

Досліджено вплив поверхнево-активних речовин (ПАР) на зміну фізичних характеристик екстрагентів групи органопрепаратів (хонсуриду, гепарину, ронідази). Встановлені раціональні концентрації ПАР в екстрагентах, за яких досягається мінімум коефіцієнта поверхневого натягу та зменшення динамічного коефіцієнта в'язкості. Обчислені середні товщини приповерхневого ламінарного шару. Дослідженнями кінетики екстрагування підтверджено збільшення виходу екстракту при застосуванні ПАР у екстрагентах. Доведено доцільність використання поверхневого числа

Ключові слова: коефіцієнт поверхневого натягу, середня товщина приповерхневого ламінарного шару, поверхнєве число

Исследовано влияние поверхностно-активных веществ (ПАВ) на изменение физических характеристик экстрагентов группы органопрепаратов (хонсурида, гепарина, ронидазы). Установлены рациональные концентрации ПАВ в экстрагентах, при которых достигается минимум коэффициента поверхностного натяжения и уменьшение динамического коэффициента вязкости. Вычислены средние толщины приповерхностного ламинарного слоя. Исследованиями кинетики экстрагирования подтверждено увеличение выхода экстракта при применении ПАВ в экстрагенте. Доказана целесообразность использования поверхностного числа

Ключевые слова: коэффициент поверхностного натяжения, средняя толщина поверхностного ламинарного слоя, поверхностное число

ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ЕКСТРАГУВАННЯ ПРИ ЗМІНІ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНОПРЕПАРАТІВ

М. З. Паска

Доктор ветеринарних наук,
професор, завідувач кафедри*
E-mail: maria_pas@mail.ru

У. Р. Драчук

Кандидат технічних наук, старший викладач*
E-mail: ul.drachuk@gmail.com

Б. І. Галух

Кандидат технічних наук, старший викладач*
E-mail: b.halukh@mail.ru

І. М. Басараб

Кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач*
E-mail: iryna.basarab@gmail.com

*Кафедра технології м'яса, м'ясних і олійно-жирових виробів
Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнології ім. С. З. Гжицького
вул. Пекарська, 50, м. Львів, Україна, 79010

1. Вступ

Сучасний розвиток галузей промисловості ставить за завдання інтенсифікувати технологічні процеси із застосуванням енергоефективних технологій. За останні роки великого зацікавлення набули фармацевтичні препарати природного походження. До них належать органопрепарати, які виробляють із вторинної сировини м'ясокомбінатів. До такої сировини належать хрящі трахеї і носа, легені, сім'яники, очі, селезінки забійних тварин. Реалізація такої сировини дозволяє м'ясопереробним підприємствам одержати додаткові прибутки.

Технологія органопрепаратів достатньо складна, а тому енергозатратна. Удосконалення технологічних процесів виробництва органопрепаратів із застосуванням енергоефективних технологій залишається актуальним питанням сьогодення.

Сировина є цінною, адже співвідношення вторинних сировинних продуктів для органопрепаратів до маси забійних тварин відносно невелике. Раціональне використання сировинних і енергетичних ресурсів та необхідне

посилення технологічних і режимних параметрів суттєво впливає на формування ціни готового продукту.

Найважливішим етапом виробництва органопрепаратів є масообмінні процеси, а саме екстрагування відповідних субстанцій. Інтенсифікація екстрагування при виробництві органопрепаратів дозволяє збільшити вихід готового продукту без значних додаткових затрат, а саме енергоресурсів.

Перспективними методами інтенсифікації масообмінних процесів, які використовуються у сучасних технологічних схемах народного господарства, є зміни гідродинамічних параметрів системи. Врахування таких характеристик масообмінних процесів у системі тверде тіло – рідина дозволяє розглядати питання інтенсифікації за умови зміни контактування фаз у даній системі.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Для інтенсифікації екстрагування використовують достатньо методів. До найпоширеніших належать

підвищення потужності масообмінної апаратури, геометричні зміни у масообмінних апаратах, кипіння під вакуумом, зменшення середнього діаметра подрібнення. Слід зауважити, що запропоновані методи вимагають додаткових капіталовкладень. Так наприклад, у екстракторах з мішалками збільшують швидкість обертів перемішувачів пристроїв [1]. У масообмінних апаратах часто збільшують робочі об'єми, що також є витратним для виробників, оскільки потребують залучення додаткових коштів для удосконалення апаратури [2, 3]. Запропоновані способи інтенсифікації із використанням вакуумування при екстрагуванні вимагають затрат на створення вакууму [4]. За такого підходу інтенсифікація процесу розглядається при руйнуванні приповерхневого ламінарного шару навколо твердої частинки у системі тверде тіло-рідина. Такі зміни можна досягти зменшенням приповерхневого ламінарного шару [5].

В останні роки часто для інтенсифікації технологій, де основним процесом є екстрагування, застосовують фізичні методи, такі як низькочастотні та високочастотні вібрації [6], ультразвукові та комбіновані способи низькочастотних коливань [7]. Створення запропонованих методів інтенсифікації потребує значних енергозатрат, що буде суттєво впливати на ціну готового продукту та рентабельність виробництва.

Для інтенсифікації проходження процесу екстрагування ефективним методом вважають підвищення температури [8]. Органопрепарати, такі як хонсурид, гепарин та ронідаза, належать до термолабільних субстанцій. Класичні технології цих продуктів передбачають проведення екстрагування при температурі не вище 18 °C [9].

Для екстрагування рослинної сировини використовують надкритичні розчини, зокрема діоксид вуглецю [10]. Використання таких способів екстрагування використовують при розробленні технологій лікарських препаратів, зокрема нано- і мікроформ, застосовуючи для їх одержання надкритичні флюїди [11]. Надкритичні розчини застосовують при одержанні малорозчинних речовин [12–14].

Проведення екстрагування субстанцій органопрепаратів за вищих температур не є доцільним, оскільки можна одержати продукти сумнівної якості.

Екстрагування передбачає чотири стадії проходження процесу: проникнення екстрагента в пори рослинної сировини, розчинення цільового компонента екстрагентом, дифузійний перенос вилученої речовини до поверхні частинки подрібненої сировини, або частинки екстрагента, перенос з поверхні частинки через приповерхневий ламінарний шар у розчин екстрагента. Оскільки сировина для виробництва органопрепаратів є органічного тваринного походження, то перші дві стадії екстрагування відсутні і основною стадією вважають перехід цільового компонента через приповерхневий ламінарний шар [15]. Зменшення цього показника може позитивно впливати на інтенсифікацію екстрагування та технологію в цілому. Збільшення виходу цільового компоненту при екстрагуванні можна забезпечити через зменшення середньої товщини приповерхневого ламінарного шару δ , що виникає навколо подрібненої частинки сировини при її турбулентному осадженні. У приповерхневому ламінарному концентрується 98 % всього дифузійного опору системи «тверде тіло – рідина» [16–18].

На межі розділення двох фаз утворюється приповерхневий ламінарний шар, у якому існує силове поле, що діє на елементарний об'єм рідини, змінюючи його потік. Силове поле у приповерхневому ламінарному шарі описується силами поверхневого натягу. Поверхневе число описує відношення сил поверхневого натягу до сил інерції в приповерхневому ламінарному шарі [19]. Визначальним параметром інтенсифікації процесу екстрагування субстанцій досліджуваних органопрепаратів є поверхневе число. Необхідно зазначити, що врахування гідродинамічних показників екстрагентів у процесах масообміну за виробництва органопрепаратів практично не зустрічається на виробництві. Такий підхід є найсучаснішим та має достатньо переваг у порівнянні з традиційними методами виробництва органопрепаратів з природних джерел. Відповідно актуальним є підбір екстрагентів з такими фізичними показниками, які б сприяли гідродинамічній зміні процесу.

Позитивні зміни фізичних показників екстрагентів при виробництві органопрепаратів можна досягнути введенням у екстрагенти поверхнево-активних речовин [5]. Важливим завданням інтенсифікації технології органопрепаратів вважають створення умов, за яких вихід екстракту буде максимальним, а витрати енергоресурсів – мінімальними.

Зміна гідродинамічних показників системи [19] на сьогоднішній день є одним із найефективніших способів інтенсифікації екстрагування

3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є дослідження впливу поверхнево-активних речовин на підвищення ефективності екстрагування субстанцій органопрепаратів та проведення порівняльної оцінки гідродинамічної ситуації процесу на основі безрозмірного комплексу поверхневого числа.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- визначити фізичні властивості рідкофазних середовищ екстрагентів (коефіцієнта поверхневого натягу, коефіцієнта динамічної в'язкості, косинуса кута змочування, густини);
- встановити раціональні концентрації поверхнево-активних речовин (ПАР) в екстрагенті, за яких коефіцієнт поверхневого натягу є мінімальним;
- визначити середні товщини приповерхневого ламінарного шару за екстрагування групи органопрепаратів промисловими екстрагентами та запропонованими з додаванням ПАР;
- закономірностями кінетики екстрагування органопрепаратів встановити вплив додавання раціональних концентрацій ПАР на інтенсифікацію процесу та збільшення виходу екстрактів.

4. Матеріали і методи досліджень

При проведенні досліджень використовували подрібнену вторинну сировину, а саме хрящі трахеї і носа забійних тварин (ВРХ), легені та сім'яники ВРХ та промислові розчини екстрагентів. Промисловим экс-

трагентом для виробництва хонсуриду є 25 % розчин хлористого калію у 1 % – ому розчині вуглекислого калію. Промисловим екстрагентом для виробництва гепарину є 5 % розчин хлориду натрію NaCl (кухонної солі). Промисловий екстрагент ронідази це фізіологічний розчин (а саме – 0,9 %-ий розчин хлориду натрію) із додаванням 0,25 % хлороформу.

Визначення коефіцієнта поверхневого натягу

Величину коефіцієнта поверхневого натягу для розчинів, що є екстрагентами при виробництві хонсуриду, гепарину, визначали методом зважування краплі [15]. Обчислювали значення величини коефіцієнта поверхневого натягу за формулою: $\sigma = Q/2\pi r$, де σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м; Q – вага краплі, кг; r – радіус піпетки, з якої крапали екстрагенти, м.

Масу краплі визначали за формулою: $Q = Q_n/n$, де Q_n – загальна маса крапель, кг 10^{-6} ; n – кількість крапель.

З піпетки діаметром 1 мм на електронну вагу крапали по 10 крапель промислового розчину екстрагента для виробництва хонсуриду (25 %-ий розчин KCl в 1 %-ому розчині K_2CO_3). Маса десяти крапель – $0,302 \cdot 10^{-6}$ кг, відповідно середня маса однієї краплі сольового розчину 25 %-ого KCl у 1 %-ому розчині K_2CO_3 – $0,0302 \cdot 10^{-6}$ кг.

В якості поверхнево-активної речовини до промислових екстрагентів гепарину та хонсуриду додавали бутанол в різних концентраціях. Потім визначали середню масу краплі для запропонованих розчинів та коефіцієнт поверхневого натягу для них [16].

Величину коефіцієнта поверхневого натягу для екстрагента, що використовується при виробництві ронідази визначали методом максимального тиску бульбашки (метод Ребіндера) (рис. 1) [20].

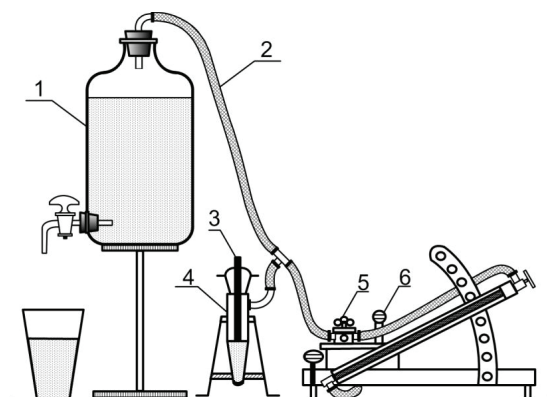


Рис. 1. Схема установки для визначення поверхневого натягу методом Ребіндера: 1 – аспіратор; 2 – з'єднувальна трубка; 3 – капіляр; 4 – чарунка, 5 – триходовий кран; 6 – регулятор рівня манометричної рідини

У мірній колбі на 100 мл готують сольовий розчин. Методом розведення готують 8–10 розчинів з додаванням ПАР.

В основі методу лежить вимірювання тиску, за якого відбувається відрив газового пухирця, що виділяється із капіляра в рідину.

Для визначення коефіцієнта поверхневого натягу використовують відносний метод. Для цього знаходять сталу капіляра (чарунки), яку визначають за значенням максимального тиску p_{H_2O} поверхневого натягу σ_{H_2O} :

$$k = \sigma_{H_2O} / p_{H_2O},$$

де σ_{H_2O} – поверхневий натяг води, (довідникові дані при температурі досліду); p_{H_2O} – висота манометричної рідини похилого манометра.

Вимірюючи тиск p_{max} для досліджуваного розчину, обчислюють значення поверхневого натягу за формулою:

$$\sigma_n = k \cdot p_{max},$$

де p_{max} – максимальний тиск, при якому відривається крапля досліджуваного розчину.

Вимірювання p_{max} проводять таким чином: досліджувану рідину наливають в чарунку до рівня, за якого кінець капіляра занурюється в неї не більше ніж на 1 мм. При зануренні капіляра в рідину (його контакт із рідиною) утворюється меніск навколо закінчення капіляра, це і є достатньою глибиною його занурення. Чарунку закріплюють в штативі в вертикальному положенні, з'єднують відвідною гнучкою трубкою з аспіратором і краном мікроманометра. Для створення зрідження у чарунці відкривають кран аспілятора і досягають викапування рідини в склянку приблизно 20–30 крапель за хвилину. На кінці капіляра формується пухирець повітря, який при досягненні p_{max} відривається від капіляра і спливає на поверхню рідини, тріскаючи при цьому. В цей момент тиск в системі знижується, і манометрична рідина опускається на деяке значення p_{max} . При формуванні нового пухирця рідина поступово піднімається знову до максимального значення p_{max} . Рівень рідини в манометричній трубці весь час коливається, досягаючи в момент відриву пухирця максимального значення. Якщо покази манометра протягом 2–3 хв. не змінюються, то ці значення вважають рівноважними і записують [17].

Визначення динамічного коефіцієнта в'язкості

Динамічний коефіцієнт в'язкості екстрагентів визначають за допомогою приладу Арреніуса. Робоча формула для його обчислення:

$$\mu = \frac{\pi \rho g d^4 \tau}{128 W l} \left(1 + \frac{h}{2} \right),$$

де ρ – густина рідини, kg/m^3 ; t – час витікання, с; W – об'єм рідини, m^3 [17].

Визначення середньої товщини приповерхневого ламінарного шару

Середню товщину приповерхневого Л-шару, що виникає навколо твердої частинки в «системі тверде тіло – рідина», знаходимо за методикою [5].

Визначаємо число Архімеда:

$$Ar = \frac{g \cdot d^3 \cdot (\rho_s - \rho_c) \cdot \rho_c}{\mu^2},$$

де d – середній діаметр подрібненої частинки, м; ρ_s – густина твердої сировини, kg/m^3 ; ρ_c – густина екстрагента, kg/m^3 ; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с. Фактор роздільної здатності екстрактора:

$$K_{\omega} = \omega^2 \cdot D / 2 \cdot g,$$

де ω – частота обертання мішалки, s^{-1} ; D – діаметр днища мішалки, м.

Модифіковане число Архімеда: $Ar_m = Ar \cdot K_c$. Коефіцієнт турбулізації ламінарної плівки для перехідного режиму осадження:

$$K_{T(II)}^n = \frac{0,152 \cdot (\psi \cdot Ar_m)^{0,715}}{2},$$

де ψ – коефіцієнт форми частинки. Середня товщина приповерхневого ламінарного шару:

$$\delta = \frac{\sqrt{9,42 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}}{K_{T(II)}^n \cdot g(\rho_c - \rho_s)},$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м; $\cos \theta$ – крайовий кут змочування. Гідрофільність сировини – показник, який описується крайовим кутом змочування [17].

Визначення поверхневого числа

Поверхнєве число обчислювали за формулою [14]:

$$P = \frac{2\pi\sigma \cos \theta}{V_x^2 \delta \rho},$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м; $\cos \theta$ – крайовий кут змочування; V_x – швидкість у пристінних шарах, м/с; ρ – густина середовища, кг/м³; δ – середня товщина при поверхневого ламінарного шару, м 10⁻³.

5. Результати дослідження впливу ПАР на промислові екстрагенти

Для дослідження обрали групу органопрепаратів, яка екстрагується сольовими розчинами, а саме хонсурид, гепарин, ронідаза.

Зниження коефіцієнта поверхневого натягу при екстрагуванні хонсуриду буде відбуватися за додавання бутанолу масової концентрації 0,03 мас. %, 0,04 мас. %. Мінімум коефіцієнта поверхневого натягу екстрагента хонсуриду буде при додаванні до 10 мл промислового розчину 0,05 мл спирту бутанолу, тобто 0,05 мас. %. У цьому випадку спирт бутанол застосований у якості ПАР. За додавання більшої масової концентрації коефіцієнт поверхневого натягу поступово зростає. Такі зміни пояснюються тим, що за концентрації 0,05 мас. % бутанолу на поверхні розчину утворюється критична концентрація мицелотворення, тому поверхневий натяг є мінімальним. Зростання коефіцієнта поверхневого натягу за концентрації 0,06 мас. % та 0,07 мас. % відбувається тому, що промисловий екстрагент містить достатню концентрацію солі.

Суттєве зниження значення динамічного коефіцієнта в'язкості спостерігається за додавання 0,05 мас. % бутанолу до промислового екстрагента хонсуриду (рис. 2).

Дослідження з визначення крайового кута змочування показали, що збільшення цього показника відбувається за концентрації бутанолу в екстрагенті хонсуриду 0,05 мас. % (рис. 3). Крайовий кут змочування промислового екстрагента визначали за додаванням бутанолу у концентраціях 0,03–0,07 мас. %. Величина крайового кута змочування залежить від коефіцієнта поверхневого натягу (рис. 3).

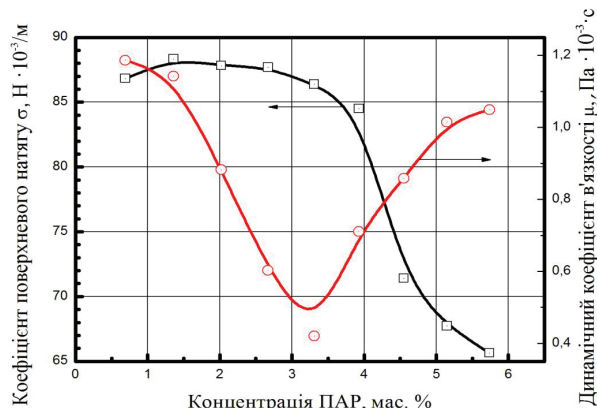


Рис. 2. Зміна коефіцієнта поверхневого натягу та коефіцієнта динамічної в'язкості за додавання у промисловий розчин різної масової частки бутанолу; 1 – коефіцієнт поверхневого натягу, 2 – динамічний коефіцієнт в'язкості

Для всіх графіків апроксимаційні залежності були порашовані в програмному середовищі MatCAD.

Експериментальні дані залежності коефіцієнта поверхневого натягу екстрагента хонсуриду від масової концентрації ПАР найкраще описує поліномна функція восьмого порядку, аналітичний вираз якої має такий вигляд:

$$y = -470,0051 - 2,1874 \cdot 10^3 x - 3,4071 \cdot 10^3 x^2 + 2,8053 \cdot 10^3 x^3 - 1,3518 \cdot 10^3 x^4 + 393,7770 x^5 - 68,1534 x^6 + 6,4398 x^7 - 0,2554 x^8.$$

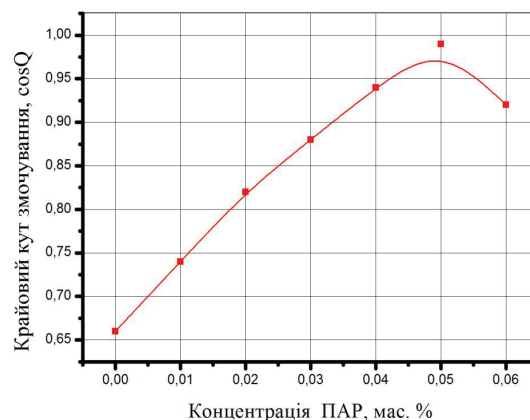


Рис. 3. Зміна крайового косинуса кута змочування за екстрагування хонсуриду від впливом ПАР

Експериментальні результати залежності приведенного коефіцієнта косинуса кута змочування від масової концентрації ПАР найкраще апроксимуються поліномом сьомого порядку, аналітичний вираз якого має наступний вигляд:

$$y = -0,0634 + 2,9982x - 3,8562x^2 - 2,4543x^3 - 0,8458x^4 - 0,1612x^5 - 0,0160x^6 + 6,4930 \cdot 10^{-4} x^7.$$

До промислового екстрагента гепарину додавали пропанол, бутанол та суміш пропанолу з бутанолом в рівних частинах. Відсотковий масовий вміст спиртів,

за якого промисловий екстрагент має мінімум коефіцієнта поверхневого натягу, визначали експериментально. До 10 мл 5 %-ого розчину NaCl додавали 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 мл спиртів із різною молекулярною масою. Коефіцієнт поверхневого натягу вимірювали методом зважування краплі (рис. 4).

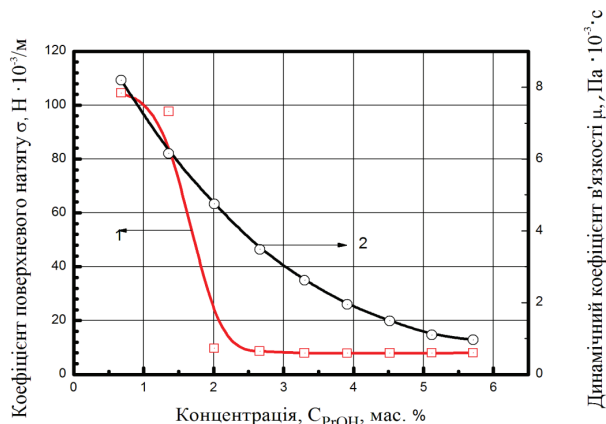


Рис. 4. Зміна коефіцієнта поверхневого натягу та динамічного коефіцієнта в'язкості екстрагента гепарину під впливом спирту пропанолу; 1 — коефіцієнт поверхневого натягу, 2 — динамічний коефіцієнт в'язкості

Експериментальні результати приведеного залежності коефіцієнта поверхневого натягу промислового екстрагента гепарину від масової концентрації ПАР (пропанолу) найкраще апроксимуються поліномом восьмого порядку, аналітичний вираз якого має вигляд:

$$y = -69,4063 + 1,2242 \cdot 10^3 x - 3,1070 \cdot 10^3 x^2 + 3,5999 \cdot 10^3 x^3 - 2,2162 \cdot 10^3 x^4 + 767,3983 x^5 - 149,8438 x^6 + 15,3953 x^7 - 0,6471 x^8.$$

Мінімум коефіцієнта поверхневого натягу $\sigma = 5,75 \times 10^{-3}$ Н/м екстрагента гепарину спостерігалися за додавання 0,5 мл пропанолу до 10 мл екстрагента (рис. 4). Додавання такої кількості пропанолу також сприяє також зменшенню величини динамічного коефіцієнта в'язкості (рис. 4). Суттєве зменшення мінімуму коефіцієнта поверхневого натягу $\sigma = 5,16 \cdot 10^{-3}$ Н/м (рис. 5) спостерігаються при застосуванні бутанолу в масовій кількості 0,5 мл на 10 мл екстрагента.

Приладом Арреніуса визначили динамічний коефіцієнт в'язкості промислового екстрагента (5 % NaCl), а також запропонованого (з додаванням до промислового розчину 0,5 мас. % спирту бутанолу). У запропонованому екстрагенті зменшилося значення динамічного коефіцієнта в'язкості розчину.

У цьому випадку експериментальні результати залежності коефіцієнта поверхневого натягу від масової концентрації ПАР (бутанолу) найкраще апроксимуються поліномом восьмого порядку, аналітичний вираз якого має вигляд:

$$y = -69,4063 + 1,2242 \cdot 10^3 x - 3,1070 \cdot 10^3 x^2 + 3,5999 \cdot 10^3 x^3 - 2,2162 \cdot 10^3 x^4 + 767,3983 x^5 - 149,8438 x^6 + 15,3953 x^7 - 0,6471 x^8.$$

Експериментальні результати залежності коефіцієнта динамічної в'язкості від масової концентрації

ПАР (бутанолу) апроксимуються поліномом другого порядку, аналітичний вираз якого має вигляд:

$$y = 11,9799 - 4,8455x + 0,4944x^2.$$

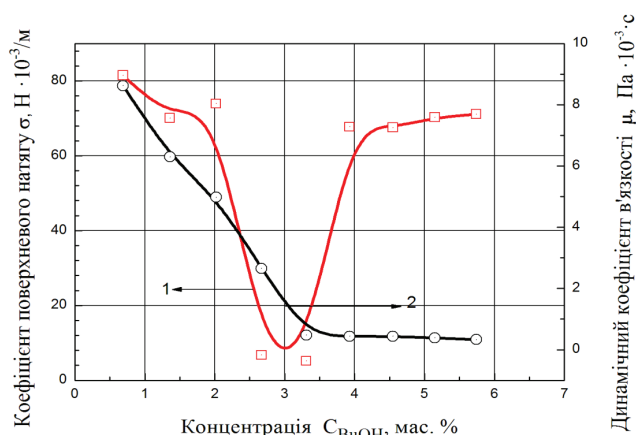


Рис. 5. Зміна коефіцієнта поверхневого натягу та динамічного коефіцієнта в'язкості екстрагента гепарину під впливом бутанолу; 1 — коефіцієнт поверхневого натягу, 2 — динамічний коефіцієнт в'язкості

Промисловий екстрагент гепарину є не дуже концентрованим сольовим розчином, тому було вирішено для ще більшого зменшення коефіцієнта поверхневого натягу та динамічного коефіцієнта в'язкості додати суміш пропанолу і бутанолу в однаковому співвідношенні.

Мінімум коефіцієнта поверхневого натягу $\sigma = 6,67 \cdot 10^{-3}$ Н/м (рис. 6) спостерігається за додавання 0,6 мл суміші спиртів (бутанолу з пропанолом) до 10 мл промислового екстрагента. Коефіцієнт динамічної в'язкості також зменшується.

За додавання бутанолу до екстрагента гепарину відбувається також зміна косинуса кута змочування (рис. 7). Аналіз рис. 3–6 показує, що додавання бутанолу до промислового екстрагента гепарину найкраще впливає на зміну фізичних показників розчину, необхідних для розрахунку середньої товщини приповерхневого ламінарного шару за екстрагування гепарину.

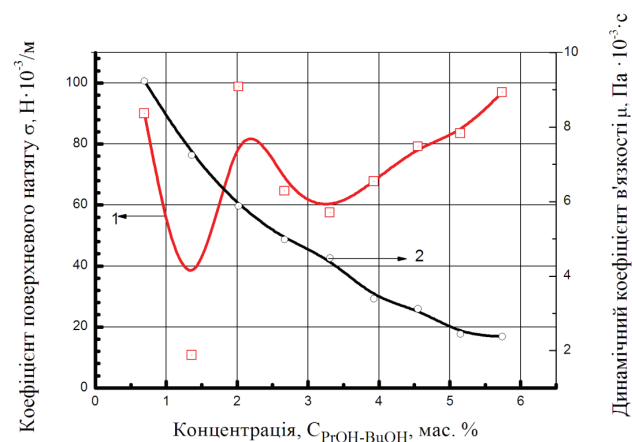


Рис. 6. Зміна коефіцієнта поверхневого натягу та динамічного коефіцієнта в'язкості екстрагента гепарину під впливом ПАР (суміші спиртів пропанолу і бутанолу в однаковому співвідношенні); 1 — коефіцієнт поверхневого натягу, 2 — динамічний коефіцієнт в'язкості

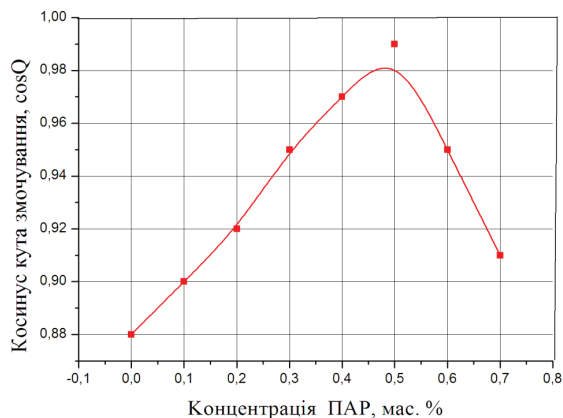


Рис. 7. Зміна косинуса кута змочування екстрагента гепарину під впливом ПАР (бутанолу)

Залежності приведенного косинуса кута змочування від масової концентрації ПАР (бутанолу) апроксимуються поліномом другого порядку, аналітичний вираз якого має вигляд:

$$y = 0,7972 + 0,0429x - 4,0832 \cdot 10^{-3}x^2.$$

Для зменшення коефіцієнта поверхневого натягу та коефіцієнта динамічної в'язкості екстрагента ронідази в розчин додавали пропанол і бутанол. Рациональну масову кількість спиртів встановили експериментально, додаючи до 10 мл екстрагенту від 0,1 до 1 мл пропанолу, бутанолу. Промисловий екстрагент ронідази у своєму складі має 0,25 % хлороформу, який є легкою речовиною. Тому для точності визначення коефіцієнта поверхневого натягу обрано метод Ребіндера [22].

Зменшення коефіцієнта поверхневого натягу і його мінімум (рис. 8) спостерігається за додавання пропанолу 0,8 мл. Оптимальний мінімум коефіцієнт поверхневого натягу буде за додавання 0,5–0,6 мл бутанолу.

Аналіз проведених досліджень показує, що для інтенсифікації процесу екстрагування ронідази застосовуємо у промисловий розчин екстрагента в якості ПАР бутанол у масовій концентрації 0,5–0,7 мл на 100 мл розчину. Коефіцієнт поверхневого натягу зменшується поступово залежно від збільшення масової концентрації спиртів. Після досягнення мінімуму коефіцієнта поверхневого натягу, його зміни практично не відбуваються. Це пояснюється тим, що екстрагент ронідази має невелику концентрацію солі, його фізичні показники наближені до води. Додавання спиртів знижує коефіцієнт поверхневого натягу в три-чотири рази, незалежно від концентрації спирту

Для промислового екстрагента ронідази апроксимаційні залежності приведенного коефіцієнта поверхневого натягу від масової концентрації ПАР в екстрагенті ронідази добре апроксимуються поліномом третього порядку:

$$y = 65,9823 - 16,6411x + 2,3996x^2 - 0,1137x^3.$$

Застосування запропонованого екстрагента ронідази із бутанолом сприяє зменшенню динамічного коефіцієнта в'язкості (рис. 9) та зростанню косинуса кута змочування (рис. 10), що є хорошим показником

для зменшення середньої товщини приповерхневого ламінарного шару.

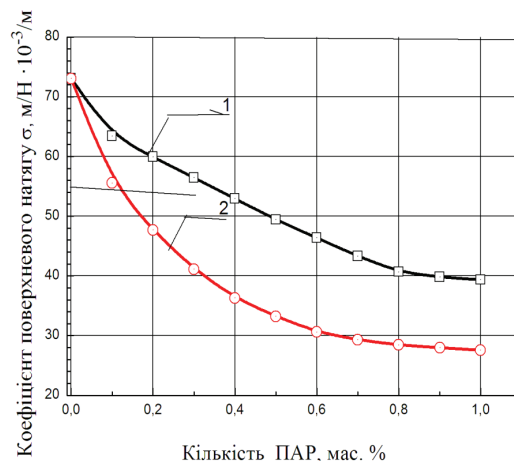


Рис. 8. Коефіцієнт поверхневого натягу екстрагента ронідази під впливом ПАР: 1 – пропанол; 2 – бутанол

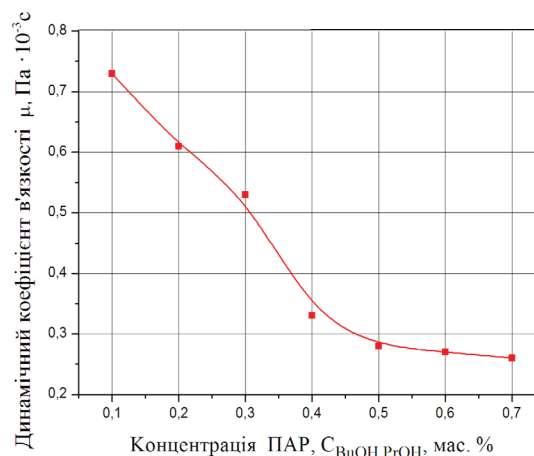


Рис. 9. Динамічний коефіцієнта в'язкості екстрагента ронідази під впливом ПАР

Залежності коефіцієнта динамічної в'язкості екстрагента ронідази від масової концентрації ПАР (бутанолу) апроксимуються мають поліномом третього порядку аналітичний вираз якого має вигляд:

$$y = 2,3086 - 0,5498x + 0,0553x^2 - 9,0198 \cdot 10^{-4}x^3.$$

Залежності коефіцієнта косинуса кута змочування екстрагента ронідази від масової концентрації ПАР (бутанолу) апроксимуються поліномом четвертого порядку, аналітичний вираз якого має вигляд:

$$y = 0,8998 + 0,0312x - 1,1136 \cdot 10^{-3}x^2 - 8,7076 \cdot 10^{-4}x^3 + 9,4496 \cdot 10^{-5}x^4.$$

Проведені дослідження підтвердили, що додавання встановлених масових концентрацій бутанолу до промислових екстрагентів хонсуриду, гепарину, ронідази, сприяє зміні фізичних показників розчинів. Під впливом ПАР, які додавали до екстрагентів органопрепаратів, також частково зменшується густина промислових екстрагентів (табл. 1).

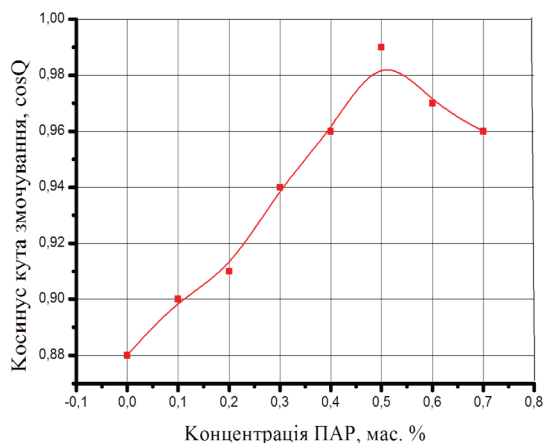


Рис. 10. Косинус кута змочування екстрагента ронідази під впливом ПАР

Таблиця 1

Зміна фізичних показників промислових екстрагентів хонсуриду, гепарину, ронідази під впливом ПАР ($p \geq 0,95$, $n=3$)

Характеристики	Екстрагенти хонсуриду		Екстрагенти гепарину		Екстрагенти ронідази	
	Промисловий	із ПАР	Промисловий	із ПАР	Промисловий	із ПАР
ρ , кг/м ³	1320	—	664	664	1368	—
ρ_c , кг/м ³	1181	1165	1039	1030	980	968
σ , Н/м	0,0874	0,0561	0,0950	0,0516	0,07305	0,02843
M , Па·с	0,00122	0,00042	0,00105	0,00025	0,00194	0,00078
cosθ	-0,66	0,99	0,88	0,98	0,88	0,98

Збільшення концентрації цільового компоненту при застосуванні запропонованих розчинів із додаванням вибраних концентрацій ПАР підтверджують проведені дослідження кінетики екстрагування.

Дослідження проводилися повторно по кожному органопрепарату з однаковим відношенням сировини та екстрагента. Діаметр подрібнення сировини приймали за $1 \cdot 10^{-3}$ м. Для дослідження кінетики екстрагування використовували промисловий екстрагент хонсуриду, гепарину і ронідази, а також екстрагенти із встановленою експериментальною масовою концентрацією вибраної ПАР (рис. 11–13).

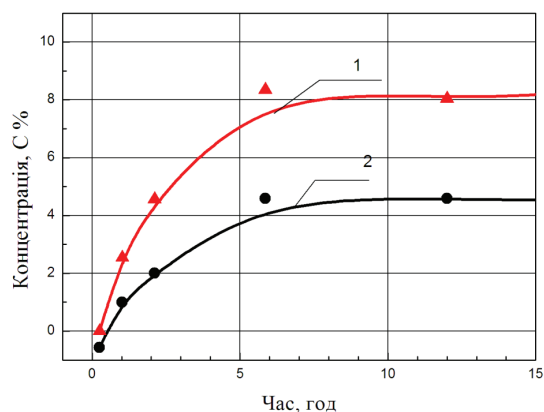


Рис. 11. Вихід маси субстанції хонсуриду залежно від використання екстрагента: 1 – екстрагент із додаванням ПАР; 2 – промисловий екстрагент

Концентрація цільового компоненту хонсуриду зростає з часом при використанні запропонованого екстрагента з ПАР (рис. 11). За час екстрагування вихід субстанції екстракту за використання промислового розчину $\bar{c} = 1,96\%$ до маси сировини, а за екстрагування розчином із ПАР $\bar{c}' = 2,74\%$ за такої ж час. Якщо порівняти маси виходу цільових компонентів за екстрагування різними екстрагентами, отримаємо: $\frac{\bar{c}'}{\bar{c}} = \frac{2,74}{1,96} = 1,4$ раза збільшення маси виходу екстракту за екстрагування хонсуриду розчином 25 % КСl в 1 % K_2CO_3 із додаванням 0,05–0,06 мас % спирту бутанолу.

На рис. 12. показано збільшення концентрації субстанції гепарину за часом при використанні у якості екстрагента запропонованого при дослідженні розчину із додаванням ПАР. За час екстрагування 1,5 год. вихід цільового компоненту за використання промислового розчину становить $\bar{c} = 0,5\%$ до маси сировини, а за екстрагування розчином із ПАР маса цільового компоненту становить $\bar{c}' = 0,85\%$. Порівнявши маси виходу цільових компонентів гепарину за екстрагування різними екстрагентами, отримаємо: $\frac{\bar{c}'}{\bar{c}} = \frac{0,85}{0,5} = 1,7$ раза збільшення виходу субстанції. Використання 5 % розчину NaCl із 0,5–0,6 мас % спирту бутанолу для екстрагування гепарину сприяє інтенсифікації процесу в цілому.

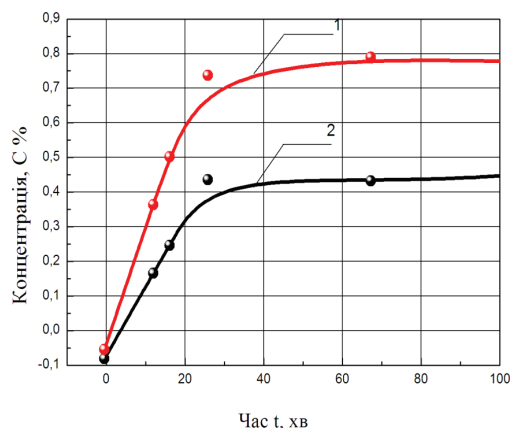


Рис. 12. Вихід маси субстанції гепарину залежно від використання екстрагента: 1 – екстрагент із додаванням ПАР; 2 – промисловий екстрагент гепарину

Позитивні зміни при дослідженні кінетики екстрагування ронідази із застосуванням екстрагента із додаванням 0,45–0,65 мас % бутанолу показано на рис. 13. Маса субстанції ронідази впродовж екстрагування 1,5 год. за використання промислового розчину становить $\bar{c} = 5,2\%$, а маса виходу субстанції за екстрагування розчином із ПАР становить $\bar{c}' = 9,98\%$ до маси сировини. Порівнявши маси екстрактів за використання різних екстрагентів, отримаємо: $\frac{\bar{c}'}{\bar{c}} = \frac{9,98}{5,2} = 1,9$ раза збільшення масової концентрації екстракту за використання 0,9 % розчину натрію хлориду з 0,25 % хлороформу із додаванням ПАР 0,45–0,65 % бутанолу.

Зменшення значень фізичних характеристик екстрагента впливає на зміну поверхневого числа та характеризує послаблення дії приповерхневих сил. Мен-

ші значення поверхневого числа означають зменшення дифузійного опору системи «тверде тіло – рідина» при виробництві хонсуриду, гепарину, ронідази, що є наслідком зменшення середньої товщини приповерхневого ламінарного шару.

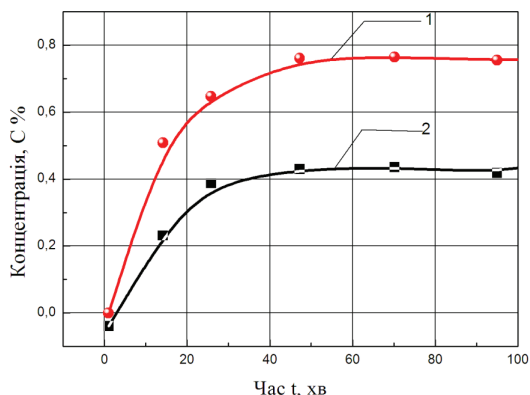


Рис. 13. Вихід маси субстанції ронідази залежно від використання екстрагента: 1 – екстрагент із додаванням ПАР, 2 – промисловий екстрагент ронідази

Поверхнєве число обчислювали за формулою:

$$P_o = 2\pi\sigma\cos\theta/V_x^2\delta\rho,$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м; $\cos\theta$ – крайовий кут змочування; V_x – швидкість у пристінних шарах, м/с; ρ – густина середовища, кг/м³; δ – середня товщина приповерхневого ламінарного шару, м·10⁻³.

Зміна поверхневого числа спостерігається із зміною коефіцієнта поверхневого натягу екстрагентів (рис. 14–16).

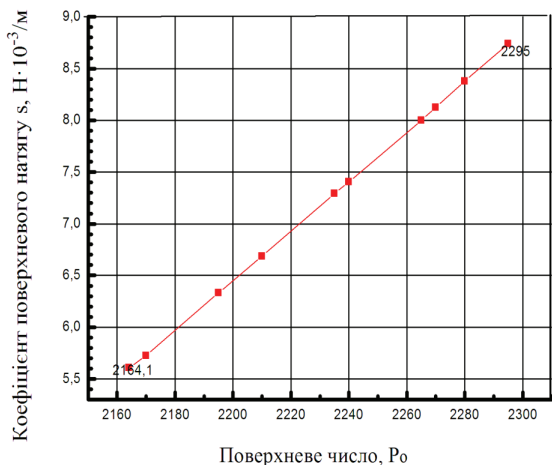


Рис. 14. Залежність поверхневого числа від коефіцієнта поверхневого натягу розчину при виробництві хонсуриду

Проведені обчислення значення поверхневого числа, а також значення чисел Архімеда, Ейлера і Рейнольдса (табл. 2) в приповерхневому ламінарному шарі за екстрагування органопрепаратів із використанням різних екстрагентів підтверджують позитивні зміни при застосуванні екстрагентів із ПАР.

Такі числа відповідають за силові фактори дії на елементарний об'єм розчину в ламінарному шарі при виході екстракту з подрібнених частинок сировини.

При використанні запропонованих розчинів збільшуються числа Архімеда та Рейнольдса, що вказує на покращення гідродинамічної ситуації.

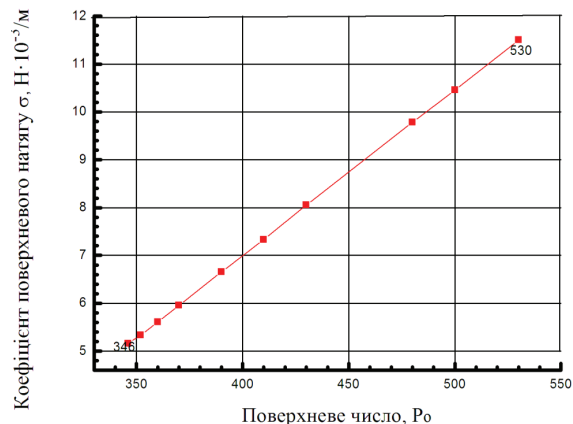


Рис. 15. Залежність поверхневого числа від коефіцієнта поверхневого натягу розчину при виробництві гепарину

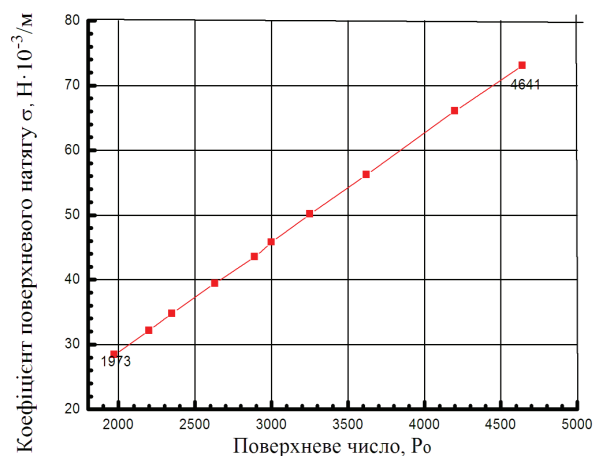


Рис. 16. Залежність поверхневого числа від коефіцієнта поверхневого натягу розчину при виробництві ронідази

Таблиця 2

Основні числа в приповерхневому ламінарному шарі

Число подібності	Промисловий екстрагент			Запропонований екстрагент із ПАР		
	хонсурид	гепарин	ронідаза	хонсурид	гепарин	ронідаза
Число Архімеда	1028	3463	990	10028	59110	6236
Число Рейнольдса	18,6	34,8	17,5	91,5	265	65,1
Число Ейлера	170	99,2	69,9	37,5	11,3	12
Поверхнєве число	2295	530	4641	2164	346	197

6. Обговорення результатів впливу ПАР на гідродинамічні показники екстрагування

Дослідження кінетики екстрагування підтверджують збільшення концентрації цільового компоненту при застосуванні запропонованих розчинів із додаванням раціональних концентрацій ПАР.

Порівнявши число Ейлера у випадках із застосуванням промислового і запропонованого в результаті досліджень екстрагентів, спостерігаємо зменшення цього показника при застосуванні розчину із ПАР. Аналогічну паралель можна провести при порівнянні поверхневих чисел у випадку із застосуванням промислового і запропонованого екстрагентів із ПАР.

Зміна поверхневого числа, що залежить від коефіцієнта поверхневого натягу екстрагента хонсуриду, який змінюється під дією різної масової концентрації ПАР, показано на рис. 14. Мінімальне значення поверхневого числа буде при додаванні до промислового розчину 0,05–0,06 мас. % бутанолу. При застосуванні екстрагента з ПАР поверхневий критерій зменшується, а це означає, що дія сил тертя і приповерхневих сил також зменшується. Завдяки їх зменшенню зменшується також дифузійний опір навколо подрібненої частинки хряща за екстрагування хонсуриду. При середній товщині приповерхневого Л – шару $7,2 \cdot 10^{-3}$ мм – дифузійний опір становить 98 %, тоді як при середній товщині Л – шару $1,1 \cdot 10^{-3}$ мм дифузійний опір – 15 %.

Застосування експериментально встановленої масової концентрації бутанолу у екстрагенті хонсуриду змінює фізичні показники промислового розчину, які впливають на послаблення приповерхневих сил у ламінарному шарі та сприяють зменшенню дифузійного опору системи. Наслідком таких змін є збільшення виходу субстанції хонсуриду.

Зменшення значення поверхневого числа відбувається при застосуванні в екстрагенті гепарину різної масової концентрації бутанолу (рис. 15). Зміна гідродинамічних показників у системі під впливом ПАР (табл. 2) сприяє зменшенню дифузійного опору, що забезпечує збільшення виходу екстракту з подрібнених частинок легенів (сировини). При середній товщині приповерхневого Л – шару $9,7 \times 10^{-3}$ мм дифузійний опір становить 98 %, а при середній товщині Л шару $0,98 \cdot 10^{-3}$ мм дифузійний опір – 9 % [9, 18].

Оптимальне значення ПАР для екстрагента при виробництві ронідази за концентрації ПАР – 0,5 мас. % бутанолу суттєво зменшується поверхнєве число (рис. 16). Інтенсифікація екстрагування ронідази під впливом ПАР відбувається за послаблення силового поля в приповерхневому ламінарному шарі і, як наслідок, сприяє зменшенню дифузійного опору. При середній товщині приповерхневого Л шару $4,8 \cdot 10^{-3}$ мм дифузійний опір становить 98 %, а при середній товщині Л шару $0,807 \cdot 10^{-3}$ мм показник дифузійного опору – 16,5 % [13, 19, 25].

7. Висновки

Доведено, що в якості оцінки гідродинамічної ситуації на межі контакту тверде тіло-рідина доцільно використовувати поверхнєве число, як показник зменшення дифузійного опору:

1. В результаті досліджень доведено ефективність застосування ПАР у екстрагентах хонсуриду в кількості 0,05–0,06 мас. % бутанолу, гепарину 0,05 мас. % бутанолу, ронідази 0,5–0,6 мас. % бутанолу.

2. Експериментальним шляхом встановлено, що додавання раціональних концентрацій ПАР до екстрагентів досліджуваної групи органопрепаратів сприяють зменшенню середнього значення коефіцієнтів поверхневих натягів екстрагентів: для хонсуриду – у 6 разів, гепарину – у 9 разів, ронідази – у 5 разів, а їх величини становлять відповідно для хонсуриду – 3 мм, гепарину – 1 мм, ронідази – 1 мм. Також зменшуються значення динамічних коефіцієнтів в'язкості, косинусів кутів змочування та густини запропонованих розчинів.

3. Теоретичними розрахунками підтверджено, що зменшення середньої товщини приповерхневого ламінарного шару спостерігається із запропонованими екстрагентами з ПАР.

4. Встановлено, що додавання раціональних концентрацій ПАР впливає на інтенсифікацію екстрагування. Вихід екстракту хонсуриду збільшується в 1,4 рази, гепарину – 1,7 рази, ронідази – 1,9 рази.

Література

1. Врагов, А. П. Массообменные процессы и оборудование химических и газонефтеперерабатывающих производств [Текст] / А. П. Врагов. – Сумы: изд-во СумГУ, 2007. – 254 с.
2. Білонога, Ю. Л. Екстрагування гепарину із використанням псевдозрідженого шару у гравітаційному екстракторі та оптимізація параметрів подрібнення сировини [Текст] / Ю. Ю. Варивода, У. Р. Драчук // Науковий вісник ЛНУВМ та БТ ім. С. З. Гжицького. – 2009. – Т. 11, № 2 (41). – С. 10–14.
3. Zavialov, V. Justification of the influence of low-frequency mechanical vibrations on the intensification of the process of extraction of desired components from plant raw materials [Text]: conference / V. Zavialov, T. Misyura, I. Malezhik, V. Bodrov, Y. Zaporozhets, N. Popova, O. Lobok // Modern technologies, in the food industry-2014 (MTFI – 2014). – 2014. – P. 120–128.
4. Гумницький, Я. М. Вплив умов періодичного вакуумування системи на екстрагування з твердої фази [Текст] / Я. М. Гумницький, В. М. Сеньків // Наукові праці ОНАХТ. – 2006. – Т. 2, № 28. – С. 284–285.
5. Білонога, Ю. Л. Деякі аспекти енергозбереження при виробництві інсуліну [Текст] / Ю. Л. Білонога, Д. М. Білонога, Ю. Ю. Варивода // Науковий вісник ЛДАВМ імені С. З. Гжицького. – 2001. – Т. 3, Вип. 3. – С. 217–220.
6. Деканський, В. Є. Класифікація екстракційної апаратури періодичної дії з коливальним ефектом робочого середовища [Текст] / В. Є. Деканський, В. Л. Заявлов, Т. Г. Мисюра, Н. В. Попова // Вібрації в техніці та технологіях. – 2015. – № 3. – С. 129–132.
7. Бурдо, О. Г. Экстрагирование в системе кофе – вода [Текст] / О. Г. Бурдо, Г. М. Ряшко. – Одесса, 2007. – 175 с.
8. Мальований, М. С. Особливості кінетики екстрагування із твердих тіл клітинної будови [Текст] / М. С. Мальований, В. В. Дячок // Наукові праці ОНАХТ. – 2008. – Вип. 32. – С. 12–16.
9. Машковский, М. Д. Лекарственные средства. Т. 1 [Текст] / М. Д. Машковский. – М.: Новая волна, 2001. – 501 с.

10. Zabet, G. L. New proposal for extracting rosemary compounds: Processintensification and economic evaluation [Text] / G. L. Zabet, M. N. Moraes, P. I. N. Carvalho, M. A. A. Meireles // *Industrial Crops and Products*. – 2015. – Vol. 77. – P. 758–771. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.09.053
11. Bahramin, M. Production of micro – and nano-composite particles by supercritical carbon dioxide [Text] / M. Bahramin, S. Ranjbariana // *The Journal of Supercritical Fluids*. – 2007. – Vol. 40, Issue 2. – P. 263–283. doi: 10.1016/j.supflu.2006.05.006
12. Хайрутдинов, В. Ф. Получение наночастиц полистирола с использованием способа сверхкритического антирастворителя [Текст] / В. Ф. Хайрутдинов, Ф. Р. Габитов, Ф. М. Гумеров, П. Р. Хуснутдинов // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2009. – № 2. – С. 130–136.
13. Yeob, S.-D. Formation of polymer particles with supercritical fluids: A review [Text] / S.-D. Yeob, E. Kiran // *The Journal of Supercritical Fluids*. – 2005. – Vol. 34, Issue 3. – P. 287–308. doi: 10.1016/j.supflu.2004.10.006
14. Jung, J. Particle design using supercritical fluids: Literature and patent survey [Text] / J. Jung, M. Perrut // *The Journal of Supercritical Fluids*. – 2001. – Vol. 20, Issue 3. – P. 179–219. doi: 10.1016/s0896-8446(01)00064-x
15. Сидоров, Ю. І. Екстракція рослинної сировини [Текст] / Ю. І. Сидоров, І. І. Губицька, Р. Т. Конечна, В. П. Новіков. – Львів, 2008. – 334 с.
16. Білонога, Ю. Л. Шляхи енергозбереження із використанням поверхнево-активних речовин (ПАР) при екстрагуванні гепарину у псевдозрідженому стані [Текст] / Ю. Л. Білонога, У. Р. Драчук // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2009. – № 2. – С. 8–13.
17. Білонога, Ю. Л. Оптимальні параметри проходження дифузійних процесів при екстрагуванні хонсуриду [Текст] / Б. Р. Ціж, Ю. Ю. Варивода, У. Р. Драчук // *Науковий вісник ЛНУВМ та БТ імені С. З. Гжицького*. – 2008. – Т. 10, № 4 (39). – С. 9–13.
18. Білонога, Ю. Л. Застосуванням у розчині екстрагента (ПАР) при виробництві ронідази [Текст] / Ю. Л. Білонога, У. Р. Драчук // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. – 2010. – Вип. 2 (12). – С. 156–160.
19. Білонога, Ю. Л. Про доцільність розгляду гідромеханічних процесів з урахуванням сили приповерхневого натягу на границі контакту тверде тіло-рідина [Текст] / Ю. Л. Білонога // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2006. – № 2. – С. 56–64.
20. Щукін, Е. Д. Колоїдна хімія [Текст] / Е. Д. Щукін. – М.: Вища школа, 1992. – 289 с.
21. Білонога, Ю. Л. Спосіб інтенсифікації екстрагування хонсуриду з застосуванням поверхнево – активних речовин [Текст] / Б. Р. Ціж, Ю. Ю. Варивода, У. Р. Драчук // *Науковий вісник ЛНУВМ та БТ імені С. З. Гжицького*. – 2008. – Т. 10, № 2 (37). – С. 14–18.
22. Решетняк, О. В. Термохімія. Фазова та хімічна рівновага. Будова речовини [Текст] / О. В. Решетняк, А. М. Українець, В. П. Закардонський та ін. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2005. – 201 с.
23. Білонога, Ю. Л. Оптимальні параметри проходження дифузійних процесів при екстрагуванні хонсуриду [Текст] / Б. Р. Ціж, Ю. Ю. Варивода, У. Р. Драчук // *Науковий вісник ЛНУВМ та БТ імені С. З. Гжицького*. – 2008. – Т. 10, № 4 (39). – С. 9–13.
24. Білонога, Ю. Л. Інтенсифікація екстрагування ронідази із застосуванням поверхнево – активних речовин (ПАР) [Текст] / Ю. Л. Білонога, У. Р. Драчук // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2010. – № 3. – С. 111–116.
25. Паска, М. З. Використання інноваційного обладнання Figma Koguma MaxxD у виробництві майонезу [Текст] / М. З. Паска, О. І. Жук // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2015. – Т. 2, № 10 (74). – С. 58–65. doi: 10.15587/1729-4061.2015.41578