

УДК 664.1.033

ЭКСТРАКТОР ДЛЯ МАЛОТОННАЖНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Поперечный А.Н., д-р техн. наук, проф., Боровков С.А., канд. техн. наук
Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского,
г. Донецк

Предложен экстрактор для малотоннажных пищевых производств, в котором интенсификация процесса экстрагирования осуществляется применением вибрации. Конструкция аппарата позволяет использовать легколетучие экстрагенты. В статье приведены некоторые предварительные расчеты конструкции экстрактора.

Developed extractor for small tonnage production of food. The intensification of the extraction process is carried out using vibration. Design of the device allows the use of highly volatile solvents. Some preliminary design calculations extractor.

Ключевые слова: экстрагирование, массообмен, интенсификация, экстрактор, растительное сырье, вибрация, колебания.

Аппараты для экстрагирования в системе "твердое тело - жидкость" используются на пищевых производствах для получения экстрактов из растительного и животного сырья, например, пряностей из пряных растений, дубильных, ароматических и красящих веществ из чая и кофе, сахара из свеклы, масла из семян подсолнечника и другое. Существуют шнековые, ленточные, цепные, ковшовые, барабанные, ротационные и другие экстракторы непрерывного действия [1,2]. Однако эти экстракторы имеют большую производительность, энергоемки и материалоемки. Например, ротационный экстрактор РДА-58, используемый для извлечения сахарозы из свекловичной стружки, имеет производительность 2500 т в сутки, привод мощностью 68 кВт, длину около 41 м и массу 330 тонн. Удельная материалоемкость этого экстрактора на 100 тонн свеклы в сутки составляет 13200 кг [3]. В нем цилиндрический барабан двумя бандажами опирается на ролики и с помощью зубчатого венца на барабане и шестерни, закрепленной на редукторе привода, вращается вокруг горизонтальной оси. На внутренней поверхности барабана перфорированные перегородки и шнекоподобная широкая полоса, противоточно перемещающие экстрагент и стружку.

У этого аппарата есть ряд конструктивных и технологических недостатков:

- громоздкость;
- трудность поддержания теплового режима;
- малый коэффициент использования объема барабана (на 1/3 и менее);
- отсутствие универсальности для использования в различных пищевых производствах;
- конструктивная сложность опорно-приводной станции и сложность в эксплуатации;
- высокая производительность, что не позволяет использование в ликероводочном, сокоэкстрактном, ферментном, фармацевтическом и других малотоннажных производствах.

Таким образом, возникает задача создания универсального экстракционного аппарата непрерывного действия средней производительности с сокращенным сроком продолжительности процесса.

Исследования показали, что применение вибрации ведет к наиболее существенному ускорению экстрагирования [4,5]. Вибрационное воздействие, передаваемое от корпуса аппарата через экстрагент растительному сырью, интенсифицирует процесс массообмена за счет инерционных сил, ускорения миграции переносимого вещества и турбулизации пограничного слоя.

С учетом вышеизложенных предпосылок представляется возможность создания аппарата, который позволит сократить продолжительность экстрагирования за счет применения в процессе вибрационного воздействия. Как показывают исследования применение динамических воздействий, в особенности вибрационных, позволяет ускорить процесс экстрагирования и увеличить полноту извлечения целевого компонента из твердого сырья к экстракту.

Целью работы является создание вибрационного экстрактора непрерывного действия для извлечения из растительного сырья с возможностью применения легколетучих экстрагентов и разработки методики его расчета.

Поставленная задача была решена на кафедре оборудования пищевых производств где была разработана модель экстрактора [6], в которой барабан в виде горизонтального усеченного конуса с закрепленным на внутренней поверхности спиральным перфорированным желобом, совершает регулируемые кру-

говые колебания, а экстрагент и твердое сырье перемещаются в нем противоточно. Принципиальная схема экстрактора приведена на рис. 1.

Вибрационный экстрактор включает рабочий орган - барабан, выполненный виде горизонтально расположенного усеченного конуса 5, закрытого с противоположных сторон торцевыми крышками 3 и 11. Крышка 11 имеет цилиндрическую полость с отверстиями и патрубком 12 отвода готового экстракта. Через центральное цилиндрическое отверстие крышки 11 в аппарат введен патрубок 10 подачи твердого сырья, количество которого регулируется с помощью питателя (шлюзового затвора) 9. Через центральное цилиндрическое отверстие крышки 3 вводится труба подачи экстрагента 2 и отводится отработанное твердое сырье (отходы) в емкость - бункер 1. На внутренней поверхности рабочего органа 5 закреплен спиральный перфорированный желоб 4 с определенным углом подъема витков, зависящим от длительности процесса экстрагирования. Рабочий орган аппарата 5 с помощью двух фланцев 18 жестко связан с вибраторами 16 через шатуны 17. Через фланцы 18 рабочий орган находится в центре опорного кольца 7 с гнездами 6 для пружин 8, опорное кольцо 7 с помощью сварки, через четыре ребра 19 крепится к фундаментной плите 20. На фундаментной плите 20 закреплен электродвигатель 14, вал которого соединен с вибраторами гибкой связью 13. Ось вала вибраторов параллельна продольной оси корпуса экстрактора, дебалансы 15 закреплены на валу без относительного углового смещения. При таком использовании вибраторов рабочий орган осуществляет в своей поперечной плоскости колебания, которые можно рассматривать состоящими из линейных перемещений вдоль координатных осей и углового перемещения вокруг центра тяжести колеблющейся системы, то есть круговое поступательное движение.

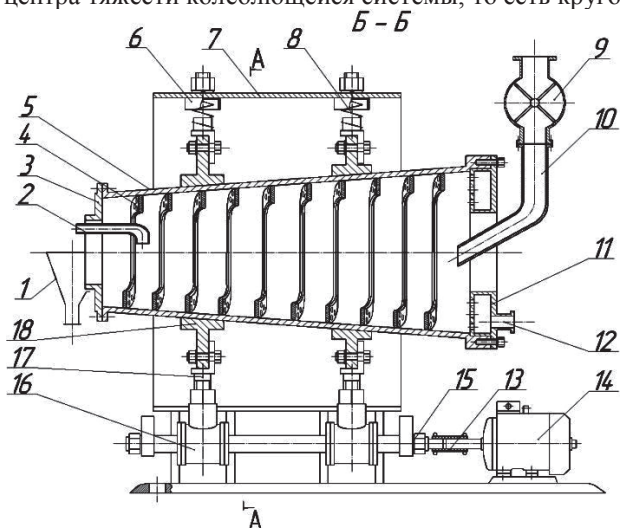


Рис. 1 – Вибрационный экстрактор

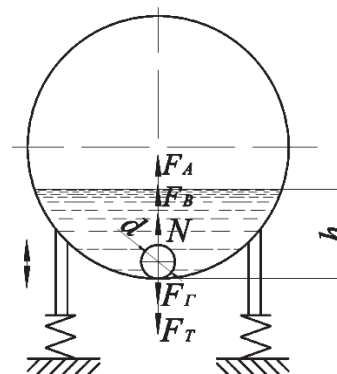


Рис. 2 – Схема сил, действующих на частицу сырья в начальный момент времени

Твердые частицы сырья, из которого экстрагируют целевые компоненты, при этом будут двигаться по поверхности рабочего органа, а благодаря спиральной перфорированной вставке – вдоль продольной оси аппарата. Противоточно, благодаря конусности рабочего органа, движется экстрагент.

При использовании испаряющихся экстрагентов, например, бензина, водно-спиртовой смеси, кипящей воды и т.д., вибрационный экстрактор может быть выполнен герметично. При этом торцевые крышки 3 и 11 соединяются с окружающей средой (внешними подводами и отводами) упругими резиновыми герметизаторами и шлюзовыми затворами.

Работает вибрационный экстрактор следующим образом.

В аппарат через питатель 9 по патрубку 10 загружается твердое сырье, а через трубу 2 подается соответствующий экстрагент. При запуске электродвигателя начинают вращение приводной вал и дебалансы 15. Центробежные силы, создаваемые вращающимися дебалансами 15 через подшипники и шатуны 17 создают круговую вибрацию барабана в вертикальной плоскости. Вибрационное и круговое поступательное движение рабочего органа вызывает появление сил, которые непрерывно перемещают сырье определенным слоем по спиральному перфорированному желобу 4. При этом каждая частица в слое движется по сложной пространственной траектории, обеспечивающей ее интенсивный контакт с экстрагентом. Колебания рабочего органа приводят к турбулизации пограничных пленок на границе раздела

твердой и жидкой фаз, то есть интенсифицируют перенос вещества. В итоге из правой части экстрактора через крышку 11 и патрубок 12 получают экстракт, а с левой через крышку 3 - остаток твердого материала, который почти не содержит целевых компонентов.

Предложенная конструкция вибрационного экстрактора имеет следующие преимущества:

- простота конструктивного устройства и эксплуатации;
- позволяет ускорить процесс экстрагирования;
- позволяет вести процесс непрерывно в малотоннажных производствах;
- универсальность использования в различных отраслях пищевой промышленности, фармацевтике и химической технологии.

Рассмотрим теоретические предпосылки осуществления процесса экстрагирования в предлагаемой конструкции экстрактора и получения исходных данных для его конструирования. Критериальную зависимость для расчета коэффициентов массоотдачи между фазами в потоке при вынужденном движении среды в основном представляют в виде [7] диффузионного критерия Нуссельта. Конкретный вид критериального уравнения массопереноса для расчета коэффициента массоотдачи от частиц растительного сырья можно представить как [2]: $Nu' = 3,8 \cdot 10^{-4} \cdot Re^{1,38} \cdot Pr'$. Значительная трудность при расчете коэффициента массоотдачи в вибрационных процессах возникает при определении числа Re . Некоторые исследователи приводят значение вибрационного критерия, в котором скорость определяется формулой [8]:

$v = \frac{2\pi Af}{\sqrt{2}}$. На наш взгляд, недостатком этой формулы является отсутствие в ней геометрических параметров вибрационной системы.

В работе Лободы [9] предложена формула определения этой скорости, как определяющего параметра объединяющего амплитуду, частоту колебаний и относительные размеры рабочего органа и аппарата. Автор ввел понятие "средней за период скорости пульсирующих потоков, создаваемых вибрирующим рабочим органом", которая может быть определена формулой $v = \frac{Afp}{30\varepsilon}$, где

A – амплитуда колебаний, м; f – частота колебаний, 1/мин; p – отношение поверхности рабочего органа к поверхности поперечного сечения аппарата; ε – живое сечение аппарата в месте установки рабочего органа, %. Однако, в реальных условиях вибрационный критерий Рейнольдса может использоваться для расчета только в узкой пристенной зоне. В нашем случае характер движения среды с частицами растительного сырья будет определяться спиральным перфорированным желобом емкости барабана вибрирующего экстрактора.

Для определения этой скорости рассмотрим упрощенное движение частицы растительного сырья внутри горизонтального цилиндрического аппарата в процессе вибрации при следующих допущениях: частица имеет шарообразную форму диаметром d и однородную плотность ρ_c . Пусть частица в начальный момент времени расположена в нижней части сосуда (рис. 2), где F_A – сила Архимеда; F_T – сила тяжести; F_r – сила гидростатического давления; F_B – вибрационная сила; N – сила нормального давления; h – высота столба жидкости в аппарате. Сосуд совершает гармонические вибрационные колебания по нормальному закону. В литературе [10] рассматривается вопрос о движении шарообразной частицы в вибрирующей жидкости. В нашем случае имеет место не столько вибрирующая жидкость, как вибрирующий орган экстрактора, что передает колебания слоя частиц растительного сырья.

Для расчета воспользовались методом интегральных балансов. Таким образом время отрыва частицы от дна сосуда $t_0 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{g}{A\omega^2}$. После отрыва частицы от дна сосуда она начинает двигаться в жидкости вверх. Во время полной остановки частицы t , сумма моментов импульсов будет равна 0.

Для шарообразной частицы, движущейся в вязкой жидкости по произвольному закону, сила трения является функцией времени. Согласно уравнению, полученному для тела, начинает двигаться в момент времени t_0 равноускоренно (или равнозамедленно) по закону $v = at$ (где a - ускорение), она будет равна

[8] $F_{TP} = 6\pi\mu \frac{d}{2} v \left(1 + \sqrt{\frac{d^2 \rho_c}{4\pi\mu_c t_1}} \right)$. Определив t_1 найдем высоту подъема частицы относительно дна сосуда

$z: z = \int_0^{t_1} (v_1 - gt) dt = v_1 t_1 - \frac{gt_1^2}{2}$. После остановки тело начнет двигаться вниз по закону Стокса-Озена. На него будут действовать силы сопротивления среды и сила тяжести. Получаем [8]:

$$mgz = -3\pi\mu d \left(1 + \frac{3gtd}{16v} \right) gz + \frac{m(gt)^2}{2};$$

$$\frac{1}{6}d^2(\rho_q - \rho_c)gz = -3\nu\rho_c\left(1 + \frac{gt_0d}{16\nu}\right)gt_0z + \frac{1}{6}d^2(\rho_q - \rho_c)\frac{g^2t_0^2}{2}.$$

Находим время опускания частицы t_2 . Таким образом, средняя скорость частицы определится как

$$\bar{v} = \frac{2z}{t_1 + t_2}.$$

Присоединенная масса движущейся среды вместе с частицей, для шара составляет [10]:

$$m_0 = \frac{1}{12}\pi\rho_c d^3.$$

С учетом приобращенных масс среды скорость движения частицы в среде при жидкостном коэффициенте

$$K_p = \frac{V_c}{V_q} \leq 3,$$

где V_c, V_q – объемы соответственно среды и частиц, m^3 .

При наличии значительного количества частиц, расположенных на цилиндрическом дне рабочего органа вибрационного экстрактора, они будут вылетать под разными углами по отношению к вертикальной оси емкости и ударяться о ее стенки и между собой.

Скорость движения этих частиц в рабочем органе экстрактора в первом приближении можно рассчитать исходя из рассматриваемой нами методики. Таким образом, получаем возможность рассчитать вибрационный критерий Рейнольдса и воспользовавшись критериальным уравнением (2) рассчитать процесс массопереноса при экстрагировании в системе «твердое тело – жидкость».

Нами рассмотрено теоретическое обоснование поведения шарообразной одинокой частицы, экстрагируемой жидкостью. Обычно частицы растительного сырья не имеют форму шара. Поэтому выведенные нами уравнения нуждаются в поправке, которая может быть выражена коэффициентом формы.

Поскольку в реальных условиях наблюдается экстрагирование дисперсной фазы (растительного сырья) значительной концентрации, характеризующееся трением между частицами и их взаимными (обоюдными) столкновениями, то это обстоятельство необходимо также учитывать соответствующим коэффициентом. Определение величины этого коэффициента возможно только на основании опытных (экспериментальных) данных.

Предложенная конструкция виброэкстрактора непрерывного действия и теоретические предпосылки расчета его основных технологических и конструктивных параметров. Перспективы дальнейших исследований – разработка конструкторской документации на экстрактор и изготовление пилотной установки.

Литература

1. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник [Текст] / За ред. проф. І.Ф. Малежика. – К.: НУХТ, 2003. – 400 с.
2. Плаксин, Ю. М. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] / Ю. М. Плаксин, Н. Н. Малахов В. А. Ларин. – М.: Колос, 2005. – 706с.
3. Гребенюк, С.М. Технологическое оборудование сахарных заводов [Текст] / С.М. Гребенюк, Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, К.И. Виноградов. – М.: КолосС, 2007. – 520с.
4. Поперечний, А.М. До питання інтенсифікації процесу екстрагування в системі «тверде тіло – рідина» [Текст] / А.М. Поперечний, С.О. Боровков // Обладнання та технології харчових виробництв: Темат. зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2007.– Вип. 16.– С. 104-109.
5. Поперечний, А.М. Обґрунтування створення вібраційного екстракційного апарату безперервної дії [Текст] / А.М. Поперечний, С.О. Боровков // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2008. №87.-С.332-341.
6. Пат. 32703 Україна, МПК В04С 5/00. Вібраційний екстрактор [Текст] / А.М. Поперечний, С.О. Боровков, Д.В. Чибиньов (Україна). - № u2008 00668; Заявлено 21.01.08; Опубл. 26.05.2008; Бюл. №10.- 4с.
7. Черевко, О.І. Процеси і апарати харчових виробництв [Текст] / О.І. Черевко, А.М. Поперечний // Підручник. Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. – Харків, 2002. – 420 с.
8. Лимонов, Г.Е. К расчету тепло- и массообменных процессов в жидкой среде при вибрации [Текст] / Г.Е. Лимонов, М.Б. Шерман, И.В. Зенкин // Мясная индустрия СССР, 1986, №10 37-39.
9. Лобода, П.П. Исследование массоотдачи от твердых тел к жидкости в аппаратах с вибрирующими устройствами [Текст]: Автореф. дис... канд. техн. наук / КТИПП. – К., 1966.- 24 с.
10. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти томах [Текст] - М.: Машиностроение 1981.- т.4 Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела. 1981.- 509с.