

## **Повышение эффективности перемешивания маловязких пищевых продуктов применением роторных инерционных вибровозбудителей**

Сергеев С.В., Некрутов В.Г.

Южно-Уральский государственный университет

*В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности перемешивания жидких пищевых продуктов за счет введения в зону перемешивания вибровозбудителей, основанных на новых принципах возбуждения колебаний. Такие вибровозбудители позволяют существенно интенсифицировать процесс перемешивания за счет одновременной реализации ряда физических эффектов.*

Ключевые слова: смеситель, виброструйный эффект, турбулентный режим, инерционный роторный вибровозбудитель.

В связи с необходимостью наращивания темпов производства пищевых продуктов приобретает важное значение интенсификация процессов обработки пищевого сырья, разработка и проектирование новых видов оборудования и методик его расчета, поскольку в результате фундаментальных и прикладных исследований значительно расширились возможности создания новых поколений машин и аппаратов пищевых производств.

Одной из основных задач совершенствования пищевого производства является повышение эффективности перемешивания маловязких пищевых продуктов. Несмотря на многообразие смесителей, продолжают поиски новых, более совершенных конструкций, обеспечивающих при сравнительно малых затратах энергии наибольшую производительность процесса при высоком качестве готового продукта.

Перемешивание в жидких средах применяется для приготовления эмульсий, суспензий и получения однородной, гомогенной смеси из различных компонентов, а также для интенсификации химических, тепловых и диффузионных процессов (создание устойчивого молока, приготовление различных десертов, мороженого, напитков, обогащенных по витаминному составу, майонезов, маргаринов, кулинарных и кондитерских жиров, а также, широкого спектра полуфабрикатов и др.). В процессах тепло – и массообмена скорость переноса будет тем выше, чем выше интенсивность перемешивания, т.к. при этом увеличивается поверхность контакта фаз. При получении эмульсий из двух и более взаимно нерастворимых жидкостей, например воды и масла, процесс перемешивания связан с рядом особенностей: необходимость получения эмульсий устойчивых во времени, широкой номенклатурой перемешиваемого сырья, требующей быстрой переналадки

оборудования. Способы перемешивания и выбор оборудования определяются целью перемешивания и агрегатным состоянием перемешиваемых материалов.

Выбор оборудования с перемешивающими устройствами и их конструктивные особенности определяются характеристикой процесса, свойствами перемешиваемой среды, производительностью технологической линии, температурными параметрами процесса и давлением, при котором процесс осуществляется и т.д. Такое многообразие факторов, влияющих на выбор конструкции, затрудняет задачу оптимального проектирования смесителей.

Оборудование, используемое в настоящее время, на большинстве предприятиях, морально и физически устарело, металло- и энергоемко и зачастую не удовлетворяет современным требованиям по производительности и качеству готовой продукции [1]. Создание высокоэффективного оборудования невозможно без интенсификации гидродинамических и тепловых процессов с применением перемешивающих устройств. Поэтому, для интенсификации процессов, происходящих при перемешивании, необходимо использовать такие пути и подходы, которые позволяли бы увеличить турбулизацию и циркуляцию потоков при одновременном снижении энергопотребления и металлоемкости.

В связи с этим совершенствование оборудования для гидромеханического перемешивания в производстве различных продуктов является актуальной задачей для пищевой и других отраслей промышленности.

Большой вклад в развитие теории и практики гидромеханического перемешивания внесли: В.Ф. Юдаев, В.И. Биглер, М.А. Барам, И.М. Федоткин, Л.Г. Лойцянский, Г.Ю. Будко, А.И. Зимин и многие другие.

Аппараты, основанные на вибрационном воздействии на перемешиваемые материалы и рабочие органы смесителя значительно увеличивают производительность процесса, снижают энергоемкость и улучшают качество конечного продукта. При этом вибрация в одних случаях может лишь интенсифицировать основной процесс, в других – вызывать специфические вибрационные эффекты [2].

В связи с этим целью работы является совершенствование оборудования для гидромеханического перемешивания маловязких жидкостей применяемого в различных отраслях промышленности, в том числе и пищевой.

С целью совершенствования оборудования и процесса перемешивания маловязких пищевых продуктов предлагается непосредственно в зону перемешивания ввести новые роторные инерционные вибровозбудители, разработанные в Южно-Уральском государственном университете, которые реализуют принципиально новый способ возбуждения колебаний [3], схема которого представлена на рис. 1.

В основе способа лежит вскрытый нами факт [4] отсутствия собственной устойчивости вращающегося диска 1 по неподвижному контртелу 2. Суть

этого явления такова. Сначала диск трения, прижатый осевой силой  $P_{oc}$  к неподвижному контртелу, находится в состоянии покоя. Т. е., в данном случае, эта открытая система не получает энергию извне.

Если же диску сообщить энергию в виде вращения, то при этом практически мгновенно возникает его смещение из-за действия неуравновешенной тангенциальной силы, в результате диск начинает совершать радиальные автоколебания с частотой значительно превышающей частоту его вращения. Исследования на устойчивость системы дифференциальных уравнений описывающих данное движение показало, что все тривиальные решения этой системы неустойчивы, т. е. должно наблюдаться, так называемое, мягкое возбуждение автоколебаний. Это явление можно истолковать как проявление принципа минимальной диссипации (рассеяния энергии) в трактовке И.Р. Пригожина и Н.Н. Моисеева [5].

Теоретически в программной среде Ansys LS-Dyna и экспериментально было показано [4], что эта неустановившаяся нестационарная часть траектории центра вращающегося диска, представляет собой экспоненциально разворачивающуюся спираль. При спонтанном нарушении симметрии, происходящем в связи с отсутствием собственной устойчивости, возникает неголономная связь диска и контртела, т. е. диск катится практически без проскальзывания по поверхности контакта. В случае такого планетарного движения между диском и контртелом действует трение качения, и рассеивается значительно меньшее количество энергии в виде тепла, т. е. диссипация минимальна. Следовательно, процесс планетарного движения предпочтительнее с точки зрения минимальной диссипации, а возникновение поперечных автоколебаний – естественно и неизбежно.

Хотя принято считать, что при переходе системы от состояния с максимальной диссипацией к состоянию с минимальной диссипацией, как к более упорядоченному, должен существовать некий порог. В рассмотренной системе такого порога обнаружить не удастся: возбуждение автоколебаний всегда мягкое. В этом способе при незначительных частотах вращения стабильно получают в сотни раз превышающие частоты круговых колебаний. И при этом, варьируя значительным количеством исходных параметров, регулируют и даже авторегулируют частоту и амплитуду этих колебаний в широком диапазоне, независимо от величины сил сопротивления технологической среды.

В результате теоретических исследований были разработаны расчетные схемы процесса возбуждения радиальных колебаний в роторных инерционных системах, дальнейшее изучение которых позволило вывести математическую модель, адекватно отражающую поведение системы. А именно, модель учитывает влияние на частоту  $\omega$  и амплитуду  $\rho$  радиальных колебаний частоты вращения диска  $\omega_{вр}$ , силы прижатия диска к контртелу  $P_{oc}$  и геометрических параметров диска.

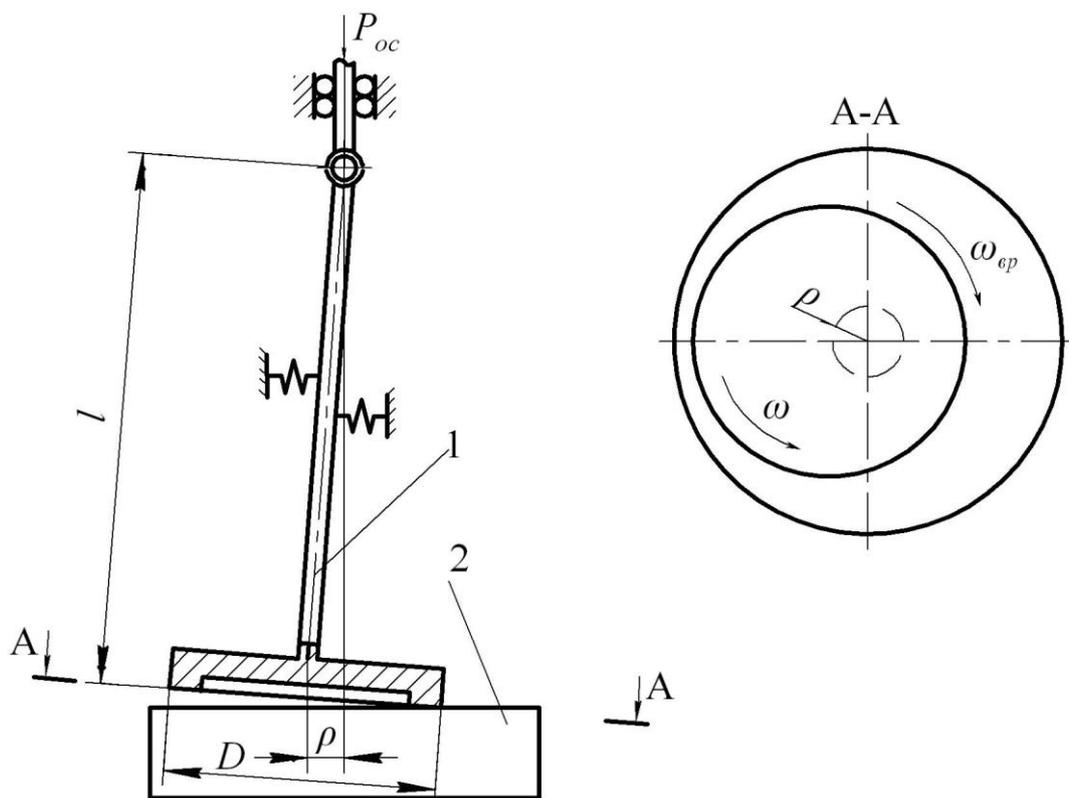


Рис. 1. Схема возбуждения колебаний

$$\omega = \frac{P_{oc}}{2lm\omega_{ep}} + \sqrt{\frac{P_{oc}^2}{2l^2m^2\omega_{ep}^2} + \frac{j}{m}}; \rho = \frac{D\omega_{ep}}{\omega}$$

где  $P_{oc}$  – величина осевой тарированной силы прижима вращаемого тела (ротора) к контртелу;  $\omega_{ep}$  – частота вращения диска;  $m$  – приведенная масса вращаемого тела;  $l$  – вылет вращаемого тела;  $j$  – жесткость ротора;  $D$  – диаметр вращаемого тела в зоне его сопряжения с контртелом.

Кинематическая схема данной установки для смешивания жидких сред с использованием данного вибровозбудителя представлена на рис. 2. Вращение несущего вала (ротора) 1 осуществляется непосредственно от электродвигателя 3 посредством ременной передачи. Крутящий момент со шкива 2 передается через ременную передачу, подшипниковый узел 4 и карданный шарнир 5 несущему валу, на котором крепятся конические диски 6, каждый из которых имеет 40 конических отверстий. Диски расположены так, чтобы больший диаметр конического отверстия верхнего диска находился над большим диаметром конического отверстия нижнего диска. Такое расположение конических отверстий необходимо для интенсивного перемешивания технологической среды. Верхняя часть ротора 1 сопрягается с контртелом, а вместе они являются инерционным планетарным вибровозбудителем, использование которого позволяет изменять частоту и амплитуду колебаний.

Интенсивность процесса перемешивания существенным образом зависит от ускорения дисков, закрепленных на роторе. При относительно

небольшом ускорении перемешивание носит спокойный характер. При оптимальном ускорении возникают интенсивные потоки, носящие ярко выраженный характер турбулентного перемешивания. Величину и направление турбулентных струй можно изменять в зависимости от параметров вибрации, конфигурации дисков и вида их перфорации.

Использование данного роторного инерционного вибровозбудителя позволяет одновременно реализовать несколько физических эффектов [2]: псевдооживления жидкой технологической среды (турбулентность), активного перемешивания жидкости (виброструйный эффект), эффект вибрационного поддержания вращения ротора машины (эффект хулахупа).

В разработанной экспериментальной установке (рис. 3) эффект псевдооживления жидкости определяется турбулентностью, зависящей от числа Рейнольдса, на которое, в свою очередь, влияет окружная скорость вращения дисков ротора  $V$ , м/с, частота колебаний  $\omega$ ,  $\text{с}^{-1}$ , радиус диска  $R$ , м и кинематическая вязкость жидкого продукта  $\nu$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

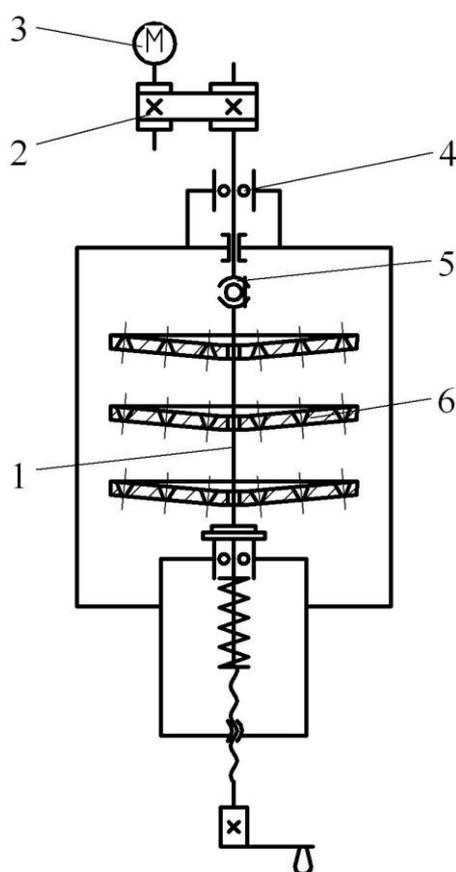


Рис. 2. Кинематическая схема вибровозбудителя

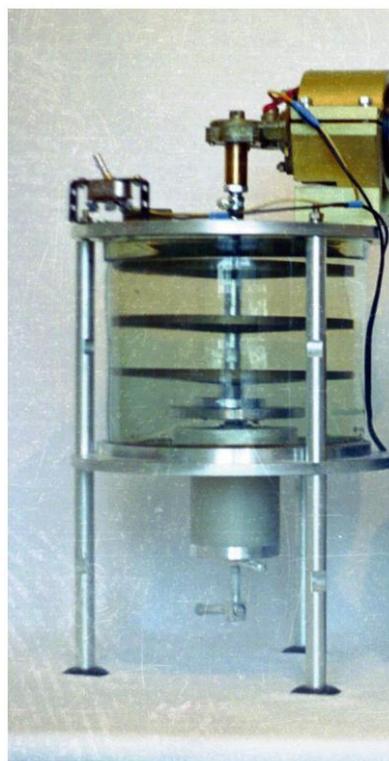


Рис. 3. Экспериментальная установка

Радиально-осевые колебания конических перфорированных дисков закрепленных на роторе при своей максимальной амплитуде создают виброструйный эффект. Т.е. скорость движения многочисленных затопленных струй жидкости на выходе из сужающихся конических отверстий увеличивается, что позволяет интенсифицировать процесс. Вместе с тем, вибрирующая жидкость помогает вращению ротора вибровозбудителя

(она как бы раскручивает его), а это значит, что для вращения ротора требуется гораздо меньшая мощность привода.

А самое главное, одновременная реализация указанных эффектов позволяет усовершенствовать оборудование для перемешивания маловязких пищевых продуктов, следовательно повысить производительность и получить высокую однородность смеси в течение короткого промежутка времени, зависящего от процентного соотношения смешиваемых материалов и их физико-механических свойств, следовательно улучшить качество готового продукта. Поэтому при настройке установки необходимо выбрать такие частоту и амплитуду колебаний ротора, в зависимости от свойств перемешиваемого продукта, при которых будут иметь место все три эффекта. Все это, в конечном итоге, позволит интенсифицировать технологический процесс и одновременно повысить качественные показатели при получении конечного продукта.

Работа поддержана РФФИ (конкурс «Урал», проект №07-01-96-052) на 2007-08 годы и Всероссийской программой «Старт 07» (проект №7319) в Уральском регионе.

### **Список литературы**

1. Антипов С.Т., Кретов И.Т. Машины и аппараты пищевых производств. – М: Высшая школа, 2001. – 1380 с.
2. Блехман И.И. Вибрационная механика. – М.: Физматлит, 1994. – 400 с.
3. А.с. №1664412. Способ возбуждения круговых колебаний и устройство для его осуществления / С.Г. Лакирев, Я.М. Хилькевич, С.В. Сергеев. – Оpubл. в Б. И., 1991, Бюл. №27.
4. Сергеев С.В. Повышение эффективности вибрационных процессов при обработке различных материалов: монография. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 262 с.
5. Пригожин И.Р. Порядок из хаоса. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 312 с.

## **The Increasing of Mixing Efficiency of Low Viscous Foods by Applying Rotary Inertial Vibro-Exciters**

Sergeev S.V., Nekrutov V.G.

South-Urals State University

*Some problems of increasing of mixing efficiency of liquid foods by inserting vibro-exciters, based on new principles of vibro-excitement, right into the mixing zone are being considered.*

*Such vibro-exciters enable to intensify greatly the mixing processes, thanks to some simultaneous physical effects.*

Key words: mixer, Vibro-stream effect, turbulent regime, Rotary-Inertial Vibro-Exciter.