рослинної клітини у залежність k=f(d), одержуємо значення коефіцієнту масопереносу через клітинну оболонку kc, за величиною якого, скориставшись формулою (5) знаходимо порядок коефіцієнту дифузії через клітинну оболонку Dc.

Товщина оболонки рослинної клітинної становить δc = 2 мкм, а її діаметр d=50 мкм [3]. Порядок коефіцієнту дифузії через клітинну оболонку згідно розрахунків, приведених в роботах [2, 4] становить 10-14 [м2/с]. За таких обставин визначений умовний час досягнення заданого ступеня екстрагування (50 %) із (7) становив 1150,5 с.

Отриманий результат добре узгоджується з експериментальними даними кінетики екстрагування листя кропу, підбілу, м'яти перцевої, подрібнених до однакового розміру. Як наголошувалось раніше, цільова речовина (ефірні олії) в листі м'яти перцевої містяться у так званих вмістилищах, які знаходяться у міжклітинному середовищі, а не у внутрішньому об'ємі клітини. Отже час екстрагування повинен скорочуватись на величину рівну часу дифузії середніх молекул через клітинну оболонку. І дійсно, порівнюючи результати кінетики екстрагування листя кропиви, підбілу, з кінетикою екстрагування листя м'яти перцевої видно, що час досягнення заданого значення ступеня екстрагування, для листя м'яти перцевої досягаєте в середньому на знайдену величину t швидше (див. таблицю).

Таблиця – Кінетика екстрагування листя подрібненого до розміру 3 мм.

t; с	500	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300
Кропиви C1, кг/м3	5,04	7,76	9,13	10,1	10,9	11,5	12,0	12,3	12,6	12,8
Підбілу C1; кг/м3	1,06	1,54	1,66	1,80	1,90	1,97	2,03	2,08	2,11	2,13
М'яти C1; кг/м3	0,82	1,38	1,49	1,58	1,64	1,68	1,70	1,70	1,70	1,70

Отриманий результат доводить достовірність порядку коефіцієнту дифузії Dc через клітинну оболонку 10-14 м2/с, що засвідчує про адекватність розробленої математичної моделі (1) процесам транспорту цільової речовини із клітинного середовища, через міжклітинне в основний об'єм екстрагенту.

Література

1. Dyachok V. Extraction process of intracellular substance / Chemistry & chemical technology. – 2010. - Vol. 4, №2.- P. 163-167.
2. Dyachok V. Some kinetic regularities of intracellular substance extracting/ V. Dyachok, M. Malovanyy, I. Ilkiv // Chemistry & chemical technology. – 2011. - Vol. 12, № 4 .- P. 163-167.
3. Ezau K. Anatomy of seeds. (translated from english). Mir, Moscow, 1986.
4. Дячок В.В. Вплив подрібнення на коефіцієнт масопереносу при екстрагуванні рослинної сировини // Фармацевтичний журнал. - 1998.- № 3 . - С. 69 - 71 .
5. Георгиевский В.П., Конев Ф.А. Технология и стандартизация лекарств. Сборник научных трудов: в 2-х т. – Харьков.: РИГЕР, 2000. - 784 с.

УДК 532.528; 615.012.014

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ В ПРОЦЕСАХ ЕКСТРАГУВАННЯ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Зарецька Т.В., Вітенько Т.М., д-р техн. наук, професор
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль

Обґрунтовано технологічну ефективність та економічну доцільність застосування кавітаційних пристроїв у процесах екстрагування з рослинної сировини. Встановлено, що застосування кавітаційних пристроїв на стадії підготовки екстрагента забезпечує інтенсифікацію процесу й скорочення часу на його проведення та підвищення ступеню вилучення цільового компоненту.

The technological efficiency and economic advisability by application of cavitation devices in the process of extraction from plant materials are reasoned. The intensification of extraction processes thus reducing the time

for the process and increasing the degree of extraction of the target components by using cavitation devices for preparing extractant are installed.

Ключові слова: гідродинамічна кавітація, екстрагування, цільовий компонент, ступінь вилучення.

Інтенсифікація технологічних процесів, підвищення їхньої ефективності і покращення якості готового продукту є одним із перспективних напрямків сучасних досліджень. Заходи з удосконалення технологічних процесів широко використовуються в харчових, хімічних та фармацевтичних виробництвах, зокрема в процесах екстрагування. Процес екстрагування є чи не одним з широко використовуваних процесів в цих галузях.

Як відомо на кінетику цього процесу впливає багато чинників [1,8]: спосіб екстрагування, апаратурне оформлення процесу, вид екстрагенту, його концентрація та фізико-хімічні особливості, температура та тривалість проведення процесу, співвідношення сировини та екстрагенту тощо. Проаналізувавши особливості процесу екстрагування з рослинної сировини було виявлено такі недоліки:

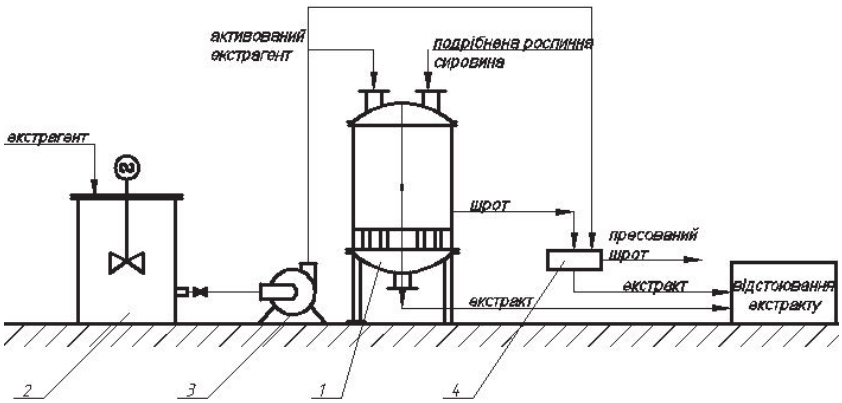
— великі затрати часу на проведення процесу;
— низький ступінь вилучення цільових компонентів;
— застаріле машино-апаратурне оформлення технологічних ліній.

Тому удосконалення застарілих енерго- та ресурсомістких технологічних процесів і обладнання та підвищення їхньої ефективності є одним із перспективних напрямків досліджень [2]. Слід зазначити, що розвиток ресурсозберігаючих технологій ґрунтується на проведенні комплексних наукових досліджень, які пов'язані з розробленням концепцій щодо використання уже відомих і принципово нових фізичних явищ. Одним із перспективних методів інтенсифікації таких процесів є зміна фізико-хімічних властивостей екстрагента [7, 10].

Проведені авторами теоретичні та експериментальні дослідження [3-6] дають змогу стверджувати, що застосування попереднього оброблення екстрагенту у кавітаційних пристроях дає змогу прискорити процес вилучення цільових компонентів (БАР) з рослинної сировини та збільшити ступінь їхнього вилучення. Збільшення виходу БАР забезпечується зменшенням в'язкості екстрагента, утворенням мономерних молекул і їхньої активацією [9].

Водночас, необхідно зазначити, що доцільність запропонованого методу інтенсифікації технологічних процесів екстрагування повинна підтверджуватись і техніко-економічними показниками. Тому, метою даної роботи було обґрунтування ефективності застосування кавітаційних пристроїв у процесах екстрагування. Авторами запропоновано застосовувати кавітаційні пристрої на стадії попередньої підготовки екстрагенту.

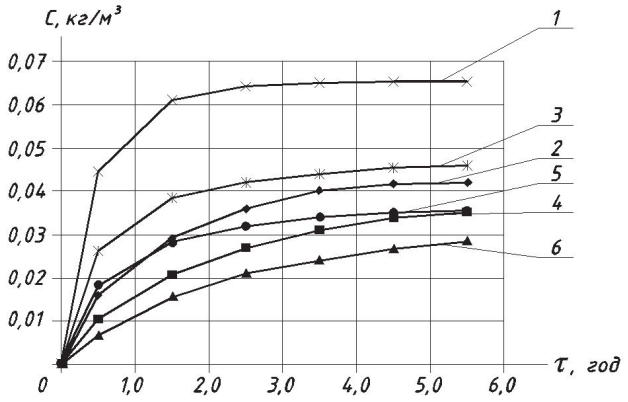
На галеновому виробництві у базовому варіанті очищену подрібнену рослинну сировину зазвичай завантажують в мацераційну ємність та за допомогою циркуляційного насосу заливають екстрагентом і настоюють за температури 15-20°С впродовж 6,5 діб періодично перемішуючи суміш. Після настоювання екстракт зливають, а шрот пресують під пресом. Отриманий екстракт відстоюють впродовж 4-8 діб і розливають. Відповідно до запропонованої авторами технології (рис. 1) в мацераційну ємність 1 подають екстрагент попередньо активований у кавітаційному модулі 2.



1 – мацераційна ємність; 2 – кавітаційний модуль; 3 – циркуляційний насос; 4 – прес

Рис. 1 – Принципова схема екстрагування з рослинної сировини

Порівняння результатів отриманих експериментальних досліджень з базовою технологією наведено на рис. 2 та рис. 3.

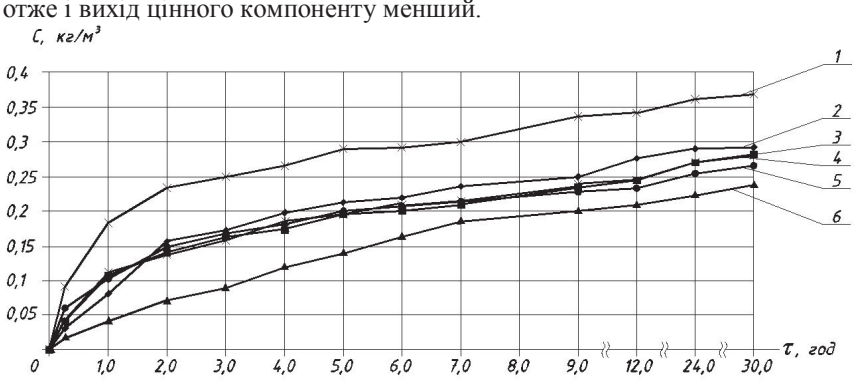


1 – активований екстрагент, сировина з розміром частинок 1·10-3м;
2 – неактивований екстрагент сировина з розміром частинок 1·10-3м;
3 – активований екстрагент, сировина з розміром частинок 3,5·10-3м;
4 – неактивований екстрагент, сировина з розміром частинок 3,5·10-3м;
5 – активований екстрагент, сировина з розміром частинок 5,5·10-3м;
6 – неактивований екстрагент, сировина з розміром частинок 5,5·10-3м

Рис. 2 – Зміна плинної концентрації фенольних сполук в рідкій фазі з часом під час їхнього екстрагування з Laonurus cardiac

Аналіз отриманих результатів засвідчує, що попереднє оброблення екстрагенту у кавітаційному модулі прискорює процес вилучення фенольних сполук з Laonurus cardiac (рис.2) та валеріанової кислоти з Valerianae officinalis (рис.3.). Найменша ступінь вилучення спостерігається для фракцій сировини з найбільшим розміром частинок при екстрагуванні неактивованим екстрагентом, а найвищий ступінь вилучення спостерігається під час екстрагування активованим екстрагентом з найменшої фракції рослинної сировини табл.1.

Порівняння ступеню вилучення БАР за умови використання кавітаційних модулів із базовим варіантом наведено у табл.2. Кращі результати отримано для Laonurus cardiac у порівнянні до Valerianae officinalis. Це пов'язано із особливостями гістологічної будови рослинної сировини і концентрацією цільового компонента у капілярно пористих частинках. Необхідно зазначити, що екстрагент достатньо легко проникає через тонкостінні клітинні оболонки, такі як трав'яниста частина, листя розчиняє цільовий компонент, що знаходиться в них і дифундує у рідку фазу. Якщо ж цінний компонент знаходиться в стеблі чи корінні, де стінки клітин товсті, задерев'янілі, просочені смолою тощо, то дифузія протікає відносно повільно, а отже і вихід цінного компоненту менший.



1 — активований екстрагент, сировина з розміром частинок 1·10-3м;
2 — неактивований екстрагент, сировина з розміром частинок 1·10-3м;
3 — активований екстрагент, сировина з розміром частинок 2,5·10-3м;
4 — неактивований екстрагент, сировина з розміром частинок 2,5·10-3м;
5 — активований екстрагент, сировина з розміром частинок 4,5·10-3м;
6 — неактивований екстрагент, сировина з розміром частинок 4,5·10-3м

Рис. 3 – Зміна плинної концентрації валеріанової кислоти в рідкій фазі з часом під час її вилучення з Valerianae officinalis

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

	Базова технологія екстрагування			Технологія екстрагування із застосуванням кавітаційної активації екстрагента		
Laonurus cardiac						
Розмір фракції сировини, d·10-3, м	1	3,5	5,5	1	3,5	5,5
Рівноважна концентрація С, кг/м3	0,044	0,037	0,0286	0,0656	0,047	0,0362
Valerianae officinalis						
Розмір фракції сировини, d·10-3, м	1	2,5	4,5	1	2,5	4,5
Рівноважна концентрація С, кг/м3	0,3	0,28	0,24	0,387	0,28	0,28

Таблиця 2 – Аналіз збільшення вилучення цільового компоненту за умови застосування кавітаційно активованого екстрагенту

Розмір фракції сировини, d·10-3 м	Збільшення вилучення БАР відносно базового варіанту, %	Розмір фракції сировини, d·10-3 м	Збільшення вилучення БАР відносно базового варіанту, %
Laonurus cardiac		Valerianae officinalis	
1	49,1	1	29
3,5	27	2,5	–
5,5	26,6	4,5	16,7

Розглянемо економічні показники запропонованої технології вилучення цільових компонентів з рослинної сировини методом мацерації із застосуванням кавітаційних модулів.

Для здійснення модернізації необхідні капітальні вкладення у розмірі $КВ_д = 20760$ грн., що враховують вартість нового обладнання 18709 грн. для активації екстрагенту і витрати на монтаж і транспортування 2051 грн. Виконання такого проекту передбачає отримання економічного ефекту за рахунок зменшення часу технологічної оброблення (порівняно до базового варіанту) і відповідно підвищення продуктивності технологічної лінії.

Додатковий річний прибуток за рахунок збільшення продуктивності технологічної лінії виробництва, наприклад, настоянки пустирнику становить

$$\Delta ПР = (Р_{пр} - Р_б)\cdot(Ц_б - СВ_б) - Е\cdot t,$$

де $\Delta ПР$ — додатковий річний прибуток підприємства, грн;

$Р_{пр}$ — обсяг виробництва настоянки пустирнику Laonurus cardiac за проектом, $Р_{пр} = 250$ м3 настоянки (107 флаконів по 25мл);

$Р_б$ — обсяг виробництва настоянки пустирнику за фактичними даними підприємства, $Р_б = 220$ м3 настоянки (88·105 флаконів по 25мл);

$Ц_б$ — ціна реалізації одного флакона настоянки пустирнику, $Ц_б = 1{,}80$ грн;

$СВ_б$ — базова собівартість одного флакона настоянки пустирнику, $СВ_б = 1{,}45$ грн;

Е — додаткові витрати електроенергії (за рік) на активацію екстрагента, $E = 1120$ кВт·год;

t — тариф на 1кВт·год електроенергії для підприємств, $t = 0{,}7262$ грн.;

тоді $\Delta ПР = (10^7 - 88\cdot10^5)\cdot(1{,}80 - 1{,}45) - 1120\cdot0{,}7262 = 419{,}186$ тис.грн.

Відповідно до проведених розрахунків додаткові капітальні вкладення у розмірі 20760грн., витрачені на модернізацію технологічної лінії виробництва настоянки пустирнику способом мацерації окупляться менше, ніж за один місяць, за рахунок збільшення продуктивності технологічної лінії.

Такі економічні показники підтверджують доцільність запровадження запропонованої технології.

Висновки. Обґрунтовано технологічну ефективність та економічну доцільність застосування кавітаційної активації екстрагенту на прикладі екстрагування з пустирнику. Встановлено, що попередня акти-

вація 70 % спирту у гідродинамічному кавітаційному модулі забезпечить збільшення ступеню вилучення цільових компонентів від 26,6 до 49,1 % залежно від розміру фракції рослинної сировини, що у вартісному вираженні становить 419,2 тис.грн. додаткового річного прибутку.

Література

1. Аксельруд Г.А. Экстрагирование (система «твердое тело – жидкость») / Г.А. Аксельруд, В.М. Лысянский. – Л.: Химия, 1974. – 256 с.
2. Вітенько Т.М. Інтенсифікація масообміну в системі капілярно-пористе тіло–рідина / Т.М. Вітенько // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск, 2006. – №3. – С.153-156.
3. Вітенько Т.М. Дифузійні константи процесу екстрагування валеріани при попередній кавітаційній обробці екстрагента / Т.М. Вітенько // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск, 2007. – №3. – С.147–150.
4. Гулый И.С. Электромембранная обработка водных сред и ее применение в производстве пектина / И.С. Гулый, Л.Д. Бобровник, М.П. Купчик и др. // Пищевая промышленность. – 1993. – №11. – С.19-20.
5. Соснина Н.А. Экстрагирование пектиновых веществ амаранта в суперкавитирующем аппарате роторно-пульсационного типа / Н.А. Соснина, В.Ф. Миронов, А.И. Коновалов и др. // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – №6. – С.32-35.
6. Запорожец Е.П. Экстрагирование пектина из растительного сырья механическим способом в кавитационном аппарате / Е.П. Запорожец, А.М. Богус, М.Ю. Яхутль // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1998. – №1. – С.84-85.
7. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах: монографія / Т.М. Вітенько. – Тернопіль: в–во ТНТУ ім. І.Пулюя, 2009. – 224с.
8. Дячок В.В. Математична модель процесу екстрагування із рослинної сировини / В.В.Дячок // Хімічна промисловість України. – 2001. – №4. – С.52-55.
9. Витенько Т.М. Исследование механизма активирующего действия гидродинамической кавитации на воду / Т.М. Вітенько, Я.М. Гумницкий // Химия и технология воды. – Киев, 2007. – №5. – С.422–432.
10. T.Vitenko. Kinetic laws of flavonoid extraction from mulberry leaves by extractant cavitation activation / T.Vitenko, Ya. Gumnitsky // Chemistry&Chemical Technology. – Lviv: Polytechnic National University, 2011. – V. 5, № 4, – P. 459-462.

УДК 532.528

КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ СОЗДАНИЯ КАВИТАЦИИ

Анисимов В.В., аспирант, Ермаков П.П., д.т.н., проф.
Государственное высшее учебное заведение
«Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск

В статье дано краткое введение в явление кавитации. Представлена классификация способов создания кавитации. Для каждого способа приведены обобщенные конструктивные схемы аппаратов, их ориентировочные технические характеристики. Приведены параметры, которые характеризуют кавитацию, получаемую различными способами.

An short introduction into the phenomenon of cavitation is given. A classification for the methods of creation the cavitation is presented. The general constructional schemes and approximate technical characteristics of apparatus for every method is given. The parameters, which characterize obtained in different ways cavitation, are shown.

Ключевые слова: кавитация, способ создания, классификация.

Явление кавитации известно человечеству достаточно давно. Впервые явление кавитации было теоретически предсказано Рейнольдсом [1,2]. На практике же явление кавитации было впервые обнаружено еще в конце IX века при проведении испытаний морских судов [1,3]. Изначально это явление рассматривалось только как сугубо негативное, способствующее разрушению поверхностей гребных винтов судов, шуму и вибрациям. До 40-х годов прошлого века исследование кавитации шло достаточно медленно. Это было связано со сложностью создания в лабораторных условиях больших скоростей движения жидкости, необходимых для возникновения кавитации. И только после 40-х годов началось интенсивное ее иссле-