



Луговський О. Ф.

УДК 621.031:664.292

НТУУ
«Київський
політехнічний
інститут»

Берник І. М.

Вінницький
державний
аграрний
університет

ВИКОРИСТАННЯ ФІЗИЧНИХ ПОЛІВ ДЛЯ ГІДРОЛІЗУ ПРОТОПЕКТИНУ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

В работе проведен анализ способов для производства пектина и пектинопродуктов, в частности процесса гидролиза-экстракции протопектина из растительного сырья, которые на сегодняшний день являются технически достижимыми.

In work the analysis of methods is conducted for the production of pectin and pectinoproducts, in particular process of hydrolysis-extraction of protopectin from vegetable raw material, which to date are technically accessible.

Програмою адаптації та реабілітації населення України до техногенних факторів, зокрема з урахуванням наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, насичення споживчого ринку пектином є однією з пріоритетних задач.

Пектин відносять до біологічно активних харчових добавок, у міжнародній класифікації під номером Е 440, широко використовують у сучасних технологіях харчової, фармацевтичної та медичної промисловості, володіє унікальними властивостями, серед яких комплексоутворення (здатність утворювати комплекси з важкими металами та виводити їх з організму), та інші, зокрема такі, як драглеутворення, емульгуюча та стабілізуюча дія. [1, 2].

Сировиною для виробництва пектину є відходи консервних та цукрових заводів. Для України найбільш розповсюдженим є переробка яблук, при якій вихід основного продукту складає 70%, решта класифікують, як відходи. Склад яблучних вичавок характеризується наявністю пектинових речовин у кількостях у 2-2,5 разів більше, ніж у первинній сировині.

Пектинові речовини в клітинних стінках мають дві основні форми: пектин розчинний (гідропектин) та нерозчинний (протопектин), який представлений комплексом целюлоза-пектин (рис. 1). Вміст протопектину у рослинній сировині складає 75% та являється основним джерелом для отримання пектину.

Вилучення нерозчинного пектину з рослинної сировини проходить у два етапи. На

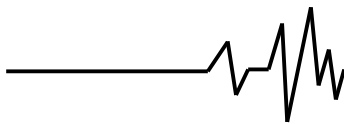
першому – під дією водних розчинів мінеральних або органічних кислот чи інших гідролізуєчих агентів відбувається гідроліз протопектину у розчинну форму пектину. На другому етапі – дифузія молекул розчинного пектину з сировини у розчин, тобто екстракція. У промислових умовах ці два процеси об'єднані, тобто вони проходять одночасно.

Гідроліз протопектину проводять з використанням каталізаторів різного типу – від лугів (гідроксид натрію та калію) та мінеральних кислот (сірчана, соляна, азотна, фосфорна) до кислот органічного походження (щавлева, молочна, лимона), а також їх різної комбінації та концентрації [3, 4].

Окрім природи гідролізуєчого агенту, на процес гідролізу-екстракції протопектину впливають: температура, кислотність середовища, гідромодуль та тривалість обробки.

Недоліки кислотно-спиртової технології: значна тривалість процесу в цілому та гідролізу зокрема (до 3 год), корозія технологічного обладнання пов'язана з використанням у якості каталізаторів мінеральних кислот, деструктивний вплив на молекулу пектину та екологічно небезпечне виробництво.

Альтернативною технологією отримання пектину з високими радіопротекторними властивостями є ферментативний гідроліз. Дослідження показали, що при використанні ферментних препаратів, як мінімум, у два рази підвищується вихід пектину, у виробництві не



використовують операції з нейтралізації кислотних компонентів [5, 6].

Перевагами використання ферментативного гідролізу є більш пом'якшенні умови та, як наслідок, менший деструктивний вплив на продукт та простіше апаратне оформлення. Поряд з цим широке його використання стримано високою вартістю ферментних препаратів та складністю їх отримання.

Для реалізації процесу гідролізу-екстрації використовують обладнання періодичної та безперервної дії, що представлено сорочковими реакторами з перемішуванням або з нерухомим шаром через який перколює розчинник, установками з нерухомим шаром, що переміщується між стадіями.

Таким чином, за кислотно-спиртовою технологією виробництво характеризується значними проблемами при виготовленні реакційних апаратів для проведення гідролізу-екстрації, що пов'язано з використанням сильних органічних кислот та лугів, призводило до труднощів при виборі матеріалу технологічного обладнання (емальована апаратура, конструкційні пластмаси, дерево), використання спирту високих концентрацій підвищує вибухо- та пожежобезпечність виробництва та особливі вимоги до обладнання. А також значні габарити, металоємкість, витрати води, спирту, кислот. Особливо необхідно звернути увагу на питання екологічної безпеки виробництва, так як відпрацьовані розчини мінеральних кислот та інших гідролізуючих агентів, побічні продукти та конденсати парів є потенційним джерелом забруднення оточуючого середовища або потребують додаткового обладнання для їх регенерації та очищення.

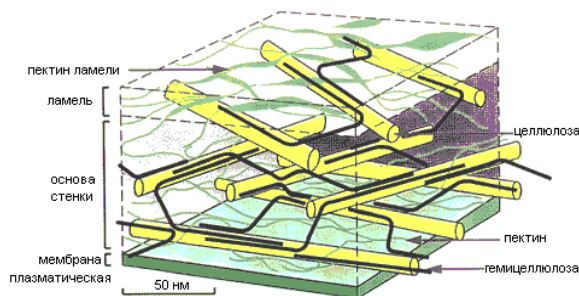


Рис. 1. Модель рослинної клітинної стінки

Фізико-механічні способи. Значний інтерес сучасних досліджень спрямований на розробку фізико-механічних способів та обладнання для обробки харчових продуктів з

метою інтенсифікації технологічних процесів, використання яких не передбачає застосування сторонніх інгредієнтів, а базується суто на фізичних явищах та ефектах.

Вченими Національного університету харчових технологій та асоціації «Пектин» запропоновано принципово новий спосіб виробництва пектину з використанням електромембранної підготовки екстрагенту для гідролізу-екстрагування протопектину [7, 8]. Новий гідролізуючий агент, названий електроактивованою водною системою (ЕАВС), отримують шляхом оброблення пом'якшеної питної води в модернізованих електродіалізних мембранних установках ЕДУ-МС (ТУ У 02070938.020-2000).

Перевагами запропонованого способу є використання стандартизованого обладнання переробної промисловості, універсальність обладнання для гідролізу-екстракції для різних видів сировини, можливість регулювання рН гідролізуючого агента.

До недоліків слід віднести – ускладнення технологічної лінії та додаткові витрати пов'язані з оснащенням її спеціальними установками для отримання гідролізуючого агента та швидке зношування їх складових.

Одним з напрямків досліджень виробництва пектину є використання надкритичної флюїдної технології, яка заснована на властивостях розчинників розчиняти цільові компоненти при певних термодинамічних параметрах (температурі та надкритичному тиску, рис. 2).

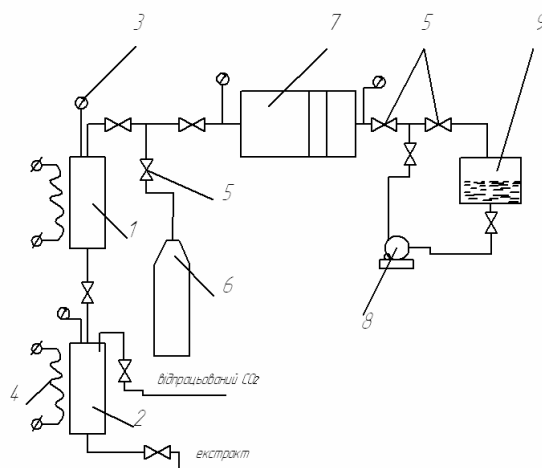


Рис. 2. Блок-схема лабораторної установки для надкритичної екстракції:

1 – екстрактор, 2 – сепаратор, 3 – манометр, 4 – нагрівач, 5 – вентиль, 6 – балон з газом, 7 – циліндр високого тиску, 8 – насос, 9 – ємність з водою



Надкритичні флюїди характеризуються високим коефіцієнтом дифузії та низьким значенням коефіцієнту в'язкості [9].

Перевагами запропонованого методу є висока якість пектину, екологічність технологічного процесу. Недоліки – використання спеціальної апаратури, робота установки під високим тиском та висока пружність насичених парів двоокису вуглецю.

Використання гідроакустичного обладнання дозволяє інтенсифікувати масообмін у системі «тверде тіло – рідина» [10].

Дослідження гідроакустичних процесів в системі рослинна сировина – розчинник представлено в роботах Голубєва В.Н [11], з використанням апаратів роторно-кавітаційного типу та запропоновано «холодний» спосіб отримання пектину.

Апарат виконаний у вигляді циліндричної ємкості – статора, на внутрішній поверхні якого змонтовано відбиваючі перегородки (рис. 3).

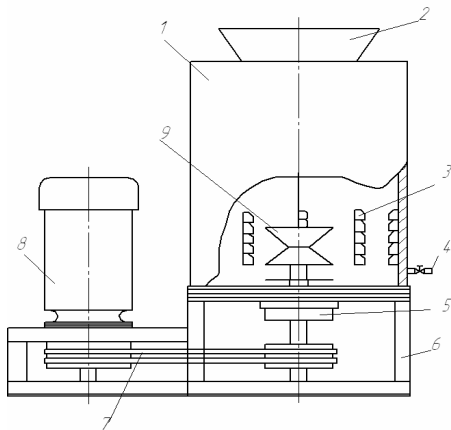


Рис. 3. Загальний вигляд генератора кавітації:

- 1 – статор, 2 – завантажувальний патрубок, 3 – сегменти, 4 – кран для спускання відпрацьованого матеріалу (подрібнена сировина, екстракт), 5 – підшипниковий вузол, 6 – рама, 7 – клинопасовий привід, 8 – електродвигун, 9 – ротор**

Кавітацію викликають пульсації тиску, що виникають при чергуванні суміщення та несуміщення отворів. Поріг кавітації для запропонованого апарату встановлений при швидкості обертання ротора 2400-2500 об/хв.

Кінетика процесу гідролізу описується рівнянням:

$$\lg(C/C_0) = -kt \quad (1)$$

де, C – вміст пектину в екстракті,

C_0 – загальна кількість пектину в сировині,

k – константа швидкості гідролізу,

t – тривалість гідролізу.

Встановлено, що екстракція протікає вже за перші 15 хв.

Оскільки рН водного середовища не перевищує 4, автори припускають, що в результаті кавітаційного активування молекул води з утворенням активних радикалів H_2O^+ , в апараті відбувається кислотний гідроліз протопектину.

Для екстракції пектинових речовин амаранту колективом вчених було запропоновано використовувати суперкавітаційний апарат роторно-пульсаційного типу [12]. Апарат виконано у вигляді равлика з вхідним патрубком, розміщеним по осі, і вихідним патрубком розміщеним тангенційно (рис. 4). В корпусі на валу встановлено ротор у вигляді диску, на торцях якого розміщені коаксіальні циліндри з прорізами.

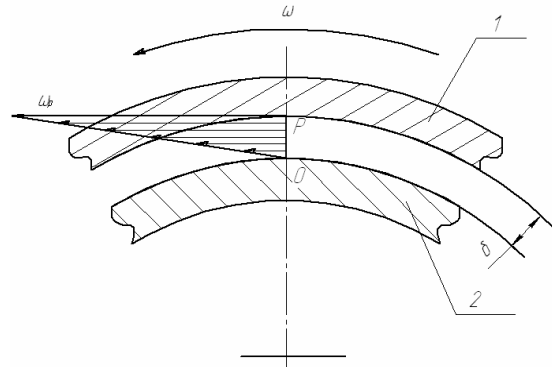


Рис. 4. Елемент зазору між ротором і статором:

- 1 – ротор, 2 – статор, δ – зазор між ротором та статором, ω – кутова швидкість обертання ротора, $P-\omega-O$ – епюра швидкостей руху рідини в зазорі між ротором та статором**

Ротор з двох сторін охопчений статором, встановлений з можливістю здійснювати акустичну дію на сировину з різною частотою та амплітудою. Ефективність процесу забезпечується при роботі ротора та статора в резонансі, у результаті розрахунків швидкості обертання ротора, його діаметру та зазору між ротором та статором.

Розрахунковим шляхом встановлено, що швидкість обертання ротора 4000-5000 хв⁻¹, величина зазору між статором і ротором $8,1 \times 10^{-5}$ м, діаметр ротора $D = 178$ мм.

В роторно-кавітаційних апаратах кавітація виникає в каналах, що утворенні по радіусу дисків, що обертаються. Зміна тиску виникає за рахунок відцентрової сили, яка призводить до руху рідини в каналі.

У роботі Запорожець Е.П. та Богуса А.М. [13], запропоновано використовувати роторно-

кавітаційний апарат, в якому кавітація виникає в радіальних каналах, які відіграють роль сопел, перепад тиску виникає за рахунок відцентрової сили (рис. 5).

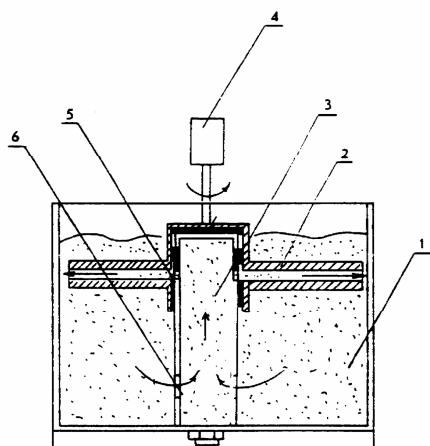


Рис. 5. Схема однодискового кавітаційного апарату:

1 – сировина для обробки, 2 – диски з отворами, 3 – порожнина валу, 4 – електродвигун, 5 – отвори між дисками, 6 – пустотілий вал

В результаті дії відцентрової сили, яка розганяє рідину по каналу зі швидкістю $V=2NR$, відбувається перепад тиску між порожниною вісі та каналом, та як наслідок викидання суміші. Для створення сильної кавітації використовували число обертів двигуна $N=700$ об/хв, $R=0,1$ м, швидкість рідини $V=4,8$ м/с.

У запропонованій конструкції суміш може багаторазово циркулювати по замкнутому колу, що дозволяє досліджувати інтенсивність процесу гідролізу-екстракції в безперервному режимі.

У подальших дослідженнях Богусом А.М. [13] запропоновано експериментальну установку об'ємом 5 л, з касетою 5 з трьох дисків на пустотілому валу 4 з чотирма отворами в площині розміщення дисків (рис. 6). Пристрій розміщений у водяній бані 6.

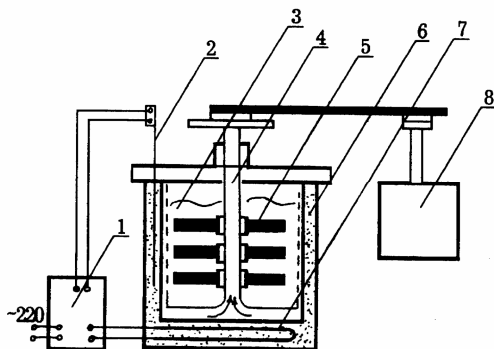


Рис. 6. Схема трьохдискового кавітаційного апарату

Для досліджень використовували фіксовану частоту – 500, 750 та 1500 об/хв. При частоті обертання 700 об/хв та $R=0,1$ м – $V=7,8$ м/с – у каналах виникає явище кавітації. Продукт проходить активну кавітаційну зону через певний час, що пов'язано з його циркуляцією по замкнутому колу в апараті.

Отже, робота роторно-кавітаційних апаратів направлена на підвищення швидкості молекулярної дифузії речовини у розчин. Інтенсифікація процесу відбувається за рахунок тонкого подрібнення сировини стираючими частинами апарату. При цьому гідролізна маса представляє собою колоїдний розчин, виділити з якого пектин практично неможливо.

Недоліками даного типу пристроїв є можливість досить великої енергетичні витрати і ерозійне руйнування елементів кавітаційного апарату. А також він є ненадійним, що притаманно пристроям і апаратам, в яких використовуються елементи конструкцій, що обертається з високою швидкістю, де використовують різні привідні елементи.

Для оптимізації процесу гідролізу протопектину та екстрагування пектинових речовин з рослинної сировини в роботі [15], запропоновано використовувати ежекторний спосіб створення гідродинамічної кавітації.

Процес гідродинамічної кавітації розглянуто при проходженні рідини через сопло типу Вентурі (рис. 7).

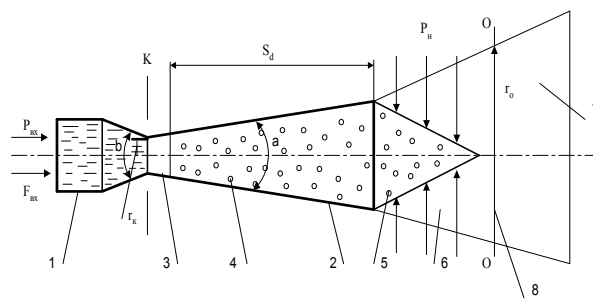
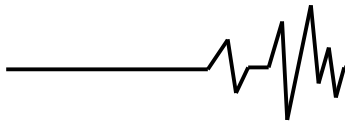


Рис. 7. Течія кавітуючої рідини: 1 – сопло Вентурі, 2 – дифузорець, 3 – критичне сечення, 4 – область кавітації, 5 – потенційне ядро струменя, яке складається з кавітуючої рідини, $P_{вх}$ – тиск на вході у сопло, S_d – довжина дифузорець, r_k – радіус критичного сечення, a – кут розширення дифузорець, b – кут звуження конфузора

Процес кавітації описано системою рівнянь, які виходять з рівняння Бернуллі:

$$\frac{\rho V^2}{2} = P_{вх} - P_{пара} \quad (2)$$



Визначальний вплив на час перебування сировини в кавітаційному полі має довжина області кавітації:

$$L_k = r_k \left[\sqrt{\frac{P_H - P_{пара}}{P_{ex} - P_{пара}}} - 1 \right] \cdot \left[\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right]^{-1} \quad (3)$$

де r_k – радіус критичного січення, м;

α – кут розширення дифузору сопла, град.

Спеціалістами інституту «Текмаш» створено дослідно-промислову кавітаційну установку, принцип дії якої полягає у наступному: маса прокачується насосом з великою швидкістю. В трубі, по якій прокачується продукт, змонтовані насадки та ножі спеціальної конструкції, за рахунок яких утворюється потужний гідравлічний удар та бульбашки, при захопленні яких виділяється потужна енергія.

Покращення процесу гідролізу протопектину та екстрагування пектинових речовин при використанні ежекторно-кавітаційного обладнання відбувається за рахунок створення гідродинамічної кавітації. Однак, апарати мають недоліки, що полягають у можливості засмічення сировини продуктами кавітаційної ерозії металу та необхідністю створення насосами високої швидкості подачі гідролізованої маси в апарат.

Фірмою «Олександра-Плюс» налагоджено випуск ультразвукових екстракторів [16].

На сьогоднішній день виготовленні та введенні в експлуатацію екстрактори ємністю 150, 800 та 2000 л.

Згідно досліджень колективу компанії, найбільша ефективність екстракції досягається при обробці суміші ультразвуком з частотою 22 кГц, при використанні механічного перемішування та підігрівання паром через сорочку.

Обґрунтування доцільності використання ультразвукових технологій для гідролізу-екстракції пектину.

Одним із ефективних фізичних методів впливу на речовину для інтенсифікації технологічних процесів є використання механічних коливань ультразвукового діапазону. З цим поняттям пов'язанні цілі області сучасної фізики, промислових технологій, інформаційної та виміральної техніки, біології. Ультразвукові технології знайшли широке використання у багатьох галузях агропромислового комплексу України [17-19].

Застосування ультразвуку сприяє прискоренню технологічного процесу у декілька

разів та значному використанню сировини. Вплив на речовину здійснюється через ефекти першого порядку – частота, інтенсивність та швидкість коливань, та другого порядку – кавітація, акустичні течії, пульсації паро-газових бульбашок і т. ін. [20].

Найбільш успішними є використання ультразвуку в процесах пов'язаних з обробкою рідинних реагентів, оскільки саме в них виникає явище – ультразвукової кавітації, що забезпечує максимальну енергетичну дію на речовину.

Кавітації – тобто розрив рідини, що супроводжується утворенням дрібних пухирців, наповнених паром та газами, які містяться в рідині.

Виникнення кавітації можливе при наявності зародкових центрів (мікроміхурі газів та парів, зависі неоднорідних включень, мікротріщини твердих частинок) визначеного інтервалу розмірів. Нижня межа визначається залежністю [21]:

$$R_{кр} = \sqrt{3} R_0 \left[\frac{R_0}{2\sigma} \left(p_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \right]^{1/2}, \quad (4)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу, R_0 – початковий радіус бульбашки, p_0 – гідростатичний тиск

Верхня границя обмежена розмірами зародків, власна частота яких дорівнює частоті збуджуючої звукової хвилі. Резонансний розмір зародка та частота коливань пов'язані залежністю [84, 85]

$$(2\pi f)^2 = \frac{3\gamma_a}{\rho_p R_{рез}^2} \left(p_a + \frac{2\sigma}{R_{рез}} \right), \quad (5)$$

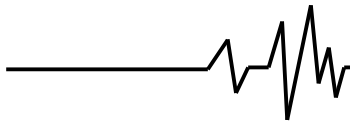
де f – частота ультразвукових коливань;

$R_{рез}$ – резонансний розмір зародка; γ_a –

показник адиабати; ρ_δ – густина незбуреної рідини; p_a – звуковий тиск, що створюється звуковим полем.

Ріст частоти коливань призводить до зменшення $R_{рез}$, при незмінних інших умовах зменшується величина свідчить про зниження вірогідності виникнення кавітації на великих частотах внаслідок звуження інтервалу потрібних розмірів зародків.

Явище кавітації залежить від інтенсивності звуку, кавітаційним порогом є звук інтенсивністю 1–2 Вт/см².



Під час захопування кавітаційних пухирців виникають ударні хвилі з амплітудою тиску до тисячі атмосфер, що володіють руйнівною дією, у тому числі на клітини мікроорганізмів. Відповідно до формули Релея, максимальний тиск у рідині на відстані, рівному $1,587R$ від центра пухирця, складає:

$$p_{\max} = 0.163 p_0 \left(\frac{R_0}{R} \right)^3 \quad (6)$$

де p_0 - гідравлічний тиск у рідині, Па;

R_{0_0} - початковий радіус газового пухирця,

м;

R - кінцевий радіус пухирця, м.

Оскільки захопування міхура відбувається в мінімальний час, процес стиснення необхідно вважати адіабатичним, що призводить до різкого підвищення температури у газовій фазі міхура. Температуру у газовій порожнині розраховують за рівнянням:

$$T_0 R^{3(\gamma-1)} = T R_x^{3(\gamma-1)}, \quad (7)$$

де R - максимальний радіус міхура;

R_x - радіус міхура за даної міри стиснення;

T_0 - температура на початку стиснення;

T - температура за даного моменту стиснення;

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} \quad - \quad \text{відношення питомих}$$

теплоємностей газу.

За певних умов локальна температура при стиканні міхура може досягати 2000°K .

Механічні коливання ультразвукового діапазону викликають чергування стиснення та розрідження середовища, яке відповідає частоті коливань хвилі та називається ультразвуковим тиском.

Акустичні течії (звуковий вітер) виникають внаслідок створення ультразвукової коливальної системи робочим інструментом, що призводить в рух та викликає постійне зміщення від положення рівноваги частинок та середовища в цілому. Тобто відбувається перемішування, що має значний вплив на інтенсифікацію технологічних процесів.

У зв'язку з вище зазначеними особливостями значною перспективою використання ультразвуку є інтенсифікація екстракції цінних компонентів з рослинної сировини [22].

Процес гідролізу-екстракції пектину з рослинної сировини можна представити у вигляді послідовних стадій:

- проникнення розчинів в сировину,
- гідроліз протопектину,

- внутрішня молекулярна дифузія у середині клітини,
- масоперенесення речовин через клітинні стінки (зовнішня молекулярна дифузія),
- перехід речовин з поверхні матеріалу в розчин.

Перша стадія описується законом Фіка, згідно якого кількість речовини перенесеної внаслідок дифузії пропорційна коефіцієнту дифузії D_{ai} , площі F , тривалості процесу t та

градієнту концентрацій $C_1 - C_1'$:

$$M = -\frac{D_{ai}}{R} F \tau (C_1 - C_1') \quad (9)$$

Масовіддача з поверхні твердого тіла описується рівнянням за законом Ньютона:

$$M = \frac{D_{ca}}{\delta} F \tau (C_1' - C_2) \quad (10)$$

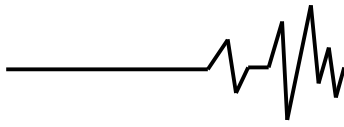
D_{ca} - коефіцієнт зовнішньої дифузії,

δ - товщина пристінного шару рідини з усередненою концентрацією C_1' .

Діючі фактори та особливості ультразвукового впливу наступні:

1. Основу структури рослинної сировини, що підлягають гідролізу-екстракції складають капілярно-пористі системи. Клітина рослин, зокрема, має низку складових, що перешкоджають процесу дифузії, серед яких: клітинна оболонка, що містить волокнисті структури мікро- та макрофібри, які у вигляді пучків різних діаметрів переплітаються між собою, утворюючи пористу структуру; протоплазма; напівпроникні мембрани, що розташовуються на межі протоплазми з оболонкою клітини; вакуоль, що слугує дисперсійним середовищем для складових клітини. Тому масоперенесення через означені елементи відбуваються з мізерною швидкістю. Для поліпшення масообміну в таких умовах, зокрема, екстракції, на початковій стадії переробки продукція підлягає обробці (механічній, тепловій, електричній, хімічній) з метою руйнування або денатурації протоплазми та інших структур.

Під дією ультразвуку відбувається аномально глибоке проникнення рідини в капіляри тобто виникає так званий звукокапілярний ефект. Він обумовлений сумарною дією імпульсів тиску. Швидкість та висота заповнення капіляра рідиною залежать від ступеня розвитку кавітації, величини сил, що виникають та від в'язкості рідини. Посилене проникнення рідини у капіляри твердих тіл сприяє їх руйнуванню [23]. Окрім того частина звукової енергії, що проникає в клітину



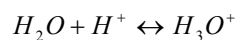
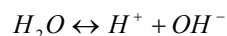
перетворюються в теплову, що також сприяє інтенсифікації процесу.

Акустичні коливання спричиняють хімічну дію на речовину [24]. Заслужують увагу реакції за участю макромолекул, наприклад, деструкція молекул полімерів та ініційована нею полімеризація. Для яких важливі не тільки кавітаційні процеси та пов'язані з ними ударні хвилі та кумулятивні течії, але й виникаючі при проходженні ультразвуку через розчин полімеру механічні хвилі, які руйнують макромолекули. При відсутності кавітації макромолекули не встигають переміщуватися разом з молекулами розчинника, коли у розчині поширюються ультразвукові хвилі. У цьому випадку значну роль можуть відігравати високі градієнти швидкостей та прискорень, які на 2-3 порядки перевищують градієнт звукової хвилі, що достатньо для розриву клітинних оболонок, мембран, розриву біомакромолекул.

2. Для нормального протікання процесу розчинник повинен володіти виборчою розчинністю, забезпечувати максимальну швидкість розчинення, мати низьку температуру кипіння (для спрощення регенерації), не давати побічного негативного ефекту на продукцію та технологічне обладнання, забезпечувати екологічну чистоту та безпечність виробництва.

Роль гідролізуючого агенту та екстрагенту при використанні ультразвуку може виконувати вода, яка в результаті обробки активується та набуває каталітичних властивостей. Хімічну дію ультразвуку під час кавітації пояснюють тепловим механізмом, оскільки при адіабатичному стисканні кавітаційного міхура температура може досягати 10^4 K [23, 24].

Процес дисоціації води відбувається за схемою:



Кавітація у рідині супроводжується генеруванням вільних радикалів OH, HO₂, а також продуктів їх рекомбінації H₂O₂, HNO₂, HNO₃.

3. Відомо, що поблизу твердого тіла утворюється турбулентний граничний шар, в якому виявляється гальмівний вплив стінки. При цьому основний "опір" масоперенесенню складає так званий дифузійний підшар, де турбулентність поступово загасає у міру наближення до стінки. Тому у цій зоні превалює молекулярна дифузія речовини. Зменшення товщини шару при стандартних технологіях досягають за рахунок покращення

гідродинамічних умов процесу (перемішування, підвищення швидкості омивання стружки).

Під час ультразвукової обробки на поверхні твердої фази діють акустичні течії, які завжди мають вихровий характер, швидкість яких пропорційна коефіцієнту поглинання звуку та його інтенсивності.

Окрім потужних мікропотоків на граничний шар впливають кавітація та звуковий тиск, які фактично змивають його та відбувається заміна процесу молекулярної дифузії на конвективну.

Таким чином розглядаючи питання гідролізу-екстрагування речовин з капілярно-пористих тіл з використанням ультразвукового поля можна виділити основні діючі фактори:

1. гідродинамічні (кавітація, зміна граничного шару та тиску),
2. механічні (звукокапілярний ефект),
3. теплові (локальне нагрівання)
4. хімічні (деструкція молекул полімерів, генеруванням вільних радикалів OH, HO₂, а також продуктів їх рекомбінації H₂O₂, HNO₂, HNO₃).

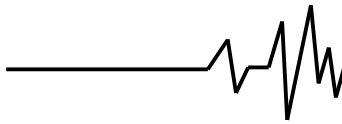
Проведений аналіз технологій та обладнання виробництва пектину та пектинопродуктів, зокрема процесу гідролізу-екстракції протопектину з рослинної сировини, дав можливість провести їх класифікацію в широкому спектрі характеристик, які на сьогоднішній день є технічно досяжними (рис. 8).

Висновки

Основним та визначальним у технології виробництва пектину є процес вилучення протопектину з рослинної сировини. Шляхи вдосконалення вимагають глибокого розуміння сутті та механізму його при дії фізико-хімічних чинників.

Розробка нових технологій, вдосконалення технологічного процесу та апаратів, широке використання досягнень науки і техніки у виробництві, базуються на засадах підвищення якості продукції, енергозбереження та забезпечення екологічної чистоти і безпеки усіх процесів виробництва.

Найбільш перспективним шляхом удосконалення процесу гідролізу-екстракції є дослідження та використання фізико-механічних способів та обладнання для їх реалізації, зокрема застосування ультразвукових технологій. У порівнянні з відомими способами, використання ультразвуку має ряд суттєвих переваг, які обумовлені сукупністю специфічних ефектів, таких як кавітація, акустичні течії, звуковий тиск, які чинять комплексну дію направлену на інтенсифікацію процесу. А створення



високоєфективних п'єзокерамічних матеріалів стало поштовхом до створення надійних, малогабаритних та простих в експлуатації апаратних засобів для реалізації технології.

У зв'язку з цим набуває актуальності задача розробки високоєфективних

енергозберігаючих та екологічно чистих процесів та обладнання, що дозволяють реалізувати переваги використання ультразвуку для гідролізу-екстракції пектину з рослинної сировини, зокрема яблучних вичавок.

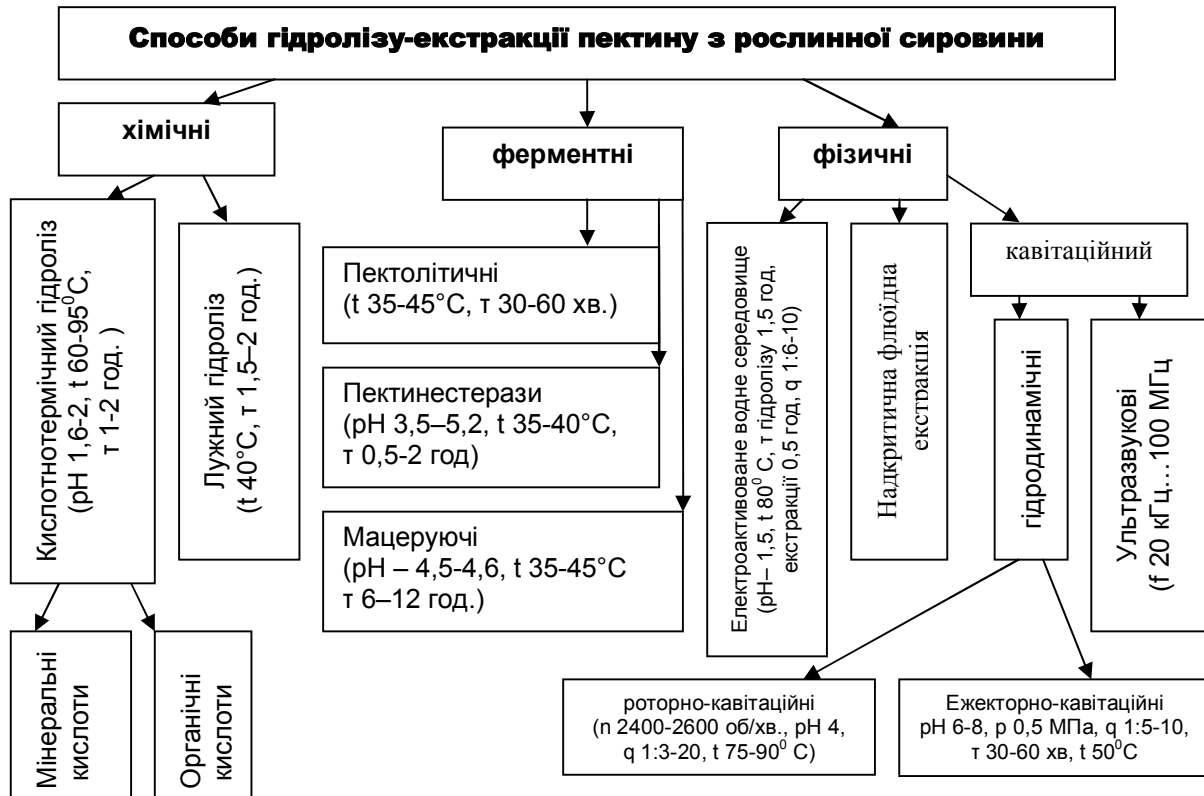


Рис. 8. Класифікація способів гідролізу-екстракції пектину з рослинної сировини

Список використаної літератури

1. Botger L. Pectin application – some practical problems // in Gum and Stabilisers for the Food industry 5 eds. G.O. Philips, D.J. Wedlock and P.A. Williams. – N.-Y.: Oxford University Press Inc., 1990.
2. Кочеткова А.А. Некоторые аспекты применения пектина. // Пищевая промышленность. – 1992. – №7.
3. Бодров В.С., Зав'ялов В.Л., Манежик І.Ф., Овчарук В.О. Безвідходна та енергоощадна технологія виробництва пектиновмісних порошків з яблучних вичавок. // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – Київ НУХТ. – 2002. – №12. – С. 52-54.
4. Пектин: его свойства и производные. / И.С. Гулый, Л.В. Донченко, Н.С. Карпович // Обзорная информация. Сер. 14. – М.: АгрНИИТЭИПП. – 1992. – Вып. 6. – С. 1-56.
5. Румянцева Г.Н., Маркина О.А., Птички на Н.М. Экстракция пектина из тыквенного жома с помощью отечественных

ферментных препаратов. // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – №6. – С. 33-35.

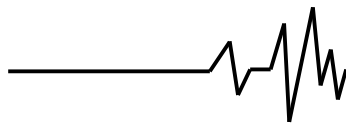
6. Philips G.O. Colloids: a partnership with nature // in K. Nishinari Hydrocolloids/ Part 2. Fundamentals and Applications in Food, Biology and Medicine. – Amsterdam: Elsevier, 2000.

7. Гулый И.С., Бобровник Л.Д., Купчик М.П., Матвиенко А.Б., Донченко Л.В., Карпович Н.С. Электромембранная обработка водных сред и ее применение в производстве пектина. // Пищевая промышленность. – 1993. – №11. – С. 19-20.

8. Купчик М., Чук В., Купчик Л., Картель М. Комплексоутворююча здатність пектинопродуктів, одержаних з використанням електротехнології. // Харчова і переробна промисловість. – 2003. – №6. – С. 20-21.

9. Аминов М.С., Сефиханов М.С. Установка для сверхкритической экстракции пектиновых веществ // Пищевая промышленность. – 2005. – №1. – С. 40-41.

10. Федоткин И.М. Физико-математические основы интенсификации



процессов и аппаратов пищевой и химической технологии. – Кишнев: Штиинца, 1987.

11. Голубев В.Н., Губанов С.Н., Микеладзе О.Г. Роторно-кавитационный аппарат для обработки пектинсодержащего сырья. // Пищевая промышленность. – 1990. – №9. – С. 30-32.

12. Экстрагирование пектиновых веществ амаранта в суперкавитирующем аппарате роторно-пульсационного типа / Н.А. Соснина, В.Ф. Миронов, А.И. Коновалов, С.Г. Минзанова, Г.С. Михалкина, А.В. Смоленцев, А.А. Лапин, А.Д. Федоров, В.Д. Харитонов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – №6. – С. 32–35.

13. Запорожец Е.П., Богус А.М., Яхутль М.Ю. Экстрагирование пектина из растительного сырья механическим способом в кавитационном аппарате // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1998. – №1. – С. 84-85.

14. Механический способ выделения пектиновых веществ / А.М. Богус, М.Ю. Яхутль, Е.П. Запорожец, Г.Н. Тлехурай // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1999. – №1. – С. 79-80.

15. Богус А.М., Шаззо Р.И. Физические способы получения пектина. – Краснодар : Экоинвест. – 2003. – 127 с.

16. Кудряшов В.Л., Сиверская А.Н., Лебедев Н.М., Наумов К.В., Лыжин В.Е., Павлова Е.С., Погоржельская Н.С, Маликова Н.В. Эффективность и проблемы применения ультразвука в технологических линиях пищевой промышленности. // Труды научно-практической конференции «Технологические аспекты комплексной переработки

сельскохозяйственного сырья при производстве экологически безопасных пищевых продуктов общего и специального назначения» (11–14 сентября 2002 года) Россельхозакадемия. – Углич. – 2002 г. – С. 249–252.

17. Беззубов А.Д., Гарлинская Е.И., Фридман В.М. Ультразвук и его применение в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1964. – 196 с.

18. Дідковський В.С., Лейко О.Г., Савін В.Г. Електроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі (розрахунок, проектування, конструювання). Навчальний посібник. – Кіровоград: «Імекс-ЛТД», 2006. – 448 с.

19. Аппараты ультразвуковые. Каталог продукции. – www.u-sonic.ru. – Бийск. – 2008. – 30 с.

20. Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в Химико-технологических процессах (Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии). – М.: Химия, 1983. – 192 с.

21. Перник А.Д. Проблемы кавитации. – Л.: Судостроение, 1988. – 438 с.

22. Хмелев В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве. – Барнаул: изд. АлтГТУ, 1997. – 160 с.

23. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Глав. ред. И. П. Голямина. - М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.

24. Маргулис М.А. Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях). – М.: Химия, 1978. – 174 с.