

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

© 2009 В.Я. Мищенко¹, Е.В. Мищенко²

¹ Курский государственный технический университет

² Орловский государственный аграрный университет

Поступила в редакцию 16.11.2009

Рассматривается вопрос интенсификации процесса экстракции пектиновых веществ путем вибрационного воздействия на рабочую среду. Приведена математическая модель процесса экстракции.

Ключевые слова: *вибрация, математическая модель, пектин, растительное сырье, перемешивание, экстракция*

Тяжелая экологическая обстановка, вызванная загрязнением окружающей среды отходами химических и микробиологических производств, наличие в ряде регионов повышенного радиоактивного фона, широкое внедрение в медицину, ветеринарию и пищевые отрасли антибиотиков привели к снижению сопротивляемости организма к вредным факторам. Специалисты и потребители многих стран одним из условий поддержания здоровья, работоспособности и долголетия людей считают необходимым переход к функциональному питанию, т.е. к потреблению продуктов с измененным составом. Одним из важнейших направлений для решения этой задачи является получение пектина. Наиболее ценным является пектин, получаемый из свекловичного жома. Пектин из свекловичного жома показывает наиболее высокую способность комплексообразования, т.е. связывание солей тяжелых металлов и радионуклидов. Такие пектины обладают более высокой, чем яблочные и цитрусовые, способностью взаимодействовать с ионами металлов и выводить из организма человека ионы тяжелых металлов и радионуклиды, а также сорбировать и выводить из организма биогенные токсины, анаболики, ксенобиотики, продукты метаболизма и биологически вредные вещества, способные накапливаться в организме (холестерин, желчные кислоты, мочевины, продукты тучных клеток). В настоящее время в России пектин в промышленном масштабе не производится, что обусловлено низкой рентабельностью

хотя годовая потребность только для пищевых целей составляет более 7 тыс. тонн. По данным Минздрава РФ расчетная суммарная потребность в медицинском пектине только для профессионалов, имеющих контакт с тяжелыми металлами и населения, проживающего в загрязненных выбросами тяжелых металлов (свинец, ртуть) городах, составляет около 90 тыс. тонн в год. Поэтому проблема создания научно обоснованного, экологически безопасного производства пектина из жома сахарной свеклы является чрезвычайно актуальной. Такое производство позволит также осуществлять более полную переработку свекловичного жома, что благоприятно скажется на окружающей обстановке, т.к. сроки хранения свекловичного жома довольно малы, что приводит к возникновению больших экологических проблем.

Основным процессом при получении пектиновых веществ из растительного сырья является экстракция. В тоже время теоретические основы этого процесса в настоящее время изучены недостаточно. Отсутствует комплексная модель процесса, учитывающая как мембранные свойства оболочки растительного сырья, так и возможности управляемой экстракции. Экстрагированием называется извлечение одного или нескольких компонентов из твердого тела с помощью растворителя, обладающего избирательной способностью растворять только те целевые компоненты, которые необходимо выделить. Процесс экстрагирования связан с переносом вещества в каждой из фаз и из одной фазы в другую.

В настоящее время становится актуальной задача интенсификации существующих технологических процессов. Интенсификация заключается в ускорении и более полном использовании взаимодействующих веществ. Для того чтобы оценить влияние различных факторов на отдельные стадии процесса экс-

Мищенко Владимир Яковлевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и мехатроники. E-mail: mishenko47@mail.ru

Мищенко Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики и механики. E-mail: art_lena@inbox.ru

трагирования и их совокупное действие в целом, необходимо выразить эти зависимости с помощью математических моделей, которые позволят рассчитать параметры процесса и найти оптимальные режимы его проведения. Изучению процесса экстракции в системе твердое тело–жидкость в пищевой промышленности посвящены работы многих исследователей [1-3]. Основным недостатком этих работ является то, что многие из них являются эмпирическими и экспериментальными, в них рассматриваются отдельно гидродинамические, тепловые и массообменные процессы и не учитывается внешнее (вибрационное) воздействие. Поэтому необходимо решить комплексную задачу, позволяющую учесть все действующие факторы.

Скорость процесса экстрагирования в системе твердое тело–жидкость зависит от следующих факторов [2]:

- величины движущей силы процесса;
- скорости каждой из стадий процесса (переноса вещества внутри твердой частицы, массообмена от поверхности частицы к экстрагенту, набухания частиц, растворения целевого компонента внутри частицы);
- размера и формы частиц;
- вида слоя частиц, который они образуют (подвижный, неподвижный);
- соотношения масс экстрагента и твердых частиц;
- характера относительного движения твердых частиц и экстрагента (противоток, проток);
- температуры;
- скорости движения фаз.

В тех случаях, когда лимитирующей стадией процесса является массообмен от поверхности частиц к экстрагенту, возникает необходимость применять перемешивание, вибрацию и другие средства, интенсифицирующие массообмен.

Одним из способов повышения интенсификации процесса экстракции является механическое перемешивание, при котором рабочий орган совершает либо вращательное движение, либо возвратно-поступательное движение. Наиболее исследованным является процесс экстракции с использованием вращательного движения рабочего органа. Процесс экстракции при возвратно-поступательном движении рабочего органа, в качестве которого выступают тарелки, перфорированные отверстиями (рис. 1), является относительно малоизученным. Во время перемещения рабочего органа, жидкость продавливается через отверстия в тарелках в виде струй, распадающихся на капли в сплошной жидкой фазе, и интенсивно

перемешивается в межтарелочных пространствах. Так как непосредственно на границе раздела двух фаз в жидкости нет турбулентного движения, то растворяющиеся молекулы твердого вещества проникают в окружающую жидкость за счет молекулярной диффузии в направлении, нормальном к границе раздела двух фаз. Как только диффундирующие молекулы твердого вещества попадают на такое расстояние от границы раздела фаз, где уже появляется турбулентное движение, начинает действовать турбулентная диффузия. Для создания возвратно-поступательного движения рабочего органа можно использовать вибрационное воздействие.

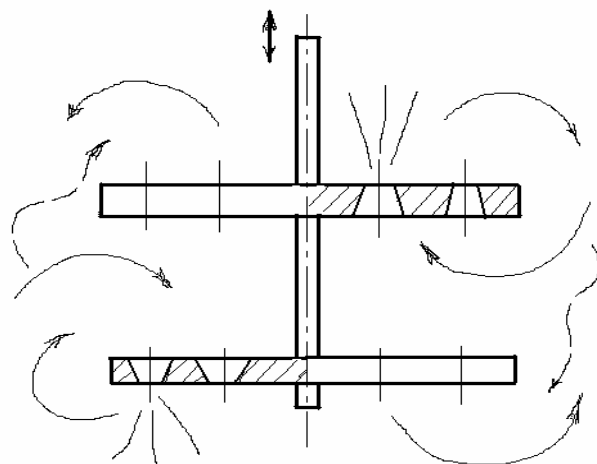


Рис. 1. Схема процесса перемешивания

Вибрационное воздействие является эффективным методом интенсификации массообменных процессов в пищевой промышленности. Оно позволяет значительно ускорить процессы массообмена, снизить себестоимость и повысить качество получаемого продукта. В некоторых случаях использование вибрации позволяет создавать новые технологические процессы, которые без вибрации были бы нерентабельны.

Математическая модель процесса экстрагирования представляет собой систему дифференциальных уравнений, состоящую из уравнения конвективной диффузии, уравнения Навье-Стокса и уравнения неразрывности потока при соответствующих краевых условиях (временных и пространственных). Принимаем, что перемешивание жидкой фазы под действием вибрации происходит только в осевом направлении; экстракт принят как единственный компонент в жидкости; процесс является изотермическим, жидкость – бинарная смесь, плотность которой зависит от концентрации.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla)V = -\frac{\nabla p}{\rho} + \nu \Delta V + g - a\omega^2 \gamma \cos \omega t, \\ \operatorname{div} V = 0, \\ \frac{\partial C}{\partial t} + (C \cdot \nabla)C = D \Delta C, \\ \rho = f(C), \end{array} \right.$$

где V – скорость жидкости; ρ и ν – соответственно ее плотность и коэффициент кинематической вязкости; p – давление; g – ускорение свободного падения; γ – единичный вектор, направленный вертикально вверх; a – амплитуда колебаний; ω – частота колебаний; C – концентрация экстрагируемого вещества; D – коэффициент диффузии-экстракции.

Дополнительно к составленной системе уравнений рассматриваются:

- граничные условия, зависящие от формы сосуда – непротекание и неприлипание к стенкам сосуда;

- массообмен на границе фаз для системы твердое тело – жидкость, для рассматриваемого случая – это граничные условия третьего рода:

$$D \left(\frac{\partial c}{\partial n} \right)_{n=0} = -\beta (c_{\text{пт}} - c_{\text{ж}})$$

где β – коэффициент массоотдачи; $c_{\text{пт}}$ – концентрация на поверхности твердого тела; $c_{\text{ж}}$ – концентрация экстрагента в жидкой фазе; n – направление, нормальное к элементу поверхности;

- геометрические условия однозначности, то есть известны форма и размеры частиц;

- физические условия однозначности, характеризующие физические и диффузионные свойства сред, участвующих в процессе (коэффициент диффузии, плотность жидкости, ее кинематическая вязкость);

- начальные условия (при $\tau=0$) – начальная скорость $V_0(x,y,z,t)=0$, начальная концентрация в растворе (жидкой фазе) $c_{0\text{ж}}=0$, в веществе

(твердой фазе) – $c_{0\text{т}}=c_{\text{max}\cdot\tau}=\text{const}$, на входе в слой физические свойства растворителя постоянные.

Аналитически решить данную систему уравнений проблематично из-за наличия нелинейности. Известные до настоящего времени работы [1, 2] позволили получить аналитические решения только при существенных упрощениях или для частных случаев. Поэтому для решения данной задачи необходимо использовать численные методы. Моделирование процесса экстрагирования позволяет на стадии проектирования изучить данный процесс при тех или иных технологических параметрах, выявить оптимальный закон движения рабочего органа и структуру будущей установки или машины. Это особенно важно в тех случаях, когда технологической обработке подвергаются вещества с новыми свойствами, когда нет ясной картины механизма взаимодействия рабочего органа с обрабатываемой средой.

Работа поддержана Госконтрактом № П1576 от 10.09.2009 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кошевой, Е.П. Математическое моделирование экстрагирования слоя растительного материала / Е.П. Кошевой, В.С. Косачев, А.Н. Михневич и др. // Известия вузов. Пищевая технология. – 2006. – № 6. – С. 61-66.
2. Лысянский, В.М. Экстрагирование в пищевой промышленности / В.М. Лысянский, С.М. Гребенюк. – М. Агропромиздат, 1987. – 187 с.
3. Пасконов, В.М. Численное моделирование процессов тепло - и массообмена / В.М. Пасконов, В.И. Полежаев, Л.А. Чудов. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 288 с.

MODELLING OF PECTIC SUBSTANCES EXTRACTION PROCESS FROM VEGETATIVE RAW MATERIAL WITH APPLICATION OF VIBRATING IMPACT

© 2009 V.Ya. Mishchenko¹, E.V.Mishchenko²

¹ Kursk State Technical University

² Orel State Agrarian University

The question of intensification of pectic substances extraction process by vibrating impact on a working environment is considered. The mathematical model of extraction process is resulted.

Key words: vibration, mathematical model, pectin, vegetative raw material, hashing, extraction

Vladimir Mischenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Theoretical Mechanics and Mechatronics. E-mail: mishchenko47@mail.ru
Elena Mischenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Engineering Graphic Arts and Mechanics. E-mail: art_lena@inbox.ru