

Н. З. Дубкова, И. А. Дубков, З. К. Галиакберов,
А. Н. Николаев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ ПОРОШКОВ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ О КОРПУС АППАРАТА

Ключевые слова: коэффициент трения, растительные материалы, вибрационный аппарат.

Проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента внешнего трения пищевых порошков из различных растительных материалов о поверхность вибрационного аппарата. Построены зависимости коэффициентов трения в зависимости от влажности порошков.

Keywords: coefficient of friction, vegetable materials of a vibrating machine.

Experimental studies to determine the coefficient of the external friction food in powder from various plant materials on the surface of the vibration of the machine. Built dependence-independence of the friction coefficients depending on the humidity of powders.

Получение порошковых продуктов в вибрационных аппаратах при одновременной сушке и измельчении требует всестороннего исследования данных процессов. Особое значение имеет движение загрузки относительно корпуса аппарата [1]. Расход энергии при этом определяет трение загрузки. Вибрационное перемешивание и интенсивная циркуляция загрузки способствует выравниванию температуры и влажности продукта в объеме аппарата.

Распространение тепла в виброкипящем слое зависит, в основном, от количества тепла, переносимого самими частицами при их перемещении, и мало – от теплопроводности загрузки и количества тепла, переносимого средой [2]. Экспериментальные исследования [2], показали, что основное термическое сопротивление при теплообмене между поверхностью нагревателя и слоем высушиваемого материала сосредоточено вблизи первого ряда частиц, и теплообмен определяется характером переноса тепла на границе пакета с поверхностью.

Составной частью технологических расчетов вибрационных аппаратов является определение затрат мощности на циркуляцию загрузки. Этот параметр вибрационного аппарата является исходным данным для проектирования привода, подбора электродвигателя, всех конструкторских расчетов на прочность деталей и узлов, как самого аппарата, так и его привода.

Вибрационная машина состоит из колеблющегося рабочего органа, вибратора, привода. На рис.1 приведена упрощенная кинематическая схема вибросмесителя периодического действия. Корпус (1) вибросмесителя с центральной трубой (2) имеет форму горизонтального цилиндра и устанавливается на упругие опоры, являясь рабочим органом с колеблющейся массой M .

Внутри трубы проходит вал вибратора (3) с подшипниковыми опорами (6). На концах вала закреплены диски с дебалансами (4), имеющими массу m и эксцентриситет r .

Вращение вала (3) осуществляется от электродвигателя (10) через привод (9) и гибкий вал (7), имеющий промежуточную опору (8).

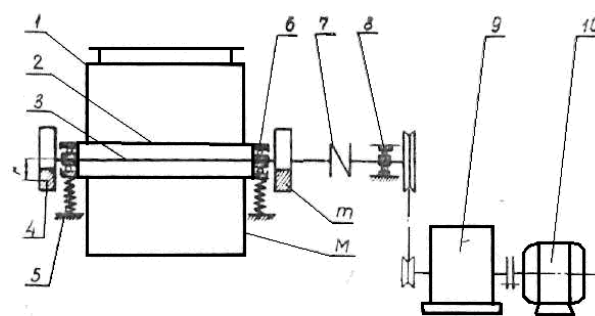


Рис. 1 - Кинематическая схема вибрационной машины

Мощность, потребляемая вибромашиной, складывается из мощностей, теряемых в электродвигателе - $N_{эд}$, в приводе - N_n , в упругих опорах - $N_{опор}$, в вибраторе - $N_{вибр}$, а также мощности, идущей на движение корпуса с загрузкой $N_{кол}$. Эта мощность считается полезной, так как движения корпуса и загрузки является необходимыми условиями для качественного и быстрого перемешивания.

Исследования [3] показали, что мощность привода, в основном, расходуется на колебание корпуса с загрузкой, а остальные составляющие значительно меньше.

Расчет мощности на колебания корпуса с загрузкой производится по формуле:

$$N_{кол} = \frac{(mr)^2 \omega^5 \sin 2\gamma}{204(M_{см} + m)(p_1^2 - \omega^2)} \quad (1)$$

В зависимости (1) присутствует фазовый угол γ отставания колебаний корпуса от вращения дебалансов. Исследованиями [4] доказана зависимость $\sin 2\gamma$ от коэффициента внешнего трения загрузки о стенку корпуса и получено уравнение:

$$\sin 2\gamma = 0.3 f_{мп} + 0.2 \quad (2)$$

Поскольку $\sin 2\gamma$ зависит от коэффициента внешнего трения загрузки о стенку корпуса согласно уравнению (2), то $\sin 2\gamma$ соответственно зависит и от влажности перерабатываемого продукта. Поэтому расчет мощности на колебания загрузки с корпусом удобно вести табличным способом, определяя

значения мощности, в соответствии с изменением влажности материала в процессе сушки.

Механизм трения проявляется в сопротивлении движению неровностей соприкасающихся поверхностей. Происходит зацепление этих неровностей.

На коэффициент трения оказывает влияние большое количество внешних факторов, на которые еще указывал Кулон и которые подтверждены рядом исследователей [5, 6, 7]. Коэффициент трения зависит от рода материала трущихся поверхностей, чистоты обработки поверхности, температуры [6]. Причина влияния температуры – изменение механических свойств материалов трущихся поверхностей, плавление, свойства смазки. Этот фактор является определяющим при сравнении результатов различных авторов по коэффициенту трения [6]. Влияние скорости сдвига на коэффициент трения тесно связано с изменением температуры, износом, физико-механическими характеристиками материалов [7]. Увеличение сцепляемости замечено и при вакуумировании [6]. Уменьшение коэффициента трения под действием вибрации объясняется снижением сцепляемости частиц за счет инерционных сил колебания. При этом необходимо отметить, что общая затрата энергии (колебание и трение) остается такой же, как и без колебания [5].

Определение коэффициента трения по сопротивлению сдвигу путем кольцевого среза производится на приборах с неограниченной плоскостью сдвига, которые исключают возможность фиксирования напряжения сдвига до полного окончания процесса [8]. Этот метод был использован в работе при определении коэффициентов трения различных пар материалов (металл - пищевой порошок) при давлениях намного меньших давления прессования или разрушения шашек в широком диапазоне влажностей порошков.

Экспериментальные работы выполнялись на сыпучих продуктах. Основным требованием к применяемым продуктам было различие коэффициентов внешнего трения при незначительной разнице насыпного веса. Для выполнения этих условий применялись порошки черноплодной рябины, черной смородины, репчатого лука и картофеля различной влажности.

Установка для определения коэффициента трения состоит из станины, на которую устанавливается металлическая пластина. На эту пластину устанавливается рамка для заполнения пищевым порошком. Насыпанный порошок нагружается фиксированной нормальной нагрузкой. К рамке через трос и блок прикладывается усилие сдвига рамки. Фиксируется величина этого усилия при различных значениях нормальной нагрузки.

Коэффициенты внешнего и внутреннего трения определяются графо-аналитическим методом. Строится линейная зависимость сила сдвига ($\tau_{сд}$) - нормальная нагрузка (σ_n) при различных значениях последней, находится уравнение прямой $\tau_{сд} = f(\sigma_n)$ методом наименьших квадратов. Угловой коэффициент этой линейной функции будет

искомым коэффициентом внешнего или внутреннего трения.

Значения коэффициентов трения различных растительных материалов, полученных экспериментально, представлены в виде графика зависимости коэффициента внешнего трения от влажности для порошков из растительного сырья по стали 12X18H10T (рис. 2).

Экспериментальными данными доказано, что наибольшая полезная мощность передается нагрузке при оптимальных режимах вибрации, определяемых кинетикой виброперемешивания.

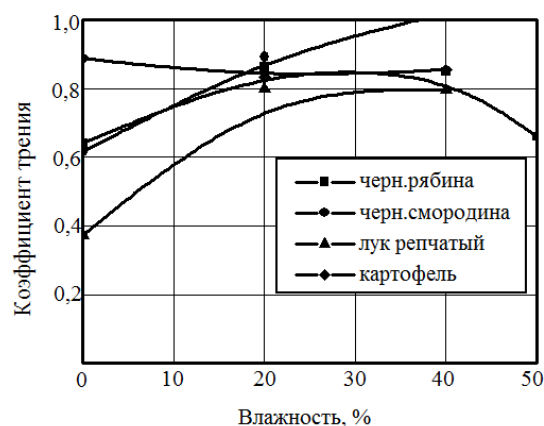


Рис. 2 - Зависимости коэффициента внешнего трения от влажности для порошков из растительного сырья по стали марки 12X18H10T

Необходимо отметить, что для данного габарита вибрационного аппарата ($D = 282$ мм, $L = 186$ мм) при оптимальных параметрах вибрации время выхода мощности на постоянный уровень совпадает со временем установления минимальной влажности высушиваемого продукта. Это подтверждается рис. 3, где приведены совмещенные по времени сушки изменение влажности, коэффициента внешнего трения и мощности.

Для ВС – 10 при оптимальных параметрах вибрации, заданных кинетикой виброперемешивания, приблизительное время сушки можно определять по времени установления постоянной мощности.

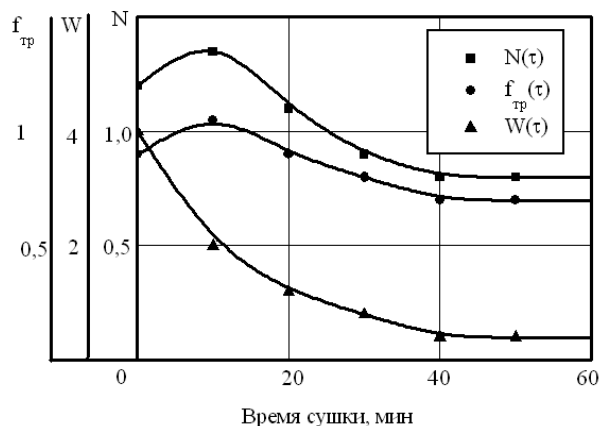


Рис. 3 - Зависимость затрат мощности, коэффициента внешнего трения и влажности от времени сушки

Проверка этого условия на лабораторных смесителях других габаритов (ВС-0,4) дала возможность дистанционного контроля готовности порошка по изменению мощности.

Литература

1. Дубкова, Н.З. Взаимодействие загрузки с корпусом вибрационного тепло- и массообменного аппарата / Н.З. Дубкова, З.К. Галиакберов, О.В. Козулина, А.Н. Николаев // Вестник Казанского технологического университета. - 2010. – №11. - С.100-108.
2. Членов, В.А. Сушка сыпучих материалов в виброкипящем слое / В.А. Членов, Н.В. Михайлов // М.: Стройиздат, 1967.-132 с.
3. Варсанюфьев, В.Д. Вибрационная техника в химической промышленности / В.Д. Варсанюфьев, Э.Э. Кольман-Иванов // М.: Химия – 1985. - 240 с.
4. Галиакберов, З.К. Математическое моделирование кинетики периодического вибрационного измельчения сыпучих материалов / З.К. Галиакберов, Л.Г. Голубев // Тез. докл.: Технология сыпучих материалов. - Ч. 1. - Белгород, 1986. - С.76.
5. Свирский, Г.Э. О некоторых закономерных зависимостях коэффициента трения скольжения от скорости / Г.Э. Свирский // Контактное взаимодействие твердых тел и расчет сил трения и износа. М.: Наука, 1971.- С. 201-207.
6. Евдокимов, Ю.А. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа / Ю.А. Евдокимов, В.И. Колесников, А.И. Тетерин // М.: Наука, 1980. - 228с.
7. Гаркулов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркулов // М.: Машиностроение, 1989. - 324 с.
8. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков // М.: Машиностроение, 1964. - 251 с.

© **Н. З. Дубкова** - канд. техн. наук, доц. каф. оборудования пищевых производств КНИТУ, dubkova_n@rambler.ru;
И. А. Дубков - канд. техн. наук, доц. той же кафедры; **З. К. Галиакберов** - канд. техн. наук, доц. той же кафедры; **А. Н. Николаев** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. оборудования пищевых производств КНИТУ, andr_nik_nik@rambler.ru.