

## МНОГОЧАСТОТНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МОДУЛЬ ЭКСТРАКЦИИ

**В. Н. Хмелев, С. Н. Цыганок, В. А. Шакура, М. В. Демьяненко**  
Бийский технологический институт  
Филиал ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»,  
г. Бийск

Статья посвящена особенностям конструирования ультразвукового модуля для интенсификации процесса экстракции при помощи одновременного использования разночастотного ультразвукового воздействия и возможностям его применения в составе ультразвуковой технологической линии.

**Ключевые слова:** многочастотный ультразвук, экстракция, технологическая линия, интенсивность, кавитация.

До настоящего времени более половины используемых человеком лекарственных препаратов имеют природное происхождение и получают экстрагированием растительного и животного сырья. При этом, одной из наиболее эффективных (по производительности и качеству получаемых материалов) технологий является экстракция с применением механических колебаний ультразвуковой частоты. В результате многочисленных исследований установлено, что применение ультразвука позволяет ускорить процесс экстракции в 10...1000 раз по сравнению с традиционными методами экстрагирования [1-3].

Поскольку современные производства и потребители требуют все больших производительностей и увеличения выхода полезных веществ в процессе экстрагирования различного сырья, существует постоянная потребность интенсификации процесса. Поскольку очевидный путь повышения эффективности ультразвукового воздействия, связанный с повышением интенсивности вводимых в обрабатываемые среды ультразвуковых колебаний не приемлем из-за возможного разрушения полезных свойств экстрагируемых веществ возникает необходимость поиска иных путей повышения эффективности воздействия для увеличения скорости протекания процесса ультразвукового экстрагирования.

Одним из возможных путей решения проблемы является реализация одновременного воздействия на процесс экстракции ультразвуковыми колебаниями различных частот.

Практическое применение данного эффекта охватывает многие области производства. Один из возможных вариантов – использование многочастотного модуля в линии по производству экстрактов. Данная технологическая линия, помимо многочастотного модуля экстракции, включает в себя несколько узкоспециализированных ультразвуковых технологических аппаратов, позволяющих достичь синергетического эффекта [4].

### **Конструктивные варианты исполнения многочастотного модуля экстракции**

Возможность повышения эффективности одновременного ультразвукового воздействия ультразвуковыми колебаниями различных частот в настоящее время доказана и реализуется на практике при ультразвуковой очистке (мойке). Определенная комбинация одновременно используемых ультразвуковых частот, позволяет существенно повысить эффективность и качество удаления частиц с обрабатываемой поверхности объекта, и ускорить сам процесс [5]. Механизм повышения эффективности связан с одновременной реализацией кавитационных процессов на различных частотах, т.е. с формированием и захлопыванием кавитационных парогазовых пузырей различного размера, создающих различные по мощности и размерам ударные волны и коммутативные струи.

Развитие многочастотного направления ультразвуковой техники началось в 50-х годах 20 века. Оно обуславливалось необходимостью снижения негативных эффектов от

## МНОГОЧАСТОТНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МОДУЛЬ ЭКСТРАКЦИИ

формирования стоячих (стационарных) волн в резервуарах, стремлением увеличить диапазон размеров частиц, удаляемых ультразвуком, в случае ультразвуковой очистки, а так же желанием повысить интенсивность проводимых процессов.

Понимая возможности повышения эффективности многочастотного ультразвукового воздействия можно предположить, что формирование кавитационных пузырей различного размера и их колебания с различной частотой у оснований различных по продольным и поперечным размерам капилляров при экстрагировании растительного сырья с капиллярно – пористой структурой обеспечат существенное ускорение процессов, способствующих экстрагированию.

На практике возможна практическая реализация многочастотного ультразвукового воздействия двумя основными видами многочастотных ультразвуковых аппаратов.

Первый из используемых аппаратов подразумевает одновременное применение нескольких ультразвуковых колебательных систем, каждая из которых работает на своей рабочей частоте и подключен к собственному электронному генератору. На рисунке 1 представлена схема ультразвукового аппарата данного типа, способного работать на трех различных частотах  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$ . Следует отметить, что количество ультразвуковых колеба-

тельных систем и электронных генераторов, а, следовательно, и рабочих частот, не ограничивается примером, представленным на рисунке, и может быть как большим, так и меньшим.

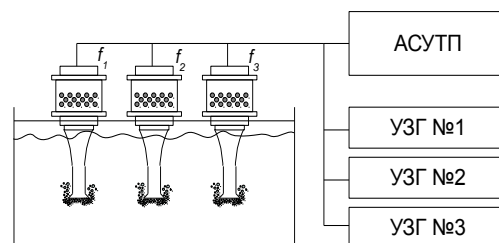


Рисунок 1 – Схема многочастотного ультразвукового аппарата с набором разночастотных ультразвуковых колебательных систем.

На рисунке 2 представлена форма распространяемых в обрабатываемой среде ультразвуковых колебаний, создаваемых многочастотным аппаратом первого варианта исполнения, работающего на трех рабочих частотах [5].

Так же на рисунке 2 показан аддитивный эффект, достигаемый, когда все ультразвуковые колебательные системы работают одновременно.

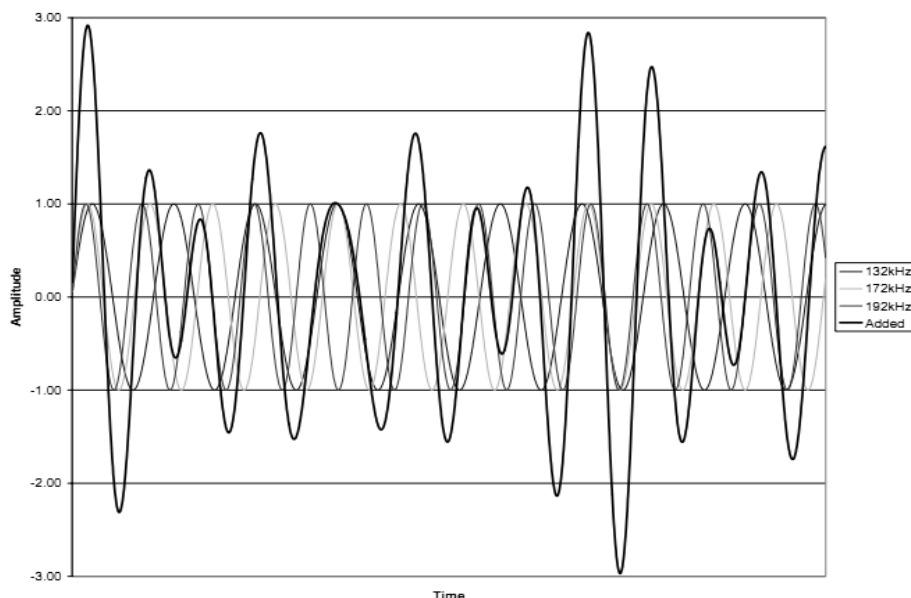


Рисунок 2 – Форма колебаний многочастотного аппарата первого варианта исполнения

К основным недостаткам такого варианта реализации УЗ аппарата следует отнести менее устойчивый процесс кавитации, в сравнении с одночастотными системами той же суммарной мощности, по причине возникновения эффекта интерференции ультразвуковых колебаний различных частот. Кроме того, практическая реализация обуславливает необходимость оборудовать каждую колебательную систему персональным электронным генератором. Это приводит к значительному увеличению издержек на производство, что негативно сказывается на себестоимости.

К преимуществам следует отнести конструктивную простоту исполнения, надежность. Выход из строя одного из комплектов – генератора и ультразвуковой колебательной системы – в данном случае не подразумевает прекращения работы всей установки, а лишь означает некоторое снижение эффективности ее работы.

Второй вариант исполнения подразумевает под собой конструкцию аппарата, ультразвуковая колебательная система которого является универсальной, и способна работать в определенном частотном диапазоне, а электронный генератор, в свою очередь, может быть, либо, так же универсальным, либо состоять из нескольких разночастотных генераторов. Схемы многочастотных ультразвуковых аппаратов приведены на рисунках 3 и 4.

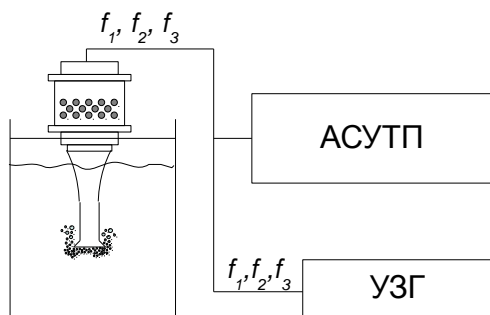


Рисунок 3 – Схема многочастотного ультразвукового аппарата с универсальной ультразвуковой колебательной системой и универсальным генератором

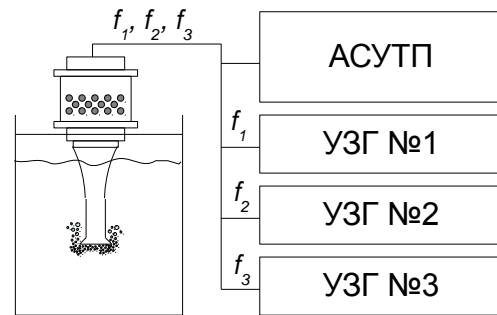


Рисунок 4 – Схема многочастотного ультразвукового аппарата с универсальной ультразвуковой колебательной системой преобразователем и одночастотными генераторами.

На рисунке 5 представлены колебания, формируемые многочастотным аппаратом второго варианта исполнения [5].

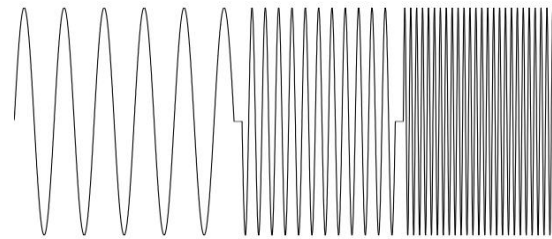


Рисунок 5 – Форма колебаний многочастотного аппарата второго варианта исполнения

Одним из преимуществ использования такого варианта исполнения аппарата, является высокая плотность выдаваемой мощности для каждой отдельной частоты. Аппарат при подобном исполнении будет иметь меньшие габаритные размеры.

Недостатком аппарата является снижение времени ультразвуковой обработки каждой из частот в отдельности, так как при наличии  $n$  частот, время обработки на каждой из них будет определяться по следующей формуле:

$$T_{\text{и}} = T_{\text{обр}} / n, \quad (1)$$

где  $T_{\text{обр}}$  – общее время обработки.

Оба вида предлагаемых ультразвуковых технологических аппаратов могут быть реализованы на основе имеющейся элементной базы разработанных конструктивных и принципиальных схем и созданных практических конструкций пьезоэлектрических колебательных систем.

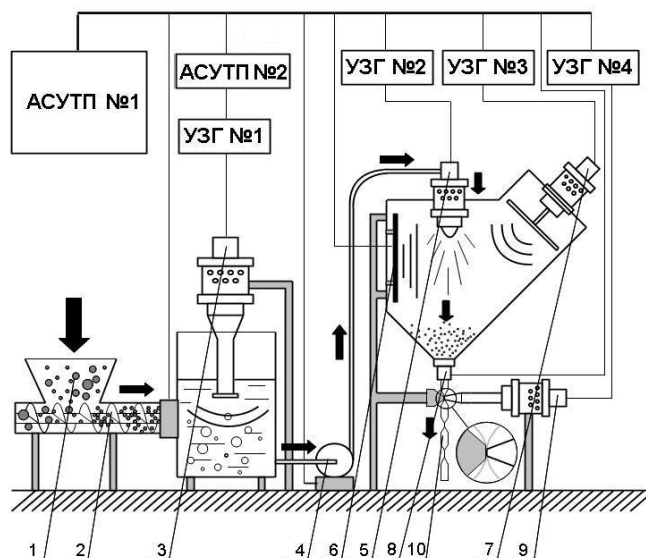


Рисунок 6 – Конструктивная схема линии производства экстрактов с применением ультразвуковых технологий.

#### Многочастотный модуль экстракции в составе технологической линии

Технологическая линия предназначена для экстракции растительного сырья с целью извлечения полезных веществ в порошкообразном или жидком виде, упакованных в герметичную тару. Предполагается, что она будет состоять из различных ультразвуковых аппаратов специализированного назначения и вспомогательного оборудования.

Многочастотный модуль экстракции может выполняться в любом из вариантов рассмотренных ранее. На конструктивной схеме процессе производства экстракта, представленной на рисунке 6, приведен вариант с универсальной ультразвуковой колебательной системой, универсальным генератором и отдельной АСУТП

Растительное сырье вместе с экстрагентом (1), измельчается при помощи шнека (2). Смесь поступает в многочастотный модуль ультразвуковой экстракции (3).

АСУТП модуля анализирует поступающую смесь и среду обработки, затем, на основании полученных данных, предлагает оператору определенный набор частот для обработки, что позволит еще значительно интенсифицировать процесс и повысить качество итогового продукта. Так же возможен выбор позиций из заранее составленного списка соответствий набора частот и параметров среды.

Получаемый жидкий экстракт, содержащий полезные извлеченные вещества, при

помощи насоса (4) подается в колонну для сушки. Аэрозоль создается при помощи ультразвукового распылителя (5). Температура для испарения экстрагента создается и поддерживается нагревателем (6). Для ускорения процесса сушки получаемый аэрозоль находится в знакопеременном акустическом поле, создаваемом ультразвуковым излучателем (7). Получаемый порошкообразный продукт, содержащий полезные извлеченные вещества, поступает в дозатор (8). Упаковка в герметичную тару осуществляется при помощи аппарата для ультразвуковой сварки (9) и получается готовый упакованный продукт (10). Конечный продукт может использоваться в качестве технологического оборудования для перерабатывающей промышленности, например: пищевой, фармацевтической, химической.

Рекомендуемые к использованию в линии технологические аппараты [6] и другие особенности данной линии более подробно рассмотрены в соответствующей статье [4].

#### Заключение

Анализ современного состояния проблем экстрагирования природного сырья и необходимость дальнейшего повышения эффективности процесса экстракции позволил выявить возможность ускорения процесса применением ультразвукового воздействия на нескольких частотах.

Понимание возможных механизмов повышения эффективности процесса при ис-

пользовании колебаний различных частот позволило предложить конструктивные схемы реализации УЗ технологических аппаратов для многочастотного ультразвукового воздействия.

Анализ предложенных схемных решений позволил установить их основные достоинства и недостатки.

Проведенные исследования подтвердили необходимость разработки практических конструкций многочастотного ультразвукового экстрактора, проведение сравнительных экспериментальных исследований для определения экономической целесообразности производственного применения многочастотных ультразвуковых экстракторов, а так же возможность применения многочастотного модуля экстракции в соответствующей технологической линии

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмелев, В. Н., М. Э. Ламберова, Р. В. Барсуков, С. Н. Цыганок, "Создание малогабаритного ультразвукового экстрактора и исследование ме-

тодических особенностей его применения", Общие проблемы естественных и точных наук: региональный аспект, Бийск, НИЦ БигПИ, 1998.

2. Молчанов Ультразвук в фармации. М., Медицина 1980, 176с.

3. Гавинский, Ю. В., А. Н. Мисовец, "Исследование возможности применения ультразвука в фармации", ЗАО "Эвалар", Бийск, pp. 24, 1997.

4. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Шакура В.А., "Линия производства экстрактов с применением ультразвуковых технологий", Южно-Сибирский научный вестник. – 2014. – №1. – С. 111–113. – Режим доступа: [http://s-sibsb.ru/images/articles/2014/1/26\\_111-113.pdf](http://s-sibsb.ru/images/articles/2014/1/26_111-113.pdf)

5. F. John Fuchs, William L. Puskas, "Application of Multiple Frequency Ultrasonics", Blackstone-ney Ultrasonics – 2005.

6. Центр ультразвуковых технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ultrasonic.com>.

**Хмелев Владимир Николаевич – д.т.н. профессор, тел.: (3854) 43-25-70, e-mail: vnh@bti.secna.ru; Цыганок Сергей Николаевич – к.т.н., доцент; Демьяненко Максим Васильевич – аспирант.**