

ВИБРАЦИОННЫЕ ЭКСТРАКТОРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Черный В.Н., Мисюра Т.Г., Попова Н.В., Завьялов В.Л.

Национальный университет пищевых технологий (Украина)

Рассмотрено оборудование, которое относится к экстракционной технике периодического действия и может быть использовано в пищевой и фармацевтической промышленности для извлечения целевых компонентов из измельченного растительного сырья плодово-ягодного, корневого и травяного происхождения. Описаны возможности и особенности различных моделей виброэкстракторов. Обоснована целесообразность использования низкочастотных механических колебаний, как источника создания пульсирующих вибrotурбулизующих знакопеременных гидродинамических струй системы жидкость - твердое тело, для интенсификации извлечения целевых компонентов из растительного сырья.

Ключевые слова: виброэкстрактор, экстрагирование, низкочастотные колебания, массообмен, жидкость-твердое тело.

Масштабы современного пищевого производства на основе экстрактов и существующая проблема наиболее полного извлечения целевых компонентов из растительного сырья требует создания нового экстракционного оборудования, способного углубленно и эффективно ее перерабатывать. Наиболее перспективным в этом отношении являются экстракторы с вибрационной системой перемешивания, которые, в отличие от традиционных, обеспечивают интенсивные гидродинамические условия протекания процесса, способствуют уменьшению внешнего диффузионного сопротивления и приближают активную поверхность взаимодействующих фаз до 100%. Вместе с тем, следует отметить, что широкое использование виброэкстракторов в различных отраслях пищевой, фармацевтической и химической промышленности сдерживается сложностью гидродинамики и недостаточной изученностью их массообменных характеристик, что затрудняет конструирование и масштабирования новых аппаратов.

Работа посвящена обзору наиболее эффективных конструкций виброперемешивающих устройств и на их основе созданию новых виброэкстракторов для рациональной переработки растительного сырья или его отходов.

В основу аппарата [1] поставлена задача создания такой конструкции вибрационного экстрактора, которая обеспечит его пригодность для малотоннажных производств, непрерывное во всем рабочем объеме обновление поверхности фазового контакта системы экстрагент-сырье, возможность подачи пара в рабочий объем экстрактора для предварительной паровой обработки сырья и, как следствие, увеличение производительности по извлечению водорастворимых сухих веществ при производстве экстрактов.

Оригинальность конструкции мембран (выполнение их гибкими и наличие в них транспортировочных каналов) и предусмотренная возможность предварительной гигротермической обработки сырья острым паром непосредственно в рабочем объеме вибрационного экстрактора, а также возможность регулировки в достаточном диапазоне амплитуды и частоты колебаний мембран (от электромеханического привода) обеспечивают высокую интенсивность собственно процесса экстрагирования, сокращают его продолжительность и гарантируют максимально возможное извлечение растворимых компонентов сырья.

В экстракторе возможно осуществлять процесс экстрагирования в двух режимах: с предварительным пропариванием сухого сырья острым паром или без такового. Использование данного вибрационного экстрактора при проведении процессов экстрагирования гарантирует сравнительно увеличенную производительность всего производства экстрактов по водорастворимым целевым компонентам сухого вещества соответствующего растительного сырья.

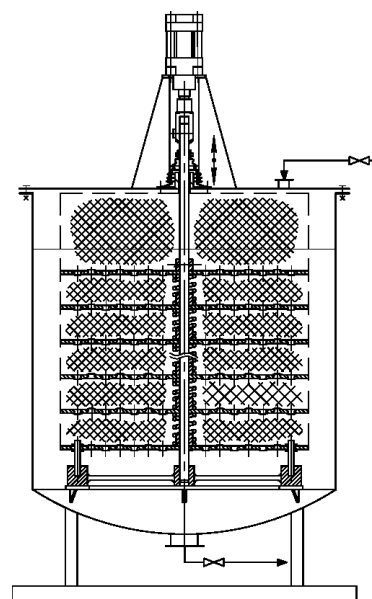


Рис.1. Экстрактор

Недостатками этого аппарата является сложность конструкции и возможность образования застойных зон в рабочем объеме аппарата.

Для следующего экстрактора [2], изображенного на рис. 1, поставлена задача создания такой конструкции экстрактора, которая обеспечит непрерывное во всем рабочем объеме аппарата обновление поверхности фазового контакта системы экстрагент-сырье и обеспечение знакопеременной ее фильтрации, послойное размещение твердого сырья в рабочем объеме, а также создание эффекта его промежуточного отжима и, как следствие, - увеличение производительности аппарата и глубины извлечения водорастворимых сухих веществ. Поставленная задача решается тем, что экстрактор содержит цилиндрический корпус с крышкой и виброприводом, штуцеры ввода экстрагента и вывода экстракта и сетчатый контейнер, выполненный в виде фиксированного цилиндра, в котором содержится набор тарелок с конусными разнонаправленными элементами - соплами, верхняя и нижняя из которых закреплены через верхний и нижний фланцы с вибрирующим штоком и опорой, а внутренние тарелки дистанционированы между собой демпферами.

За счет дистанционного размещения промежуточных тарелок, установленных в рабочей зоне аппарата между крайними - верхней и нижней, через втулки в виде демпферов (пружин), и ограничения рабочей зоны недвижимым сетчатым контейнером обеспечивается возможность увеличения одноразовой загрузки твердой фазой рабочего объема аппарата с послойным её разделением и промежуточным отжимом с омытием частиц твердой фазы пульсирующими струями экстрагента, генерируемыми конусными элементами тарелок и знакопеременными потоками экстрагента, что фильтруется через полупроницаемую фильтровальную поверхность сетчатого контейнера, как следствие, будет происходить активизация внутреннего (молекулярного) и внешнего (конвективного) массопереноса.

Еще один пример вибрационного экстрактора [3], у которого мембраны выполнены гибкими и коаксиально закрепленными на вибрирующем штоке, а по периметру зафиксированными на неподвижных стойках и размещенными во внутреннем сетчатом корпусе. Паровая оболочка корпуса оборудована паровыми коллекторами с патрубками, выполненными в виде сопел, обеспечивает возможность подачи пара в рабочий объем экстрактора для предварительной гигротермической обработки сырья.

Созданная такая конструкция экстрактора, которая обеспечит непрерывное во всем рабочем объеме аппарата обновление поверхности фазового контакта системы экстрагент - сырье, и, как следствие, увеличение производительности по извлечению водорастворимых сухих веществ при производстве экстрактов и возможность использования экстрактора в малотоннажных производствах.

При возвратно-поступательном движении верхней части контейнера созданные турбулентные пульсирующие потоки, направленные как к периферии аппарата, так и к центральной его части, устраняют застойные зоны и способствуют интенсификации процесса экстрагирования на микро и макроуровне. Оригинальность конструкции контейнера (способность сжиматься по вертикальной оси благодаря его гибкости), а также возможность регулировки в достаточном диапазоне амплитуды и частоты колебаний обеспечивают высокую интенсивность процесса экстрагирования и сокращение его длительности. Использование данного экстрактора при проведении процессов экстрагирования обеспечивает сравнительно увеличенную производительность производства экстрактов по извлеченным целевым компонентам из растительного сырья.

Недостатком этого аппарата является неравномерность перемешивания рабочей среды в объеме аппарата и, как следствие, различные скорости обновления поверхности контакта фаз и невозможность промежуточного отжима растительного сырья в рабочем объеме аппарата.

Экстрактор [4] имеет такую конструкцию аппарата, которая обеспечит непрерывное во всем рабочем объеме аппарата обновление поверхности фазового контакта системы экстрагент — сырье и обеспечение фильтрации экстрагента через полупроницаемую для системы поверхность основного рабочего узла, а также создание эффекта промежуточного отжима растительного сырья и, как следствие, — увеличение производительности по изъятию водорастворимых сухих веществ.

Виброэкстрактор содержит цилиндрический корпус с крышкой и виброприводом, штуцеры ввода экстрагента и вывода экстракта и проницаемый для экстрагента контейнер - основной рабочий узел экстрактора. Контейнер выполнен гибким в виде сплошной проницаемой для экстрагента поверхности, закрепленной на верхнем и нижнем фланцах, и с вибрирующим штоком, соединенным с верхним фланцем. В этом аппарате также присутствует возвратно-поступательное движение верхней части контейнера (с определенными частотой и амплитудой) с созданием турбулентных пульсирующих потоков. При этом создается двустороннее фильтрование с эффектом отжимания

сырья. Оригинальность конструкции контейнера, а именно свойств его поверхности и ее способность сжиматься по вертикальной оси благодаря гибкости, а также возможность регулирования в необходимых интервалах амплитуды и частоты колебаний его проницаемой для экстрагента поверхности обеспечивают сравнительно высокую интенсивность процесса экстрагирования и сокращение его длительности.

Недостатком этого виброэкстрактора, его процессно-аппаратурных показателей, является отсутствие возможности создавать и поддерживать в рабочем объеме аппарата условия разрежения и заданные термодинамические параметры во время извлечения. Также - низкая производительность по твердой фазе, неравномерность диссипации энергии в поперечном сечении аппарата и незначительное влияние колебательных эффектов мембран на внутренний массоперенос - молекулярную диффузию. А промежуточный отжим является неравномерным по всей высоте контейнера и влияние на внутреннюю морфологическую структуру растительного сырья.

В основу модели [5] поставлена задача создания такой конструкции экстрактора, которая позволит максимально повлиять на коэффициент внутренней диффузии, что значительно ускорит процесс экстрагирования на наиболее медленной стадии. Поставленная задача решается тем, что колебательный механизм обеспечивает сложное оборотно-поступательное движение верхнего фланца контейнера.

Колебательное движение по кругу с одновременными возвратно-поступательными движениями контейнера "вверх-вниз" (с определенными частотой и амплитудой) создает турбулентное движение экстрагента, что обеспечивает интенсивное перемешивание сырья, во время которого не происходит вторая и третья стадия диффузного процесса, а коэффициент конвективной диффузии возрастает до бесконечности, то есть конвективный массоперенос происходит мгновенно, а как следствие, значительно ускоряется процесс экстрагирования с максимальным извлечением целевых компонентов. Угол поворота верхнего диска вместе с контейнером определяется амплитудой колебаний приводной вибросистемы. Вместе с тем, колебательное движение по кругу верхней части контейнера приводит к увеличению продуктивности аппарата по твердой фазе и к перемешиванию и измельчению растительного сырья. Такое сложное движение позволяет повысить эффект промежуточного отжима сырья.

Таким образом, при проведении процесса экстрагирования использование колебательного механизма обеспечивает сложное возвратно-поступательное движение контейнера, позволит создать движение контейнера аппарата (основного узла) по кругу "слева направо" и "справа налево" с одновременными соответствующими обратными поступательными движениями "вверх-вниз", чтобы обеспечить турбулентное движение экстрагента с интенсивным перемешиванием сырья.

Аппарат (рис.2) обеспечивает комбинированные физические эффекты, одновременно активизирующие внешнюю и внутреннюю диффузию - массопереноса внутри частиц твердой фазы к поверхности контакта фаз, с конечной целью обеспечения интенсивной непрерывности внутренних и внешних диффузных потоков экстрактивных веществ и углубленного их извлечения из сырья [6].

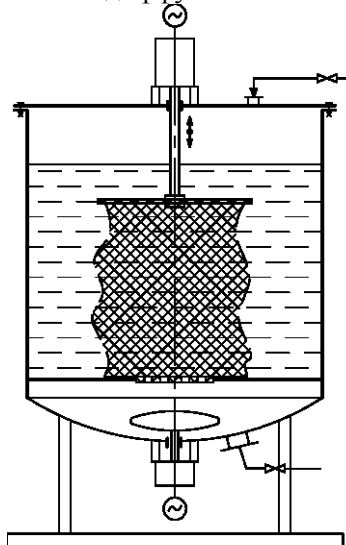


Рис.2. Вакуум-виброэкстрактор периодического действия с комбинированным

Поставленная задача решается тем, что вибрационный экстрактор периодического действия с комбинированным энергоподведением содержит цилиндрический корпус с виброприводом, соединенным с гибким, проницаемым для экстрагента контейнером. Согласно изобретению в рабочем объеме корпуса дополнительно размещено высокочастотный излучатель.

В конструкции экстрактора одновременно реализуется наложение поля низкочастотных механических колебаний на рабочую среду механическим виброустройством (тарелкой с отверстиями и соединенным с ней контейнером через электромеханический привод) и поля высокочастотных механических колебаний от электромеханического излучателя. Техническим результатом предусмотрено повышение эффективности по обеспечению внутреннего структурного массопереноса в объеме частиц сырья и уменьшение потерь целевых компонентов в проэкстрагованной твердой фазе.

Недостатком этого виброэкстрактора, его процессно-аппаратурных показателей, является отсутствие возможности создавать и поддерживать в рабочем объеме аппарата условия

разрежения во время извлечения. Отсутствие разрежения в аппарате не обеспечивает проведение процесса при пониженных температурах, что влечет за собой уменьшение выхода из сырья растворимых компонентов и снижения качественных показателей экстракта.

Аппарат [7] имеет конструкцию, которая будет обеспечивать применение большего количества перечисленных физических эффектов, которые в комбинации, при их использовании во время работы аппарата, будут активизировать внешнюю и внутреннюю диффузию - массоперенос внутри частиц твердой фазы к поверхности контакта фаз с конечной целью обеспечения интенсивной непрерывности внутренних и внешних диффузных потоков экстрактивных веществ и углубленного их извлечения из сырья и, одновременно, возможность работы аппарата в режиме выпаривания (сгущения) экстракта.

Вакуум-виброэкстрактор периодического действия дополнительно оснащен внешним вакуумированным циркуляционным контуром, который состоит из барометрической трубки, соединяющей рабочий объем аппарата с испарительным устройством, имеет обводной контур и паровую камеру, соединенные со сборником конденсата через конденсатор, и регулировочных кранов.

Вакуум-виброэкстрактор периодического действия с дефлегмацией [8] дополнительно оснащен нагревательной оболочкой и электронагревателем, которые обеспечивают температурный режим процесса, и внешним вакуумированным циркуляционным контуром, который состоит из насадочной колонны, которая обеспечивает улавливание легколетучих компонентов, соединенной с дефлегматором и далее с конденсатором и сборником дистиллята с возможностью поддержания разрежения. В конструкции экстрактора реализуется влияние на рабочую среду таких физических эффектов: вибрации и разрежения с последующей возможностью концентрирования и отвода из аппарата экстрагента и сконденсированных ароматических веществ, что приведет к увеличению глубины и количества извлеченных из сырья целевых компонентов и повышению качественных показателей экстракта.

Экстрагирования в виброэкстракторах является сравнительно новым технологическим процессом, общая его теория сложная и находится в начале своего развития. За последние годы на кафедре процессов и аппаратов пищевых производств НУПТ приобретено более глубоких представлений о кинетике и механизме вибрационного способа интенсификации массообменных процессов и, в частности, процесса экстрагирования сырья растительного происхождения, дает основание для практического внедрения полученных результатов в различные отрасли АПК Украины.

Литература

1. Пат. 14515 України на корисну модель, МПК В01D11/02. Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В.Л., Бодров В. С., Попова Н.В., Мисюра Т.Г. — № U200511361; заявл.30.11.05; опубл. 15.05.06, Бюл.№5.
2. Пат. 125025 України на корисну модель, МПК В01D 11/02(2006.01). Екстрактор / Зав'ялов В. Л., Мисюра Т. Г., Попова Н. В. — № u 201711976; заявл. 06.12.17; опубл. 25.04.18, Бюл. № 8
3. Пат. 85436 Україна, МПК В 01 D 11/02. Екстрактор / Зав'ялов В. Л., Попова Н. В. — № а 2007 03027; заявл. 22.03.07; опубл. 26.01.09, Бюл. № 2.
4. Пат. 99991 України МПК В01D11/02 (2006.01). Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В.Л., Бодров В.С., Попова Н. В., Мисюра Т.Г., Варганова І.В., Мілютін О.І. № а201112896; опубл.25.10.12, Бюл.№20.
5. Пат. 123314 Україна, МПК С12G 3/06 (2006.01). Екстрактор / Зав'ялов В.Л., Мисюра Т.Г., Попова Н. В., Рибачок А. В., Чорний В.М. — № u 201708118; заявл. 04.08.17; опубл. 26.02.18, бюл. №4
6. Пат. 103838 Україна, МПК В01D 11/02 (2006.01). Вібраційний екстрактор періодичної дії з комбінованим енергопідведенням / Зав'ялов В. Л., Мисюра Т.Г., Деканський В. Є., Попова Н. В., Бодров В. С., Запорожець Ю. В. — № а 2012 08141; заявл. 03.07.12; опубл. 25.11.13, Бюл. № 22.
7. Пат. 113085 Україна, МПК В 01 D 11/02 (2006.01). Вакуум-віброекстрактор періодичної дії з комбінованим енергопідведенням / Зав'ялов В.Л., Мисюра Т.Г., Бодров В.С. Попова Н. В., Запорожець Ю.В., Деканський В.Є — № а 2014 11977; заявл. 05.11.14; опубл. 12.12.16, Бюл. № 23
8. Пат. 131658 України на корисну модель, МПК В01D 11/02(2006.01). Вакуум-віброекстрактор періодичної дії з дефлегмацією / Зав'ялов В. Л., Мисюра Т. Г., Попова Н. В., Рибачок А. В. — № u 2018 07954; заявл. 17.07.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл.№ 2