**III. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА****Берник И. Н.****Винницький  
государственный  
аграрный  
университет****УДК 621.031:664.292****ГИДРОЛИЗ-ЭКСТРАКЦИЯ  
ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ  
РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ**

*Предложен способ повышения эффективности экстрагирования протопектина, целесообразность которого доказана результатами исследований.*

*In the article the process of ultrasonic treatment of the apple pressing out is considered with the use of cylindrical cavitation chambers with emitters on a formative surface. The method of increase of efficiency of extracting of protopectin pectina expedience of which is proved the results of researches is offered.*

Пектин и пектиновые вещества – это растительные полисахариды, которые относятся к биологически активным пищевым добавкам, в международной классификации под номером Е 440. Используются в современных технологиях пищевых производств, а также фармацевтической и медицинской промышленности [1, 2, 3].

Сырьем для производства пектинопродуктов являются отходы консервных заводов по производству соков. Для Украины наиболее распространенным является переработка яблок, при этом выход основного продукта составляет 70%, остальная часть – 30% классифицируется, как отходы и используется на корм скоту. Состав яблочных выжимок характеризуется наличием пектиновых веществ, в форме протопектина в количествах – 2-2,5 раза выше относительно первичного сырья. В связи с чем яблочные выжимки являются основным сырьем для получения пектина и пектиновых веществ в Украине.

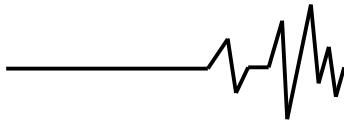
Процесс извлечения пектиновых веществ является довольно сложным и состоит из двух взаимосвязанных стадий: гидролиза протопектина и экстрагирования пектина в раствор. Технологии гидролиза-экстрагирования пектина осуществляются при жестких технологических режимах с использованием химических технологий (кислотный гидролиз: концентрация соляной

кислоты – 1,5%, гидромодуль 1:15, температура 75-90<sup>0</sup> С, в течении 2-3 часов). Процесс характеризуется низкой степенью экстрагирования и нарушением структуры пектина, является вредным и опасным. Кроме того, отработанные растворы минеральных кислот и других гидролизующих агентов, побочные продукты и конденсаты паров являются потенциальными источниками загрязнения окружающей среды.

Поэтому предпочтение в выборе способа гидролиза-экстракции пектиновых веществ должно быть отдано тем из них, которые обеспечат экологическую безопасность и чистоту процесса, с условием сохранения высокого качества продукта.

Экологически чистыми и более эффективными по выходу продукта могут стать технологии в которых используют физические методы обработки пектиносодержащего сырья. В частности к ним относятся роторно-кавитационный [4, 5], эжекторно-кавитационный [6], метод замораживания с последующей дефростацией [7], ультразвуковая обработка и другие – действие которых направлено на повышение скорости молекулярной диффузии пектина в раствор.

Одним из наиболее эффективных способов энергетического воздействия на технологические процессы в жидкостях есть использование акустических колебаний ультразвукового диапазона. При этом влияние



осуществляется как эффектами первого порядка (частота, интенсивность и скорость колебаний), так и эффектов второго порядка (кавитация, акустические течения, пульсация паро-газовых пузырьков и т.д.) [8].

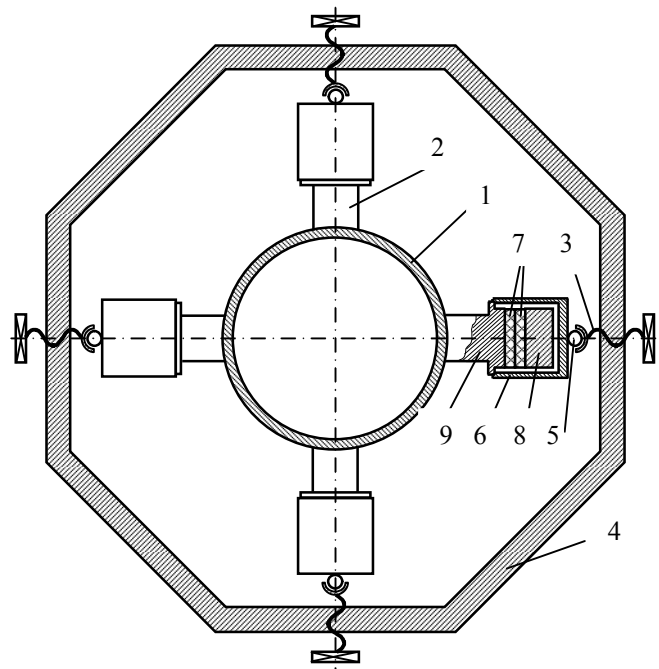
Совершенствование и создание принципиально нового ультразвукового оборудования большой мощности стало возможным в связи с созданием высокоэффективных пьезокерамических материалов [9, 10, 11].

Современные пьезокерамические преобразователи характеризуются в 2 раза большим КПД, в несколько раз меньшими массогабаритными параметрами, отказ от использования систем жидкостного охлаждения в сравнении с магнитострикционными источниками ультразвуковых колебаний. При технологическом применении преобразователь опускается в облучаемый объем либо является конструктивным элементом устройства (дном, стенкой и т.п.).

Экспериментальная установка (рис.1) представляет собою цилиндрическую трубу 1, на образующих поверхностях которой установлены плотно прижатые ультразвуковые излучатели 2 в виде сложенных пьезоэлектрических преобразователей собранные с двух установленных механически последовательно пьезоколец [12]. Ультразвуковые излучатели 2 до трубы 1 прижаты с помощью винтов 3, которые установлены на хомуте 4.

В интенсивной звуковой волне образование кавитационных пузырьков происходит в полупериодах разряжения, а их захлопывание в полупериодах сжатия. При этом кавитационный пузырек, который возникает в полупериоде разряжения, вследствие инерционности жидкости, может не успеть захлопнуться в полупериоде сжатия. Поэтому он только немного уменьшает свой радиус и, совершая, таким образом, пульсирующее движение, может пропустить один или несколько полупериодов сжатия. Происходит, своего рода, накопление энергии в пузырьке с последующим быстрым ее высвобождением при захлопывании. Таким образом, мгновенная мощность, которая высвобождается, значительно превышает среднюю мощность, которую ультразвуковой преобразователь вводит в жидкость. Средняя плотность энергии и удельная мощность, которые соответствуют моменту захлопывания кавитационного пузырька в воде под действием звуковых колебаний, соответственно в  $10^5$  и в

$10^3$  раз превышают параметры волны возбуждения [13].



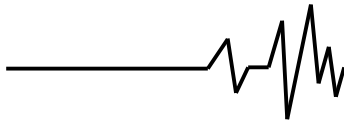
**Рис. 1. Схема ультразвукового цилиндрического кавитационного аппарата:**

1 – труба, 2 – ультразвуковые излучатели, 3 – винт, 4 – хомут, 5 – шар, 6 – стакан, 7 – пьезокольца, 8 – демпфер, 9 – трансформатор скорости

Кавитационные пузырьки образуются из зародышей, в качестве которых в реальной жидкости могут выступать несмачиваемые твердые частички, нерастворенные газы, микротрещины на несмачиваемых твердых, граничащих с жидкостью, поверхностях, а также парогазовые пузырьки, которые инициированы космическими частицами высоких энергий. Наиболее активными зародышами являются самостоятельно существующие парогазовые пузырьки или парогазовые пузырьки, которые находятся в микротрещинах твердых нерастворимых поверхностей.

Инициировать ультразвуковую кавитацию могут только зародыши определенного интервала размеров.

Нижняя граница указанного интервала ограничена размером пузырька, который определяется зависимостью [14]



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

где  $\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения;  $R_0$  - начальный радиус пузырька;  $p_0$  - гидростатическое давление.

Верхняя граница ограничена размерами зародышей, собственная частота которых равна частоте возбуждающей звуковой волны. Резонансный размер зародыша и частота колебаний связаны зависимостью [13]

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

где  $f$  - частота звуковых колебаний;  $R_{\text{рез}}$  - резонансный размер зародыша;  $\gamma_a$  - показатель адиабаты;  $\rho_p$  - плотность невозмущенной жидкости;  $p_a$  - звуковое давление, создаваемое звуковым полем.

С ростом частоты колебаний при неизменных иных условиях уменьшается величина  $R_{\text{рез}}$ , что свидетельствует о снижении вероятности возникновения кавитации на больших частотах вследствие сужения интервала необходимых размеров зародышей. Поэтому при частотах колебаний, которые достигают десятков МГц, ультразвуковая кавитация и, связанные с ней, физико-химические эффекты не наблюдаются.

Кавитация зависит от интенсивности звука, в экспериментах использовали звук интенсивностью 1–2 Вт/см<sup>2</sup>, с частотой 22 кГц.

Целью данной работы является изучение возможности экстракции-гидролиза пектина яблочных выжимок при использовании кавитационных эффектов в ультразвуковых цилиндрических проточных камерах.

Процесс гидролиза-экстрагирования пектиновых веществ в ультразвуковом аппарате определяется такими факторами, как средний размер частиц сырья, гидромодуль, кислотность среды, температура, экспозиция.

Критерием эффективности служил выход пектина В, который определяли по формуле:

$$B = \frac{C}{C_0} \cdot 100$$

где С – количество пектина извлеченного из 100 г сырья,

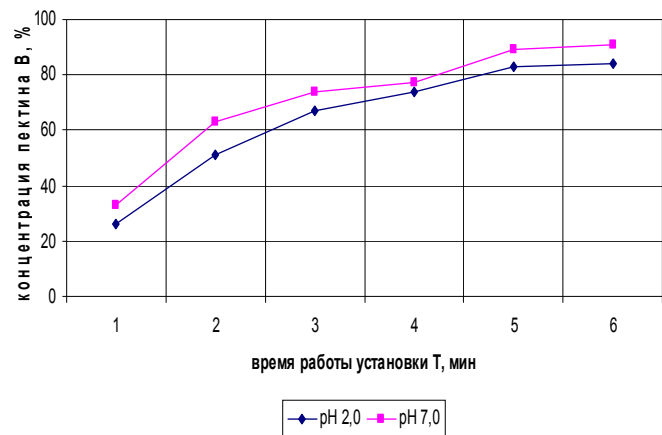
$C_0$  – исходное содержание пектина в 100 г сырья.

Сырье в лабораторных условиях готовили следующим образом. Яблоки разрезали и удаляли семенную камеру. Очищенное сырье измельчали до размеров частиц 2 мм и отжимали сок. Полученные свежие яблонные выжимки сушили в термическом шкафу. Параметры сушки: 5-7 часов, температура не выше 65<sup>0</sup> С. Предложенный режим сушки не вызывает разложения пектиновых веществ.

Исходное содержание пектина определяли по ГОСТ 29059-91. Содержание пектиновых веществ в сухих яблочных выжимках составило 19,5%.

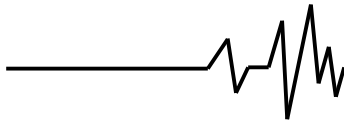
Изучали зависимость выхода пектина при ультразвуковой кавитации от кислотности среды. Кислую среду (рН 2,0) моделировали добавлением определенного количества HNO<sub>3</sub>, нейтральную среду (рН 7), использовали в качестве растворителя дистиллированную воду. Гидромодуль q 1:20, температура Т 40<sup>0</sup>С, пробы экстракта отбирали через каждые 10 минут.

Зависимость выхода пектина из яблочных выжимок в ультразвуковом режиме от кислотности среды представлены на рисунке 2.



**Рис. 2. Зависимость содержания пектина в экстракте от времени работы ультразвукового кавитационного аппарата**

Проведенные исследования показали, что в результате ультразвуковой обработки сырья, процесс гидролиза протопектина и экстрагирования пектиновых веществ в кислой и нейтральной средах имели несущественные различия. Роль гидролизующего агента и экстрагента в данном случае выполняет дистиллированная вода. Согласно



исследованиям Маргулис М.А. [15], кавитация в жидкости сопровождается генерированием свободных радикалов  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}^+$ , а также продуктов их рекомбинации  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ , обладающих сильной окислительной способностью.

Эффективность действия ультразвуковых колебаний на процессы диффузии и экстракции обусловлена рядом специфических факторов, таких как кавитационный эффект, микротоки, звуковое давление. Которые вызывают разрушение предельного слоя и клетки сырья, способствуют повышению диффузионной проницаемости ткани экстрагированного материала и удельной поверхности взаимодействия веществ, обеспечивая тем самым многократное ускорение технологических процессов.

Таким образом, преимуществами предложенного физического метода, а также устройства для экстракции пектина с растительного сырья является повышение скорости протекания процесса, исключение непищевых реагентов из технологической цепи выделения пектина. Важно и то, что при использовании в качестве экстрагирующего агента дистиллированной воды пектиновый экстракт можно рассматривать, как конечный продукт. А отработанные выжимки пригодны для дальнейшего использования.

### Литература

1. Пектин. Производство и применение. / Н.С. Карпович, Л.В. Донченко, В.В. Нелина, В.А. Компанцев, Г.С. Мельник. – К.: Урожай, 1989. – 89 с.
2. Краснова Н.С., Лучина Л.Н. Разработка пектина для лечебно-профилактического питания // Пищевая промышленность. – 1998. – №1. – С. 11-12.
3. Братан Л., Краснова И., Даналаки И. Исследование связывания свинца пектинами различных типов в присутствии растительных полифенолов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. – №1. – С. 38-40
4. Голубев В.Н., Губанов С.Н., Микеладзе О.Г. Роторно-кавитационный аппарат для обработки пектинового сырья // Пищевая промышленность. – 1990. – №9. – С. 30-32.
5. Гидроакустические аппараты при переработке растительного сырья / В.Н. Голубев, А.А. Гаджиева, В.В. Кожухарь, Г.М. Корчиева // Пищевая промышленность. – 1992. – №7. – С. 11-12.
6. Шаззо Р.И., Богус А.М., Запорожец Е.П. Экстрагирование пектина в гидродинамическом аппарате // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1996. – №1. – С. 13-14.
7. А.С. 1589442 СССР Способ получения пектина.
8. Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в Химико-технологических процессах (Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии). – М.: Химия, 1983. – 192 с.
9. Прилипко Ю.С., Салей В.С., Черный В.И., Кулик И.А. Критерии выбора пьезокерамики для источников мощного ультразвука // Наукові праці Донецького НТУ. Серія хімія і хімічна технологія. - 2001. – Вип. 33. - С. 86-92.
10. Прилипко Ю.С., Салей В.С., Пилипенко Н.П. Изучение влияния некоторых физических воздействий на технологические параметры получения пьезоматериалов и электрические свойства пьезокерамики // Наукові праці Донецького НТУ . Серія хімія і хімічна технологія. - 2002. – Вип. 44. - С. 110-119.
11. Салей В.С., Прилипко Ю.С., Пилипенко Н.П., Константинова Т.Е. Влияние обработки ЦТС-порошков ультразвуком, СВЧ-излучением и высоким гидростатическим давлением на свойства пьезокерамики // Фізика і техніка високих давлень. – 2002. - Том. 12. - № 2. - С. 46-51.
12. Патент № UA 55279; 17.03.03, Бюл. № 3; Луговський О.Ф., Чорний В.І., Мовчанюк А.В. Пристрій для ультразвукової обробки рідини в протоці.
13. Кувшинов Г.И., Прохоренко П.П. Акустическая кавитация у твердых поверхностей / Под ред. В.К. Кедринского. – Мн.: Навука і техніка, 1990. – 112 с.
14. Перник А.Д. Проблемы кавитации. – Л.: Судостроение, 1988. – 438 с.
15. Маргулис М.А. Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях). – М.: Химия, 1978. – 174 с.