

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 -  $N_{вibr}$ , а также мощности, идущей на движение корпуса с загрузкой  $N_{кол}$ . Эта мощность считается полезной, так как движения корпуса и загрузки являются 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: (1) В зависимости (1) присутствует фазовый угол  $g$  отставания колебаний корпуса от вращения дебалансов. Исследованиями [4] доказана зависимость  $\sin 2g$  от коэффициента внешнего трения загрузки о стенку корпуса и получено уравнение:  $\sin 2g = 0.3 + 0.2$  (2) Поскольку  $\sin 2g$  зависит от коэффициента внешнего трения загрузки о стенку корпуса согласно уравнению (2), то  $\sin 2g$  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 нормального давления. Коэффициенты внешнего и внутреннего трения определяются графо-аналитическим методом. Строится линейная зависимость сила сдвига ( $\tau_{сд}$ ) - нормальная нагрузка ( $\sigma_n$ ) при различных значениях последней, находится уравнение прямой 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 12Х18Н10Т (рис. 2). Экспериментальными данными доказано, что наибольшая полезная мощность передается загрузке при оптимальных режимах вибрации, определяемых кинетикой виброперемешивания. Рис. 2 - Зависимости коэффициента внешнего трения от влажности для порошков из растительного сырья по стали марки 12Х18Н10Т. 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.