

УДК 66.047.38

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРОДУКТА В БАРАБАННОЙ СУШИЛКЕ

Лазин Павел Сергеевич

Ассистент

e-mail: lazin.pavel@mail.ru

Щербаков Сергей Юрьевич

кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ

г. Мичуринск, Россия

Аннотация: в статье рассматривается движение продукта с углом наклона барабана в сторону перемещения продукта. Представлен, общий вид барабанной сушилки, которая позволяет существенно увеличить производительность и повысить качество процесса сушки.

Ключевые слова: барабанная сушилка, перемешивание, сушка, плоды, лопастная мешалка.

В настоящее время машины барабанного типа широко используются в различных отраслях промышленности, такие как химическая, силикатная и пищевая промышленности, в сельском и народном хозяйствах [2,5]. Как правило, барабанные сушилки являются атмосферными и получили обширное распространение для сушки сыпучих отходов пищевых производств (свекловичный жом, картофельные барды спиртовых заводов, кукурузные ростки и мезга), применяются для сушки зерна и сахара-песка, а также различных сыпучих строительных материалов [3-5]. Для сушки продуктов растительного происхождения сконструирована барабанная сушилка [6], периодического действия (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид барабанной сушилки

1- сварной цилиндрический барабан; 2 - привод барабана; 3 - привод перемешивающего устройства; 4 - пульт регулировки; 5 - загрузочный люк; 6 - выгрузной люк; 7 - патрубки; 8 - нагревательная камера; 9 - вентилятор; 10 - счетчик электроэнергии; 11- регулировочные винты

В большинстве случаев барабанные сушилки устанавливают, не горизонтально, а под уклоном в сторону движения продукта или в противоположную. В сушилке барабанного типа с лопастной мешалкой высушиваемый продукт будет перемещаться по объему барабана в трех направлениях: движение под действием центробежной силы в направлении движения барабана; движение продукта вдоль оси вращения мешалки; пограничная область, возникающая между двумя вращающимися потоками, для которой движение частиц описывается приведенными ниже уравнениями.

На рисунке 2 представлено продольное сечение барабана с углом наклона совпадающим с направлением движения высушиваемого продукта. Показана схема сил, действующих на частицу сыпучего продукта (плоды боярышника сглаженного *Crataegus oxyacantha* L.) в барабане с углом наклона в сторону перемещения продукта (рисунок 2).

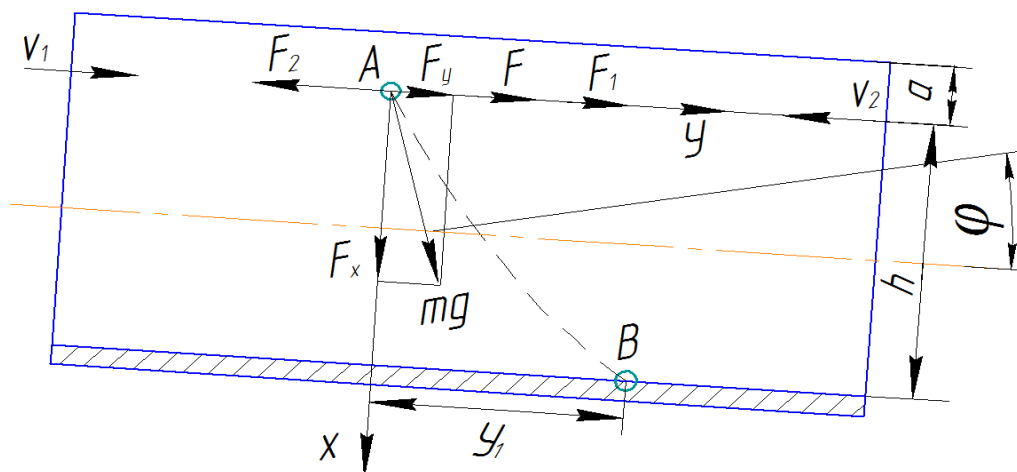


Рисунок 2 – Движения частиц сыпучего продукта в барабане с углом наклона в сторону его перемещения

v - скорость воздушного потока, м/с; F - давление воздушного потока, Н; φ - угол поворота насадки, град; y_1 - величина перемещения частицы, м; g - ускорение свободного падения, м/с²; m - масса частицы, кг; A, B - точки нахождения частицы; h - высота падения частиц с насадок, установленных в барабане, м; a - размер лопасти в радиальном направлении, м

Частица, отделившись от насадки, движется под воздействием следующих сил: - составляющая силы тяжести относительно оси x (F_x);
- составляющая силы тяжести относительно оси y (F_y).

$$F_x = m \frac{d^2 x}{dt^2} = mg \cos \varphi. \quad (1)$$

где d - эквивалентный размер частиц, м;

t - время, с.

Вначале на продукт действует поток воздуха F_1 с одной стороны и F_2 с другой стороны. Результирующей силой будет поток F :

$$F = (F_1 - F_2) \quad (2)$$

В точке соприкосновения с насадкой барабана частица окажется через время равное:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h_{cp}}{g \cos \varphi}}. \quad (3)$$

Среднюю высоту падения частиц можно представить как высоту прямоугольника, площадь которого равна площади фигуры, ограниченной синусоидой и осью абсцисс:

$$h_{cp} = \frac{\int_0^{\pi} 2(R-a) \sin \varphi d\varphi}{\pi} = \frac{4(R-a)}{\pi}. \quad (4)$$

где R - внутренний радиус барабана, м.

Движение частицы по оси (y) происходит под действием силы:

$$F_y = m \frac{d^2 y}{dt^2} = F + mg \sin \varphi. \quad (5)$$

Соответственно в точке касания с насадкой барабана частица по оси (y) сместится на расстояние:

$$y_1 = \left(\frac{F}{mg \cos \varphi} + tg \varphi \right) h_{cp}. \quad (6)$$

Силу давления воздушного потока F и массу m выразим через параметры частицы и воздушного потока:

$$F = \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \frac{\rho_r v^2}{2} k. \quad (7)$$

$$m = \frac{\pi d^3}{6} \rho \quad (8)$$

где ρ_r - плотность воздуха, кг/м³;

k - коэффициент учитывающий форму продукта;

ρ - плотность частиц, кг/м³.

Применительно к конструкции рассматриваемого аппарата формулу (6) подставив значения F и m из уравнения (7) и (8) можно представить в следующем виде:

$$y_1 = \left(\frac{3v^2 \rho_r k}{4d\rho g \cos \varphi} + tg \varphi \right) h_{cp}. \quad (9)$$

Упавшая в точку B частица некоторое время t_2 перемещается только в вертикальной плоскости проходящей через ось барабана:

$$t_2 = \frac{\varphi_{cp}}{\omega} \quad (10)$$

где φ_{cp} - средний угол поворота частицы, который найден как среднеарифметическая величина между минимальным и максимальным углами поворота;

ω - угловая скорость барабана, c^{-1} .

Из рисунка 2 видно, что $\varphi_{min}=0$,

$$\varphi_{max} = 2\pi - y = 2\pi - \arccos\left(\frac{R-a}{R}\right).$$

Подставив значения φ_{cp} в уравнение (10), получим:

$$t_2 = \frac{2\pi - \arccos((R-a)/R)}{2\omega}. \quad (11)$$

Уравнение для средней скорости перемещения продукта в осевом направлении будет иметь следующий вид:

$$V_y^{cp} = \frac{y_1}{t_1 + t_2} = \frac{\frac{3v^2 k \rho_{\Gamma} (R-a)}{\pi d \rho g \cos \varphi} + \frac{4(R-a)tg \varphi}{\pi}}{\sqrt{\frac{8(R-a)}{\pi g \cos \varphi} + \left[\frac{2\pi - \arccos\left(\frac{R-a}{R}\right)}{2\omega} \right]^2}}. \quad (12)$$

Для определения объемной пропускной способности Q сушилки принимаем, что в единицу времени с насадок сыпается некоторый объем продукта, который в поперечном сечении занимает площадь:

$$S = S_n z_n n_{\delta}, \quad (13)$$

где S_n - площадь поперечного сечения слоя продукта, захватываемого одной насадкой, m^2 ;

z_n - число насадок, шт;

n_{δ} - частота вращения барабана, об/мин.

Для вычисления S_n выделим элементарную площадку с координатами r, φ , размерами $dr, d\varphi$ и площадью $rd\varphi dr$, представим как $r = a\sqrt{\sin \varphi}$.

$$S_n = \int_0^{\pi} \int_0^{a\sqrt{\sin \varphi}} rd\varphi dr = \frac{a^2}{2} \int_0^{\pi} \sin \varphi d\varphi = a^2 \quad (14)$$

где r – радиус насадки, м.

Тогда объемную пропускную способность сушилки можно представить, как:

$$Q = Sy_1 = \left(\frac{3v^2 k \rho_\Gamma (R-a)}{\pi g d \rho \cos \varphi} + \frac{4}{\pi} (R-a) \operatorname{tg} \varphi \right) a^2 z_n n_\sigma \quad (15)$$

В случае применения одновального лопастного устройства внутри барабана из пропускной способности Q необходимо вычесть производительность лопастной одновальной мешалки Q_2 , так как она осуществляет вращение в противоположную сторону по отношению к барабану.

Согласно источнику [1], Q_2 принимаем равным:

$$Q_2 = 60 \frac{z_\sigma \pi D^2 H \eta_v \gamma}{T} n_m \quad (16)$$

где z_σ - число валов, шт;

D - внешний диаметр лопастей, м;

H - шаг лопастей, м;

γ - масса продукта, кг/ м³;

η_v - коэффициент заполнения, равный 0,25;

n_m - среднее число оборотов мешалки, об/мин;

T - длительность процесса сушки, мин.

Подставляя значения Q и Q_2 , определим пропускную способность барабанной сушилки с лопастным перемешивающим устройством Q_n :

$$Q_n = Q - Q_2 = \left(\frac{3v^2 k \rho_\Gamma (R-a)}{\pi g d \rho \cos \varphi} + \frac{4}{\pi} (R-a) \operatorname{tg} \varphi \right) a^2 z_n n_\sigma - 60 \frac{z_\sigma \pi D^2 H \eta_v \gamma}{T} n_m \quad (17)$$

Анализируя приведенные уравнения (1 - 17) можно сделать вывод, что скорость сушки, можно интенсифицировать путем увеличения скорости движения агента сушки, но параллельно с сокращением скорости сушки, вызванным изменением скорости подачи нагретого воздуха уменьшится съем количества влаги за один прогон сушки, что в конечном итоге приведет не к сокращению времени для достижения конечного результата, а наоборот, к его

увеличению. Что вызывает необходимость в поиске и использовании коэффициентов, влияющих на перемешивание для интенсификации процесса сушки.

Список литературы:

1. Дахин О.Х. Машины и аппараты для перемешивания сыпучих, жидких и высоковязких сред / О.Х. Дахин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2013. – 232 с.
2. Лазин П.С. Разработка барабанной сушильной установки / П.С. Лазин, С.Ю. Щербаков // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. – Краснодар, 2017. – С. 724 -730.
3. Лазин П.С. Повышение эффективности технологии сушки плодово-ягодной продукции / П.С. Лазин // Вестник Мичуринского ГАУ. – Мичуринск, 2017. – № 2. – С. 140 -146.
4. Лазин П.С. Исследование процесса сушки плодово-ягодной продукции / П.С. Лазин, С.Ю. Щербаков // Инновационные достижения науки и техники АПК: сборник научных трудов. – Кинель, 2017. – С. 615-619.
5. Лазин П.С. Разработка и обоснование барабанной сушильной установки для сушки плодов / П.С. Лазин, С.Ю. Щербаков // Всероссийский форум научной молодежи «Богатство России»: сборник докладов МГТУ имени Н. Э. Баумана. – Москва, 2018. – С. 125-127.
6. Пат. 170138 Российская Федерация, МПК F26B 11/04. Барабанная сушилка / А.И. Завражнов, С.Ю. Щербаков, П.С. Лазин, З.А. Щербакова; патентообладатель: ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет. – № 2016133239, заявл. 11.08.2016; опубл. 14.04.2017. Бюл. № 11.
7. Усовершенствованная технология возделывания и уборки сахарной свеклы в условиях Тамбовской области / П.Н. Кузнецов, В.И. Горшенин, С.В. Соловьёв, А.Г. Абросимов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. - 2014. - № 6. - С. 53-56.
8. Криволапов И.П., Колдин М.С. Обоснование параметров устройства выгрузки бункерных компостирующих установок // В сборнике: Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе сборник статей 67-й

международной научно-практической конференции : в 3 томах. 2016. С. 76-81.

9. Криволапов И.П. Анализ биохимических процессов при компостировании // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2010. № 1. С. 65-68.

THEORETICAL JUSTIFICATION FOR MOVING PRODUCT IN DRUM DRYER

Lazin Pavel Sergeyeovich

assistant

Scherbakov Sergey Yuryevich

candidate of technical sciences, associate professor

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Summary: the article deals with the movement of the product with the angle of inclination of the drum towards the movement of the product. A general view of a drum dryer is presented, which allows significantly increasing productivity and improving quality of the drying process.

Keywords: drum dryer, stirring, drying, fruit, blade mixer.