 \cdot 10^{-4}$	$6,29 \cdot 10^{-4}$	$4,23 \cdot 10^{-4}$
$K, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$	915		1277 (40 %)	
$\Delta P_{тр}, \text{Па}$	15819		15539	
$\Delta P_{мтр}, \text{Па}$	252381		250794	

Збільшення загального коефіцієнта теплопередачі кожухотрубного теплообмінника під впливом ПАР фіксували також експериментально на стенді з кожухотрубним теплообмінником. Потрібну концентрацію ПАР за допомогою шприца та голки подавали в трубопровід холодного теплоносія.

На рис. 9. показано графік кореляції розрахункових та експериментальних коефіцієнтів теплопередачі.

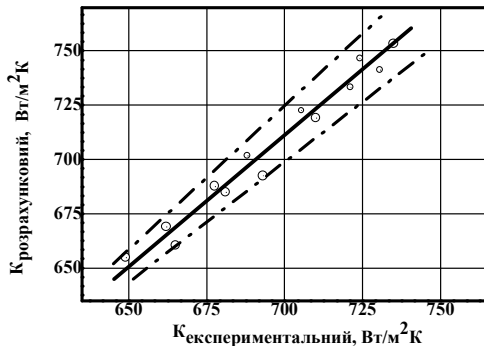


Рис. 9. Кореляція розрахункових $K_{роз}$ та експериментальних $K_{експ}$ коефіцієнтів теплопередачі.

В п'ятому розділі «Економічна ефективність інтенсифікації теплообміну за використання поверхнево-активних речовин» розраховано економічну ефективність впровадження нового способу інтенсифікації процесу охолодження рідини за використання до теплоносіїв відповідних рекомендованих

концентрацій ПАР (табл.5.) .

Таблиця 5

Економічна ефективність інтенсифікації теплообміну за використання ПАР

Показники	Теплоносій без ПАР	Теплоносій за додавання ПАР
Коефіцієнт теплопередачі K , Вт/м ² К	915	1277
Теплове навантаження Q , Вт	$2,4 \cdot 10^6$	$1,70 \cdot 10^6$
Витрата теплоносія («льодяної води») G_1 , кг/с	95,3	68,2
Витрата теплоносія G_2 , кг/с	15,0	27,8
Потужність, що споживає двигун насосу N , кВт	30,82	22,1

Економія на електроенергії для однієї установки за рік становить 29013 грн. Якщо розглянути це в масштабах підприємства, де працюють десятки теплообмінників, то економічна ефективність процесу інтенсифікації теплообміну за використання ПАР є очевидна.

ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджені основи наукової концепції щодо розгляду руху рідин в трубопроводах та апаратах з врахуванням дії поверхневих сил на границі контакту тверде тіло-рідина, тобто в межах приграничного L шару. Показано, що до 98 % теплового опору в теплообмінній апаратурі концентрується в цьому шарі.

2. Доведено, що середню товщину приграничного ламінарного шару можна зменшувати додаванням до потоку теплоносія узгоджених по концентрації ПАР. Середню товщину приграничного ламінарного шару можна визначити як функцію

від поверхневого натягу, гідрофільності поверхні стінки змочування та коефіцієнта турбулізації потоку.

3. Коефіцієнт теплопередачі теплообмінної апаратури можна визначати через складові термічного опору рекуперативної стінки та термічних опорів ламінарних приграничних шарів.

4. Встановлено раціональні концентрації водних розчинів ПАР з використанням найбільш поширених ПАР різної природи. Показано, що внесення ПАР до «льодяної» води мінімізує середню товщину приграничного шару в 1,23 – 1,47 рази. Відповідно у стільки ж разів зменшується тепловий опір цього Л шару.

5. На основі експериментальних досліджень поверхневих властивостей рослинних олій та аналізу кореляційних залежностей між відповідними парами параметрів встановлено, що досліджувані рослинні олії на межі розділу фаз рідина–газ, рідина–тверда поверхня, рідина–рідина ведуть себе як ПАР до компонентів молока. За характером прояву цих властивостей виділено дві групи рослинних олій.

6. Визначено раціональні концентрації рослинних олій до молока, за яких коефіцієнт поверхневого натягу є мінімальним, а відповідно, мінімальними є середні товщини приграничних Л шарів.

7. Показано, що на межі потік теплоносія – стінка трубопроводу, тобто в межах Л шару, виникає потужне поле сил поверхневого натягу. Інтенсивність поверхневих сил характеризується значенням поверхневого числа. Встановлений діапазон поверхневого числа для водних розчинів досліджуваних ПАР (86-139), та для молока (127-106) за раціональних концентрацій ПАР. Показано, що поверхнєве число є функцією від коефіцієнта поверхневого натягу теплоносія.

8. Показано, що додавання до «льодяної» води раціональних концентрацій ПАР приводить до підвищення загального коефіцієнта теплопередачі рекуперативного теплообмінника, на прикладі кожухотрубного теплообмінника на 13-23 %, а додавання до молока раціональних концентрацій природних ПАР – до підвищення загального коефіцієнта теплопередачі цього ж теплообмінника на 4-10 %.

9. Запропоновано метод підвищення загального коефіцієнта теплопередачі теплообмінної апаратури шляхом додавання до теплоносіїв незначної кількості ПАР (вода+ (0,05...0,10) мас.%. октилфенілполієпоксилату, молоко + (0,5...0,55) мас. % гарбузової олії). Показано, що за використання цих ПАР коефіцієнт теплопередачі кожухотрубного теплообмінника збільшився на 40 %, при цьому гідравлічний опір теплообмінника не збільшився.

Список праць, опублікованих за матеріалами дисертації

1. Білонога, Ю. Л. Особливості розрахунку теплообмінної апаратури з врахуванням теплового опору приграничного шару [Текст] / Ю. Л. Білонога, О.Р. Максисько О.Р., Б.Р. Ціж // Науковий вісник ЛДАВМ імені С. З. Гжицького. – 2002. – Т.4, (№ 2), Ч. 5. – С. 97 – 104.

Особистий внесок здобувача: вибрано та розраховано нормалізований кожухотрубний теплообмінник, а також його гідравлічний опір.

2. Підвищення коефіцієнта теплопередачі теплообмінної апаратури при використанні поверхнево-активних речовин [Текст] / Ю. Л. Білонога, О. Р. Максисько, Б.Р. Ціж, Ю. Ю. Варивода // Науковий вісник ЛНАВМ імені С. З. Гжицького. – 2004. – Т. 6, (№ 2), Ч. 3. – С. 126 – 132.

Особистий внесок здобувача: експериментально знайдено раціональну концентрацію сульфону натрію у воді, виміряно значення коефіцієнтів динамічної в'язкості та поверхневого натягу, а також кута змочування. Обчислено середню товщину приграничного ламінарного шару та коефіцієнт теплопередачі нормалізованого кожухотрубного теплообмінника за додавання ПАР до води.

3. До питання розрахунку коефіцієнта теплопередачі теплообмінної апаратури [Текст] / Ю. Л. Білонога, О. Р. Максисько, Б. Р. Ціж, Ю. Ю. Варивода // Науковий вісник ЛНАВМ імені С. З. Гжицького. – 2005. – Т. 7, (№ 2), Ч. 6. – С. 3 – 7.

Особистий внесок здобувача: розраховано зміну коефіцієнта тепловіддачі та середню товщину приграничного Л шару від числа Рейнольдса. Розраховано коефіцієнти теплопередачі нормалізованих кожухотрубних теплообмінників за класичною формулою та через товщини приграничних Л шарів.

4. Білонога, Ю. Л. Підвищення коефіцієнта теплопередачі кожухотрубного теплообмінника при тепловій обробці молока [Текст] / Ю. Л. Білонога, О. Р. Максисько // Вісник Харківського національного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2005. – Вип. 38. – С. 82 – 87.

Особистий внесок здобувача: експериментально знайдено раціональну концентрацію лляної олії у молоці, виміряне значення коефіцієнтів динамічної в'язкості та поверхневого натягу, а також кута змочування. Обчислено середню товщину приграничного ламінарного шару та коефіцієнт теплопередачі нормалізованого кожухотрубного теплообмінника за додавання лляної олії до молока.

5. Білонога, Ю. Л. Підвищення коефіцієнта теплопередачі теплообмінної апаратури за умов додавання поверхнево-активних речовин (ПАР) до теплоносіїв [Текст] / Ю. Л. Білонога, О. Р. Максисько // Вісник Харківського державного університету харчування та торгівлі «Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства та торгівлі. – 2006. – Вип. 1 (3). – С. 174 – 181.

Особистий внесок здобувача: розраховано коефіцієнти теплопередачі нормалізованих кожухотрубних теплообмінників за додавання раціональних концентрацій ПАР до теплоносіїв.

6. Білонога, Ю. Л. Оптимізація концентрацій рослинних поверхнево-активних речовин (ПАР) в молоці для інтенсифікації теплопередачі в системі стінка теплообмінника-потік [Текст] / Ю. Л. Білонога, О. Р. Максисько // Наук. пр. ОНАХТ. – О., 2008. – Вип. 32. – С. 200 – 204.

Особистий внесок здобувача: проаналізовано існуючі методи інтенсифікації. Експериментально знайдено раціональні концентрації рослинних олій до молока.

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

Особистий внесок здобувача: експериментально знайдено раціональні концентрації аніонних ПАР у воді, розраховано середню товщину приграничного Л шару та середню швидкість в ньому за додавання ПАР. Знайдено діапазон значень поверхневого числа для водних розчинів ПАР.

8. Білонога, Ю. Л. Інтенсифікація теплообміну при додаванні аніонних поверхнево-активних речовин (ПАР) до води [Текст] / Ю. Л. Білонога, О. Р. Максисько // Науковий вісник ЛНУВМ та БТ імені С. З. Гжицького. – 2009. – Т. 11, (№ 2 (41)), Ч. 5. – С. 3 – 9.

Особистий внесок здобувача: розраховано коефіцієнт теплопередачі нормалізованого кожухотрубного теплообмінника за використання раціональних концентрацій ПАР до води.

9. Білонога, Ю. Л. Обґрунтування вибору рослинних олій в якості поверхнево-активних речовин (ПАР) до компонентів молока компонентів молока [Текст] / Ю. Л. Білонога, О. Р. Максисько // Наук. пр. ОНАХТ. О., 2009. – Вип. 35, т. 2. – С. 158 – 164.

Особистий внесок здобувача: досліджено поверхневі властивості рослинних олій (коефіцієнт поверхневого натягу та динамічний коефіцієнт в'язкості, крайовий кут змочування, площа розтікання). Розраховано коефіцієнти парної кореляції поверхневих властивостей. Здійснено класифікацію досліджуваних рослинних олій.

10. Білонога, Ю. Л. Вплив поверхнево-активних речовин (ПАР) на коефіцієнт теплопередачі кожухотрубного теплообмінника [Текст] / Ю. Л. Білонога, О. Р. Максисько // Науковий вісник ЛНУВМ та БТ імені С. З. Гжицького. – 2009. – Т. 11, (№. 3(42)), Ч. 3. – С. 191 – 197.

Особистий внесок здобувача: розраховано коефіцієнт теплопередачі нормалізованого кожухотрубного теплообмінника за використання раціональних концентрацій аніонних ПАР до води та олії виноградних кісточок до молока.

11. Білонога, Ю. Л. Вплив олії пшеничних зародків на коефіцієнт теплопередачі кожухотрубного теплообмінника [Текст] / Ю. Л. Білонога, О. Р. Максисько // Вісник Харківського державного університету харчування та торгівлі «Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства та торгівлі. – 2010. – Вип. 1 (11). – 245 – 252.

Особистий внесок здобувача: запропоновано вводити олію виноградних кісточок як ПАР до молока, для збільшення загального коефіцієнта теплопередачі кожухотрубного теплообмінника за охолодження молока. Розраховано коефіцієнт теплопередачі за введення раціональної концентрації олій виноградних кісточок.

12. До питання енергоефективності теплообмінних процесів у рідкофазних середовищах харчових технологій [Текст] / Ю. Л. Білонога, Д. М. Білонога, О. Р. Максисько, С. І. Бухкало // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2010. — №3. – С. 9 – 17.

Особистий внесок здобувача: експериментально знайдено раціональні концентрації неіоногенних ПАР у воді, розраховано середню товщину приграничного Л шару та середню швидкість в ньому за додавання ПАР. Знайдено діапазон значень поверхневого числа для водних розчинів неіоногенних ПАР.

13. Білонога, Ю. Л. Вплив природних поверхнево-активних речовин (ПАР) на гідромеханічні характеристики молока на межі стінки трубопроводу-потік [Текст] / Ю. Л. Білонога, О. Р. Максисько // Наук. пр. ОНАХТ. О., 2010. – Вип. 37. – С. 73 – 77.

Особистий внесок здобувача: розраховано середню товщину приграничного Л шару та середню швидкість в ньому за додавання рослинних олій до молока. Знайдено діапазон значень поверхневого числа для молока за додавання раціональних концентрацій природних ПАР.

14. Пат. на корисну модель 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.; власник ЛНУВМ та БТ імені С. З. Гжицького. – № у 200815169; заявл. 29.12.2008; опубл. 25.06.2009, Бюл. №12

Особистий внесок здобувача: запропоновано вводити олію виноградних кісточок як до молока ПАР, для збільшення загального коефіцієнта теплопередачі кожухотрубного теплообмінника за охолодження молока. Розраховано коефіцієнт теплопередачі за введення раціональної концентрації олій виноградних кісточок.

15. Білонога, Ю. Л. Особливості розрахунку теплообмінної апаратури з врахуванням теплового опору приграничного шару [Текст] / Ю. Л. Білонога, О.Р. Максисько, Б. Р. Ціж // Тези доп. V симпозиуму Україна – Австрія «Сільське господарство: Наука і практика». Київ, Україна, 9 – 11 вересня 2004 р. С. 236 – 237.

Особистий внесок здобувача: розраховано загальний коефіцієнт теплопередачі кожухотрубного теплообмінника з врахуванням теплового опору приграничного ламінарного шару.

АНОТАЦІЯ

Максисько О. Р. Інтенсифікація теплообмінних процесів з використанням поверхнево-активних речовин. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв.

Одеська національна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Одеса, 2012.

В дисертаційній роботі розглядається проблема підвищення енергоефективності теплообмінної апаратури за теплової обробки рідкофазної сировини. Запропоновано новий безрозмірний комплекс – поверхневе число для характеристики теплоносія та можливості інтенсифікації теплопередачі. Встановлено, що значення числа $Р_0$ залежать від коефіцієнта поверхневого натягу теплоносія. Отримано залежність поверхневого числа від коефіцієнта поверхневого натягу теплоносія. Показано, що зменшення коефіцієнта поверхневого натягу мінімізує товщини приграничних шарів у системі стінка трубопроводу – вода, а значить збільшує середні швидкості в цих шарах, і як наслідок така система здатна ефективніше передавати кількість тепла. Обґрунтовано та експериментально підтверджено, що за раціональних концентрацій поверхнево-активних речовин (ПАР) значення поверхневого числа є мінімальним. Досліджено поверхневі властивості рослинних олій межі розділу фаз рідина – газ, рідина – тверда поверхня, рідина – рідина. Встановлено, що на межі розділу цих фаз рослинні олії ведуть себе як ПАР до компонентів молока. Визначено числові діапазони поверхневого числа для «льодяної» води та емульсії природного походження (молока) за додавання відповідних концентрацій ПАР. Показано, що додавання встановлених концентрацій до ПАР теплоносіїв забезпечує збільшення загального коефіцієнта теплопередачі кожухотрубного теплообмінника на 40 % , при цьому гідравлічний опір теплообмінника не збільшився.

Ключові слова: приграничний ламінарний шар, поверхневий натяг, поверхнево-активні речовини, поверхневе число, інтенсифікація.

АННОТАЦІЯ

Макисько О.Р. Интенсификация теплообменных с использованием поверхностно-активных веществ – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств.

Одесская национальная академия пищевых технологий Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины, Одесса, 2012.

Диссертационная работа посвящена повышению энергоэффективности работы теплообменной аппаратуры при тепловой обработке жидкофазного сырья.

На основе литературных данных проведен анализ методов интенсификации процесса теплообмена. Выявлены недостатки существующих методов. Обоснована необходимость разработки способа интенсификации теплообмена, который не приводил бы к росту гидравлического сопротивления системы. Для характеристики теплоносителя, с точки зрения возможности интенсификации теплопередачи предложен безразмерный комплекс поверхностное число $Р_0$. Задачи исследований состоят в изучении эмпирических зависимостей, связанных с расчетом средней толщины приповерхностного ламінарного (Л) слоя на границе контакта фаз твердое тело-жидкость (стенка трубопровода - проток жидкости) и его теплового сопротивления; определении физических свойства водных растворов за добавление наиболее рас-

пространенных поверхностно-активных веществ (ПАВ) различной природы; поиск природных ПАВ к компонентам молока, определить их рациональные концентрации, при которых значения поверхностного числа являются минимальными; рассчитать и экспериментально проверить коэффициент теплопередачи нормализованного кожухотрубного теплообменника за добавление рациональных концентраций ПАВ до теплоносителей.

Эксперименты проводились для двух модельных систем: 1 – "ледяная" вода и модельная система 2 – эмульсия природного происхождения с содержанием жира (молоко). К "ледяной" воде добавлялись наиболее распространенные анионные, неионогенные и катионные ПАВ. За добавления рациональных концентраций поверхностно-активных веществ поверхностное натяжение теплоносителей уменьшается в 1,2...2 раза.

В работе обоснован выбор растительных масел в качестве ПАВ к компонентам модельной жидкости 2 (компонентов молока). Установлены зависимости между поверхностными свойствами растительных масел (коэффициент поверхностного натяжения, угол смачивания и площадь растекания). Теснота связи между этими параметрами определялась коэффициентом парной корреляции r . Коэффициенты парной корреляции $\theta - \sigma$ та $\theta - S_{\text{розт}}$ достаточно близки к единице и равняются соответственно $r_{\theta\sigma} = 0,868$; та $r_{\theta S} = 0,813$, $r_{S\sigma} = 0,700$. На основе корреляционного анализа выделены две группы растительных масел. К первой группе относятся тыквенное, подсолнечное масла, масла пшеничных зародышей и виноградных косточек, соевое масло. Это группа масел, которые характеризуются высокой, сравнительно с другими маслами поверхностной активностью. Вторая группа масел – это рапсовое, оливковое, арахисовое, кукурузное масла та масло греческого ореха.

Найдено значение поверхностного числа для воды и для молока за добавление к ним рациональных концентраций ПАВ. Для водных растворов значение поверхностного числа представляет 253...86, для молока 127...106. Это объясняется тем, что коэффициент поверхностного натяжения сырого молока $50,38 \cdot 10^{-2}$ Н/м, а воды – $73,25 \cdot 10^{-2}$ Н/м, т.е. на много меньше. Малое значение коэффициента поверхностного натяжения молока обусловлено содержанием в нем молочного жира и белков, то есть содержанием фосфолипидов, которые являются также ПАВ.

Показано, что добавление рациональных концентраций ПАВ разной природы к теплоносителям не только снижает коэффициент его поверхностного натяжения, но и минимизирует в 1,2...1,5 раза среднюю толщину приграничного Л слоя в системе стенка трубопровода-теплоноситель, а значит уменьшить его термическое сопротивление, что в целом ведет к росту общего коэффициента теплопередачи. Так добавление к «ледяной» воды рациональных концентраций ПАВ приводит к повышению общего коэффициента теплопередачи рекуперативного теплообменника, на примере кожухотрубного теплообменника на 13-23%, а добавление к молоку рациональных концентраций природных ПАВ – к повышению общего коэффициента теплопередачи этого же теплообменника на 4 -10%.

Рассчитано и экспериментально проверено, что добавление к молоку рациональной концентрации (0,5...0,55) масс.% тыквенного масла, а к "ледяной" воде рациональной концентрации (0,05...0,15) масс.% октилфенилполиексилата

увеличивает коэффициент теплопередачи кожухотрубчатого теплообменника на 40 %. Гидравлическое сопротивление при этом не увеличилось.

Увеличение общего коэффициента теплопередачи кожухотрубного теплообменника под действием ПАВ фиксировали также экспериментально на стенде гидромеханических процессов, где находился макет кожухотрубного теплообменника.

Экономическая эффективность внедрения нового способа интенсификации процесса охлаждения жидкофазного сырья за использование к теплоносителям соответствующих рациональных концентраций ПАВ составляет 29013 грн. в год для одной установки.

Результаты работы внедрены на Львовском предприятии ООО «Пластфарма» и заводе пищевых продуктов «Компания «Данило Галицкий» в г. Винники Львовской области.

Ключевые слова: приграничный ламинарный слой, поверхностное натяжение, поверхностно-активные вещества, поверхностное число, интенсификация.

ANNOTATION

Maksysko O.R. Intensification of heat exchange processes is with the use of substances. – the Manuscript.

Dissertation on gaining of scientific degree of candidate of engineering sciences by speciality 05.18.12 are processes and equipments of food, microbiological and pharmaceutical productions.

Odessa national academy of food to technology of Department of education and science of Ukraine, Odessa, 2012.

The problem of enhancement heat transfer duty of heat exchangers for liquid flows handling is considered in the thesis. The new dimensionless complex-the surface number – is proposed to characterize the fluid flow and possibilities to enhance heat transfer process.

The dependence of P_0 number from fluid surface tension coefficient is found and plotted. It is found and experimentally proved that for rational concentrations of surface active substances (SAS) the value of surface number is minimal. The surface properties of plant oils on the interfaces “liquid-gas”, “liquid-solid” and “liquid-liquid” were investigated. It is found that the behavior of these oils is similar to milk behavior on the boundary of the interface. Ranges of surface number for “ice” water and natural-generic emulsions were defined for SAS of appropriated concentrations addition. It is shown that addition of SAS in estimated concentrations to heat exchanged flows ensures the overall heat transfer increasing for shell-and-tube unit up to 40% while the pressure drop did not increase.

Keywords: border laminar layer, surface-tension, surface , superficial number, intensification.

Підписано до друку 12.03. 2012 . Формат 60×90/16. Об'єм 0,9 умовн. друк. арк.
Замовлення № 47. Тираж 100 прим.

ОНАХТ, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039