

Размеры гофр в уравнении (5) не учтены потому, что во всех случаях применения НЗОГ общая высота выступов гофр в обе стороны листа должна обеспечивать расплющивание капель при минимальном гидравлическом сопротивлении и принимается близкой к 4 мм.

Вследствие увеличения гидравлической шероховатости каналов, которыми движется газ в НЗО и НЗОГ, режим движения газового потока при $Re_{y.o} \geq 2000$ отвечает турбулентному и линии $h_y = f(Re_{y.o})$ не имеют переломов. Рост эффективности массообмена в газовой фазе при использовании НЗО, по сравнению с плоскопараллельной насадкой (ППН), объясняется дополнительной турбулизацией газового потока при обтекании зависших на зубцах и падающих капель, а также краев отверстий, что можно рассматривать как создание дополнительной гидравлической шероховатости каналов.

Выводы. НЗО предназначена для интенсификации массообмена преимущественно в жидкой фазе, а НЗОГ – для интенсификации массообмена в газовой фазе или в обеих фазах одновременно.

Література

1. Декларационный патент Украины на полезную модель 11669 И, МПК В01J 19/32. Регулярна насадка з зубчастими отворами / Марценюк О.С. - Опубл. 16.01.2006, Бюл.№1.
2. Декларационный патент Украины на полезную модель 10386 И, МПК 7 В01J 19/32. Регулярна насадка з зубчастими отворами і гофрами / Марценюк О.С. - Опубл. 15.11.2005, Бюл. №11.
3. Марценюк А.С. Интенсификация массообмена в аппаратах с регулярными насадками. Капельно-пленочное течение жидкости. Lambert Academic Publishing. 2012. – 244 с.

УДК 66.061

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ НА ПОВНОТУ ВИЛУЧЕННЯ ЦІЛЮВИХ КОМПОНЕНТІВ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Вітенько Т.М. д.т.н., професор; Зарецька Т.В.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль

Проаналізовано фізико-хімічні методи інтенсифікації процесів екстрагування. На основі аналізу результатів експериментальних досліджень підтверджено інтенсифікуючу дію гідродинамічної кавітації на процес екстрагування. Встановлено збільшення вилучення екстрактивних, дубильних речовин та флавоноїдів з листя горіха грецького за умови попереднього оброблення розчинника у кавітаційному модулі у порівнянні з базовим варіантом. Засвідчено інтенсифікуючу дію гідродинамічної кавітації щодо вилучення цільових компонентів із сировини з різним розміром частинок.

Physico-chemical intensification methods of extraction are analyzed. Intensification hydrodynamic cavitation action on the extraction based on the analysis of experimental results is confirmed. Increasing extracts of extractives, tannins and flavonoids from the walnut leaves in case of solvent processing in a cavitation module comparing to the base method is installed. Intensification hydrodynamic cavitation action regarding of extract of target components from raw materials with different particle sizes is shown.

Ключові слова: екстракція, інтенсифікація, кавітація, кінетика вилучення

Рациональное використання і переробка сировини на виробництві на сьогодні щільно пов'язане з розробкою і впровадженням нових технологій, які забезпечують високу ефективність експлуатації обладнання. Розглянемо процеси масоперенесення в системі капілярно-пористе тіло-рідина, що широко використовують у харчовій, хімічній, фармацевтичній галузях.

За останнє десятиріччя досліджено та впроваджено багато методів інтенсифікації процесу вилучення цільових компонентів, але, незважаючи на суттєві досягнення, залишається ще багато не вирішених питань, зокрема трудомісткість і тривалість, оскільки на більшості заводів екстрагування ведеться малоефективними методами. Оскільки традиційно відомі методи, зокрема перколяція і мацерація досягли своєї природної межі і не дають можливості підвищити швидкість обробки сировини, збільшити вихід цільового продукту, то, природно, виникає необхідність у нових способах інтенсифікації екстракції [1-4].

За умови комплексного підходу до вибору електро-фізичного, фізико-хімічного, апаратурно-конструктивного чи режимно-технологічного методів інтенсифікації процесу суттєво скорочується три-

валість екстрагування, зменшуються виробничі площі під обладнання, його металомісткість, кількість цільових компонентів, що потрапляють у відходи.

Залежно від принципів інтенсифікуючого впливу відома класифікація методів, які забезпечують прискорення екстрагування. Зазвичай враховують, що ефективність екстрагування в значній мірі залежить від способу підготовки сировини до цього процесу. На цьому етапі методи інтенсифікації регламентують необхідну форму, розміри і дисперсний склад частинок, а також забезпечують високу клітинну проникність сировини.

Усі механічні методи інтенсифікації на стадії підготовки сировини необхідні для збільшення поверхні контакту фаз, що досягається за рахунок зменшення розміру частинок [6]. Однак гідродинамічні умови фільтрування екстрагенту через шар частинок по мірі зменшення їхнього розміру значно погіршуються. Це означає, що для кожного виду сировини та умов протікання процесу екстрагування існує певний розмір частинок, при якому сумарний внутрішній і зовнішній дифузійний опір є мінімальним.

На стадії підготовки сировини до екстрагування термічні методи також спрямовані на зменшення внутрішнього дифузійного опору. Вони знижують стійкість цитоплазматичних мембран, призводять до розриву клітин сировини, екстрагент вільніше проникає в клітину та збільшується контакт сировини з розчинником [6]. Термічні методи інтенсифікації на стадії проведення процесу спрямовані на збільшення коефіцієнта дифузії речовини, що екстрагується. Однак, вплив високих температур може привести до погіршення якості одержуваного екстракту або зміни фізичних властивостей частинок. Так, наприклад, під дією високих температур можуть змінюватися пружні властивості сировини, що може призвести до погіршення умов масовіддачі і відповідного збільшення зовнішнього дифузійного опору, внаслідок чого сумарний дифузійний опір виявиться, не меншим, а більшим. З усіх видів попередньої обробки сировини на швидкість процесу екстрагування найбільш ефективно впливає ферментація, яка майже на порядок збільшує коефіцієнт внутрішньої дифузії. Однак ферментні препарати досить дорогі, що стримує впровадження ферментного способу обробки сировини в промислових умовах.

Останнім часом зростає інтерес до методів, за яких інтенсифікація процесу досягається використанням електроімпульсних технологій, що характеризуються високими, питомими за потужністю впливами на біомасу, що знаходиться в реакторі. До них можна віднести ударну хвилю, ультразвук, електромагнітне поле тощо. Застосування таких впливів дає змогу значно підвищити ефективність процесу навіть за кімнатних температур, зменшити масогабаритні характеристики обладнання, різко знизити величину витрат електричної енергії процесу на проведення.

У науково-технічній літературі відомі дані щодо обробки сировини ультразвуком [10]. Ультразвук завдає руйнівної, подрібнювальної дії на рослинні клітини. Автори рекомендують додавати до екстрагенту гліцерин, поверхнево активні речовини, які затримують розвиток кавітації, тобто виключають можливі деструктивні зміни, що не завжди узгоджується з технологією виробництва. Під час процесу необхідно враховувати підвищення температури екстрагенту за рахунок поглинання ультразвукової енергії і слідкувати за тим, щоб температура екстракту не перевищувала допустимих значень.

Вміст розчинних речовин в екстракті значно підвищується, якщо попередньо рослинну сировину обробити змінним електричним струмом, що призводить до часткової мацерації тканин, денатурації білкових речовин протоплазми клітин. Збільшується проникність клітинних оболонок, полегшується дифузія їх вмісту в навколишнє середовище. Подібним чином на рослинну сировину діє оброблення іонізуючими випромінюваннями, яка здійснюється в спеціальних апаратах-опромінювачах.

У лабораторії екологічних ресурсів та Департаменті харчової та переробної промисловості проведені дослідження електроідривної екстракції високого тиску, основаної на використанні електрогідравлічного ефекту Юткіна. Автори розглядали можливість застосування цієї технології в харчовій промисловості (при переробці лужки гречки, лущиння цибулі, жому різних ягід і т.д.). Незважаючи на те, що електроідривні технології у екстракції успішно апробовані впродовж останніх двадцяти років у промисловості, вони не отримали широкого поширення.

Використанням НВЧ-нагрівання інтенсифікує процес теплової обробки сировини і екстрагування стійких розчинних речовин водним середовищем. Позитивні результати використання імпульсного електромагнітного випромінювання були отримані: у виробництві харчових барвників з бураяка, плодово-ягідної сировини. Відомі спроби використання мікрохвильових технологій при добуванні кедрового масла з насіння сосни сибірської, для прискорення в лабораторних умовах процесу вилучення фунгіцидів з деревних матеріалів [6]. Досліджували НВЧ-технології також при отриманні кавової олії, соєвої олії, при вилученні олій з листя м'яти, розмарину, чайного дерева, сандалу та інших рослин, при екстрагуванні нікотину з тютюнової сировини. Виробничу апробацію мікрохвильове екстрагування пройшло в схемі прискореного дозрівання коньячних спиртів.

Останнім часом все більш широкого застосування набули вакуумно-імпульсні технології переробки рослинної сировини, які забезпечують виробництво концентрованих екстрактів за короткий термін з

найменшими втратами сировини та, енергії. В основу принципу дії вакуумно-імпульсної екстракції покладена попередня дегазація сировини під вакуумом, його просочування екстрагентом під атмосферним тиском, періодичне прогрівання з наступним імпульсним вакуумуванням до залишкового тиску, рівного тиску пари розчинника при даній температурі, і поєднанням з атмосферним тиском. В результаті імпульсного вакуумування відбувається закипання розчинника в порах матеріалу, а пара, що утворюється виштовхує насичений цільовим компонентом екстрагент. Потім, при поєднанні з атмосферою, свіжі порції розчинника надходять в пори матеріалу. Вищеописану послідовність дії повторюють необхідну кількість разів [7].

Авторами [8] запропоновано екстракцію за допомогою надкритичних флюїдів. Великого поширення набувають технології CO₂ екстракції. Незважаючи на те, що надкритична екстракція має суттєві переваги, її використання в харчових виробництвах обмежено. Це пов'язано з тим, що вирішення кожного конкретного завдання екстракції вимагає індивідуального підходу до оптимізації певного процесу, його продуктивності за умови конкретизації сировини, екстрагента і кінцевого продукту. Природно, що ці завдання вирішують при забезпеченні необхідного рівня уніфікації обладнання.

Як уже згадувалося, перспективним напрямом підвищення ступеню вилучення екстрактивних речовин є оброблення рідких середовищ у кавітаційних пристроях [5] оскільки підвищується реакційна здатність розчинника й відповідно зростає швидкість перебігу самого процесу й збільшується повнота вилучення цільового компонента, що підтверджено попередніми результатами. Тому метою досліджень було отримання додаткової інформації щодо доцільності запропонованого методу для компонентів різного хімічного складу.

Дослідними параметрами були вибрані екстрактивні, дубильні речовини та флавоноїди. Вивчали кінетику вилучення цих речовин за раціональних умов проведення процесу дробної мацерації листя горіху грецького. Використовували висушене на повітрі і подрібнене за допомогою лабораторної траворізки листя горіху грецького. Визначення екстрактивних речовин в абсолютно сухому листі горіху грецького проводили за стандартною методикою [9] з використанням таких екстрагентів як вода і спирт етиловий 40%, гідромодуль –1:5, температура 20°C, кількість зливів – 3, час настоювання – 48 годин.

Було встановлено, що незважаючи на те, що вода є більш полярним екстрагентом нею вилучається лише 19,9±0,25% екстрактивних речовин, а 40% етиловий спирт – 39,4±0,85%. У порівнянні з базовим методом (б) ці показники вищі (вода (б) – 12,53±0,82%; 40% етиловий спирт (б) –31,02±1,24%).

На наступному етапі досліджували особливості кінетики вилучення цільових компонентів у рідку фазу залежно від розміру сировини. Використовували сировину з різним ступенем подрібнення. Так для першої серії листя не подрібнювалась зовсім. Для 2, 3 і 4 – сировину подрібнювали на лабораторній траворізці та подальшого просіювання через набір лабораторних сит. Усереднені розміри трьох отриманих серій листя горіху грецького становили 1–1,5 мм (серія 2), 5–7мм (серія 3), 10 мм (серія 4).

Приготування лабораторних зразків екстракту проводили методом дробної мацерації за наступною методикою. Зважену кількість сировини поміщали в лабораторний екстрактор, зверху клали перфорований диск і заливали екстрагентом до “дзеркала”, враховуючи коефіцієнт поглинання сировиною. Суміш настоювали за періодичного перемішуванні 48 годин при температурі 20°C. Після закінчення часу, відведеного на екстрагування, вилучення зливали і заливали сировину наступною порцією чистого екстрагенту до “дзеркала”, залишаючи суміш для екстрагування ще на 12 годин. Далі повторювали операцію зливання – вилучення, об'єднуючи його з раніше отриманим і знову заливали сировину в екстракторі рештою розрахованої кількості екстрагента, залишаючи суміш ще на 12 годин. Отримане вилучення додавали до двох попередніх. Далі отриману витяжку з листя горіху грецького відстоювали протягом 72 годин при температурі 8±2°C з метою усунення баластних речовин. Після цього відстоюване вилучення фільтрували і упарювали з метою отримання густого екстракту. В отриманому густому екстракті визначали вміст вологи з метою встановлення його готовності.

Екстрагування усіх серій лабораторних зразків проводилося за однакових умов: з однаковим співвідношенням сировина – екстрагент (1:10), в якості екстрагенту був використаний спирт 40%. Результати проведених досліджень представлені у табл.1. Наведені дані порівнювали з базовим методом.

Наведені дані свідчать про збільшення ступеню вилучення цільових компонентів і незначний вплив подрібнення сировини на вихід екстрактивних речовин. Так, розбіжність у зразках при виході екстрактивних речовин складає 1,09%, дубильних речовин – 0,31%, флавоноїдів – 0,16%. До того ж, висушене листя горіху грецького досить крихке, легко довільно подрібнюється при завантаженні до екстрактора і не потребує спеціальних засобів для подрібнення.

Таблиця 1 – Залежність виходу екстрактивних, дубильних речовин та суми флавоноїдів від ступеня подрібнення сировини

Діаметр частин, мм	Вміст вилучених речовин за умови кавітаційного оброблення екстрагента		
	Екстрактивні речовини в перерахунку на суху сировину, %	Дубильні речовини, %	Флавоноїди, %
Не подрібнена сировина	27,40±0,03	9,21±0,03	5,64±0,01
1–1,5	28,49±0,01	9,52±0,02	5,77±0,03
5–7	28,48±0,02	9,38±0,01	5,67±0,01
10	27,45±0,02	9,24±0,01	5,65±0,01
Вміст вилучених речовин за умови базової технології [5]			
Не подрібнена сировина	20,40±0,02	8,41±0,02	4,73±0,01
1–1,5	20,49±0,02	8,52±0,01	4,73±0,02
5–7	20,48±0,02	8,48±0,01	4,51±0,02
10	20,45±0,01	8,34±0,03	4,64±0,02

Аналогічні дослідження проводили й за різного співвідношення сировина – екстрагент. Результати наведено в табл.2.

Таблиця 2 – Залежність виходу вилучених речовин від співвідношення сировина-екстрагент

Показники	Вміст вилучених речовин за умови кавітаційного оброблення екстрагента				
	Співвідношення сировина: екстрагент				
	1:5	1:7,5	1:10	1:12,5	1:15
Екстрактивні речовини, %	19,16±0,03	20,11±0,01	27,40±0,02	27,59±0,	27,68±0,03
Дубильні речовини, %	8,78±0,03	9,0±0,03	9,21±0,01	9,32±0,01	9,43±0,03
Флавоноїди, %	5,2±0,03	5,47±0,02	5,64±0,02	5,85±0,03	5,96±0,03
Вміст вилучених речовин за умови базової технології [5]					
Екстрактивні речовини, %	18,08±0,02	19,08±0,02	20,40±0,02	20,59±0,02	20,62±0,02
Дубильні речовини, %	7,86±0,02	8,04±0,02	8,41±0,02	8,42±0,01	8,43±0,02
Флавоноїди, %	4,14±0,02	4,43±0,02	4,73±0,01	4,75±0,01	4,76±0,03

Результати наведені в табл. 2 підтверджують, що за умови застосування оброблення екстрагента у гідродинамічному модулі показники вилучень зростають, спостерігається їхнє незначне збільшення й за умови збільшення гідромодуля. Водночас з підвищенням масової частки екстрагенту вище 10 (1:12,5; 1:15) їхній вихід збільшується незначно (екстрактивних речовин – на 0,28%, дубильних речовин – на 0,22% і флавоноїдів – на 0,32%), тому економічно недоцільно проводити процес екстрагування з використанням таких пропорцій. Навпаки, при зменшенні частки екстрагента (співвідношення 1:7,5, 1:5) неможливо досягти повноти вилучення цільових сполук, що також вказує на недоцільність проведення процесу з використанням вказаних співвідношень. Таким чином співвідношення сировина – екстрагент 1:10 є самим раціональним.

Отримані результати можна пояснити впливом кавітаційних ефектів на екстрагент, що супроводжується зменшенням його в'язкості, збільшенням електропровідності, зростанням межі розчинності твердих тіл [6]. Такі зміни позитивно впливають на кінетику внутрішньодифузійного масопереносу і відповідно на швидкість вилучення цільових компонентів з пористих частинок. Таким чином кавітаційна активація (оброблення) екстрагента, який зберігає свої властивості протягом певного часу є достатньо перспективною, а наведені результати ще раз підтверджують доцільність наукового положення про можливість істотної інтенсифікації процесів масоперенесення при екстрагуванні з капілярно-пористої системи за умови кавітаційного оброблення екстрагента та актуальність поглиблення досліджень у цьому напрямку.

Література

1. Dolinsky A.A., Ivanitsky G.K. Use of discrete pulse input of energy in various production processes // Transport Phenomena Science and Technology. China, Beijing: Higher Education Press. – 1992. – P.89–100.

2. Аксенова Е.Г. Извлечение экстрактивных веществ древесной зелени при резонансных колебательных воздействиях / Е.Г. Аксенова, Р.Ш. Абишев, Г.М. Островский и др. // Изв. вузов. Лесной журнал. – 1993. – №2–3. – С.176–179.
3. Белобородов В.В. Экстрагирование из твердых материалов в электромагнитном поле сверхвысоких частот / В.В. Белобородов // Инж.-физ. журн. – 1999. – Т.72, №1. – С.141–146.
4. Буренков Н.А. Вакуумирование свекловичной стружки при получении диффузионного сока / Н.А. Буренков // Сахарн. пром-сть. – 1958. – № 10. – С.7–9.
5. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах: монографія / Т.М. Вітенько. – Тернопіль: ТДТУ, 2009. – 224с.
6. Бурдо О.Г. Экстрагирование в системе «кофе–вода» / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко. – Одесса, 2007. – 176с.
7. Гумницький Я.М. Тверда фаза. Інтенсифікація екстрагування в умовах вакуумування системи. / Я.М. Гумницький, М.Ф. Юрим, В.М. Сеньків // Журнал “Хімічна промисловість України”. – 2005. – №1. – С. 28–30.
8. Державна фармакопея України, XI видання.
9. Луговской А.Ф. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях / А.Ф. Луговской, Н.В. Чухраев. – К.: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2007. – 244с.

УДК 664.1.054

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ЯЧЕЙКАМИ САХАРОЗЫ В УСЛОВИЯХ ОХЛАЖДЁННОГО РАСТВОРА В ПРОЦЕССЕ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПО КОЛЕБАТЕЛЬНОМУ МЕХАНИЗМУ

Дмитренко И.М., аспирант, Погорельий Т.М., канд. техн. наук, доцент
Национальный университет пищевых технологий, г. Киев

В данной статье подаётся методика моделирования теплообмена между большей и меньшей ячейками межкристалльного раствора сахарозы с окружающим их раствором, при условии попадания ячеек в охлаждённую зону рабочего объёма аппарата.

Полученные результаты в процессе моделирования теплообмена между большей и меньшей ячейками межкристалльного раствора сахарозы с окружающим их раствором, подтверждают ключевое положение теории процесса рекристаллизации по колебательному механизму, предложенной исследователями НУПТ.

The article deals with modeling of heat exchange between cells of sucrose mother liquor of different sizes contacting with each other and with the surrounding solution in conditions when the cells come into the cooled solution zone of vacuum pan working volume.

The results obtained on modeling of heat exchange between cells of sucrose mother liquor of different sizes contacting with each other and with surrounding solution confirm the key provision of recrystallization process theory over the vibrational mechanism proposed by NUFT researcher.

Ключевые слова: рекристаллизация, моделирования теплообмена, программный комплекс Flow Vision, скорость охлаждения.

Современное состояние сахарной промышленности Украины требует новых научных подходов и решений для дальнейшего повышения эффективности производства кристаллического сахара.

О важности и необходимости дальнейших научных исследований в области кристаллизации сахаристых веществ свидетельствует то, что в течение последних двадцати лет принималось несколько научно-технических государственных программ и проектов на уровне Правительства Украины, направленных на развитие сахарной промышленности. Одним из путей решения этой задачи является разработка новых и усовершенствование существующих способов и аппаратов для промышленной кристаллизации сахаристых веществ. Таким образом, проведение исследований процессов кристаллизации сахара с учетом использования современных научных подходов и решений является насущной необходимостью для повышения эффективности пищевой индустрии Украины.