

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО СМЕСИТЕЛЯ-УВЛАЖНИТЕЛЯ

Антропова Л.Н., к.т.н., доц., Миронова Н.А.
(ДонНУЭТ им. Михаила Туган-Барановского, Украина)

Введение

Процессы подачи ингредиентов и их смешивание имеют место во многих отраслях промышленности, в числе и пищевой. От того, как протекают эти процессы будет, в конечном итоге, зависеть качество готового продукта (однородность его структуры, физико-механические свойства, органолептические показатели и т.п.). Поэтому протекание данных процессов должно соответствовать определенным требованиям, таким как точность дозирования или равномерность подачи материала, однородность распределения исходных компонентов по объему получаемой смеси, максимальное снижение вариации свойств сырья и готовой продукции и т.п.

От исхода операции предварительного смешивания зависит качество готового продукта. Основная трудность при этом заключается в низкой эффективности распределения жидкости по всему объему смешиваемой массы, так как материалы приобретают склонность к конгломерации, становятся трудными для переработки вследствие связности частиц.

Интенсивное разрушение конгломератов, образующихся при смешивании сыпучих материалов с малым количеством воды, возможно в случае, если в процессе смешивания продукты испытывают высокие внутренние напряжения, приводящие к разрыву связей между частицами. С этой точки зрения наиболее подходящими аппаратами являются центробежные смесители. Одним из основных преимуществ центробежных смесителей, по сравнению с другими видами смесителей, является возможность управления сглаживающей способностью за счет направленной организации материальных потоков.

Поэтому данная работа, направлена на изучение рациональных параметров центробежного смесителя – увлажнителя.

Основная часть

Для выравнивания свойств продукта при замесе по всей массе, для воздействия на клейковинную структуру теста и развития его структурно-механических свойств, нами предложена конструкция смесителя для предварительного смешивания муки и воды [1], которая позволит заменить многоступенчатые корыта тестосмесителей в существующих макаронных прессах. Она одновременно осуществляет разрыхление, равномерное увлажнение и интенсивное смешивание за непродолжительное время, тем самым мы получаем необходимые параметры увлажненного теста на выходе из тестосмесителя.

Смеситель основан на методе гравитации увлажненных частиц муки, под действием центробежной силы.

Центробежный смеситель установлен вертикально, что позволяет увлажненным частицам муки под действием гравитации поступать в тестосмеситель или экструдер пресса.

Центробежный смеситель представляет собой цилиндр из прозрачного полимера, в котором расположен цельный ротор из нержавеющей стали, на поверхности которого винтообразно расположены пальцы из твердой хромистой стали. Вращение ротора осуществляется от индивидуального привода.

Вода и мука дозируются при помощи стандартных дозаторов (шнекового для муки, плунжерного для воды) и поступают в цилиндрическую рабочую камеру, внутри которой вращается ротор с насаженными по спирали пальцами. При этом происходит прямой проход равномерно увлажненных по всему объему частичек муки сверху вниз. Время обработки несколько секунд. Действие подобно взбиванию.

При вращении ротора происходит удар воды и муки о пальцы ротора, при этом увеличивается площадь контакта и быстрое взаимодействие ингредиентов без образования конгломератов.

В процессе работы ротор с пальцами сообщает транспортируемой смеси не только поступательное движение в вертикальном направлении, но и вращательное движение. При этом движение частицы материала, опирающейся на винтовую поверхность и прижатой к цилиндрической стенке корпуса смесителя может быть описана следующей видеоизменной системой уравнений [2]:

$$\begin{aligned} N_u \cos \alpha - N_u f_{uu} \sin \alpha - F_a - N_u \cdot f_u \cos \beta &= 0; \\ N_u \cdot f_u \sin \beta - N_u f_u \cos \alpha - N_u \sin \alpha - F_t &= 0; \\ F_p + F_{om} - N_u - F_k &= 0; \end{aligned} \quad (1)$$

где N_u – нормальная реакция пальца ротора, H ; f_{uu} – коэффициент трения смеси о палец ротора; α – угол подъема пальца ротора относительно нормали, rad ;

$$\alpha = \arctg \frac{S}{2\pi R}, \quad (2)$$

где: S – шаг между пальцами ротора, m ; $m = G/g$ – масса элемента материала, kg ; G – вес элемента материала, H ; N_u – нормальная реакция цилиндра, H ; f_u – коэффициент трения материала о стенку цилиндра; β – угол между

вектором абсолютной скорости v и осью ротора, rad ; $\varphi = f(t)$ - угол, на который отклоняется частица при вращении ротора с постоянной угловой скоростью ω_0 ; t - время, c ; $\frac{d\varphi}{dt} = \omega'$ - угловая скорость относительного движения частицы, rad/c ; $\varepsilon = \psi + (-\varphi)$ - угол, определяющий положение точки относительно вертикальной плоскости, rad ; $\varepsilon = \omega_0 t$ - угол поворота ротора за t с, rad .

F_a - аксиальная сила инерции, H ,

$$F_a = ma \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (3)$$

F_t - касательная сила инерции, H ,

$$F_t = mR \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (4)$$

F_p - центробежная сила инерции в переносном движении, H ,

$$F_p = mR\omega_0^2 \quad (5)$$

F_{om} - центробежная сила инерции в относительном движении, H ,

$$F_{om} = mR\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 \quad (6)$$

F_k - сила Кориолиса, H ,

$$F_k = 2mR\omega_0 \frac{d\varphi}{dt} \quad (7)$$

Подставляя значения сил (3–7) в систему уравнений (1), получим систему уравнений в следующем виде:

$$\begin{aligned} N_\theta \cos \alpha - N_\theta f_\theta \sin \alpha - ma \frac{d^2\phi}{dt^2} - N_\theta \cdot f_\theta \cos \beta &= 0; \\ N_\theta \cdot f_\theta \sin \beta - N_\theta f_\theta \cos \alpha - N_\theta \sin \alpha - mR\left(\frac{d^2\phi}{dt^2}\right) &= 0; \\ mR\omega_0^2 + mR\omega_0^2 - N_u - 2mR\omega_0 \frac{d\phi}{dt} &= 0; \end{aligned} \quad (8)$$

Анализ решения системы уравнений (1) показывает, что переходный процесс не является определяющим, поскольку его продолжительность составляет доли секунды. Поэтому процесс транспортирования смеси в первом приближении можно считать стационарным, т.е.

$$\frac{d\phi}{dt} = const, \quad \frac{d^2\phi}{dt^2} = 0.$$

В этом случае система уравнений (8), описывающая движение частицы смеси в стационарном режиме, может быть приведена к следующему виду:

$$\begin{aligned} N_u \cos \alpha - N_u f_u \sin \alpha - N_u \cdot f_u \cos \beta - mg &= 0; \\ N_u \cdot f_u \sin \beta - N_u f_u \cos \alpha - N_u \sin \alpha &= 0; \\ mR\omega_0^2 + mR\left(\frac{d\phi}{dt}\right)^2 - N_u - 2mR\omega_0 \frac{d\phi}{dt} &= 0; \end{aligned} \quad (9)$$

Вектор абсолютной скорости элементарной частицы материала равен векторной сумме

$$v \rightarrow = v_z \rightarrow + v_y \rightarrow = v_z i \rightarrow + v_y j \rightarrow,$$

где: $i \rightarrow, j \rightarrow$ - единичные векторы; $v_z = v \cos \beta$ - модуль осевой составляющей абсолютной скорости частицы или скорости скольжения по стенке цилиндра; $v_y = v \sin \beta$ - модуль касательной составляющей абсолютной скорости, характеризующей окружную скорость частицы материала в абсолютном вращательном движении.

Из плана скоростей имеем:

$$v = \frac{\omega_0 R \sin \alpha}{\cos(\beta - \alpha)} \quad (10)$$

$$v_z = v \cos \beta = \frac{\omega_0 R \sin \alpha \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)} \quad (11)$$

$$v_y = v \sin \beta = \frac{\omega_0 R \sin \alpha \sin \beta}{\cos(\beta - \alpha)} \quad (12)$$

$$\omega = \frac{v_y}{R} = \frac{\omega_0 \sin \alpha \sin \beta}{\cos(\beta - \alpha)}, \quad (13)$$

где ω - угловая скорость абсолютного вращательного движения материала.

Система уравнений описывает движение элементарной частицы смеси, одновременно прижатой к стенке

Секция 1: Переработка и хранение сельскохозяйственной продукции

корпуса и к пальцам ротора. Подставляя в третье уравнение системы значение

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{v \cos \beta}{\alpha} = \frac{\omega_0 \cos \alpha \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)} \quad (14)$$

Приведем эту систему уравнений к следующему виду:

$$\begin{aligned} N_u \cos \alpha - N_u f_u \sin \alpha - N_y \cdot f_y \cos \beta - mg &= 0; \\ N_y \cdot f_y \sin \beta - N_u f_u \cos \alpha - N_u \sin \alpha &= 0; \\ -N_y + mR\omega_0^2 \left[\frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos(\alpha - \beta)} \right]^2 &= 0; \end{aligned} \quad (15)$$

Система (15) характеризует движение частицы материала на вертикальном роторе с пальцами, образующие поверхности пальцы которого направлены по нормали к оси ротора.

Решая систему уравнений (15) получим следующее уравнение для определения угла β

$$\frac{R\omega_0^2 f_y \left[\frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos(\alpha - \beta)} \right]^2}{g} - \frac{f_u + tg \alpha}{\sin \beta (1 - f_u tg \alpha) - \cos \beta (f_u + tg \alpha)} = 0; \quad (16)$$

Нормальные реакции со стороны цилиндра и ротора с пальцами определяется из следующих выражений:

$$N_y = \frac{mg(f_u + tg \alpha)}{f_y \sin \beta (1 - f_u tg \alpha) - f_y \cos \beta (f_u + tg \alpha)}; \quad (17)$$

$$N_u = \frac{mg \sin \beta}{\cos \alpha [\sin \beta (1 - f_u tg \alpha) - \cos \beta (f_u + tg \alpha)]}; \quad (18)$$

Анализ количественных результатов процесса перемещения частиц смеси, полученных при решении уравнения (16), показывает, что на эффективность транспортирования существенное влияние оказывают коэффициенты трения материала о ротор и внутреннюю поверхность корпуса смесителя. Чем больше коэффициент трения материала о внутреннюю поверхность корпуса смесителя и чем меньше коэффициент трения материала о ротор, тем больше поступательная составляющая скорости движения смеси в вертикальном направлении и меньше вращательная скорость смеси вокруг оси ротора.

Так как сила трения равна произведению силы нормального давления на коэффициент трения, то увеличить силу трения материала о внутреннюю поверхность корпуса смесителя можно, увеличив силу нормального давления за счет изменения геометрии пальцев вокруг ротора, таким образом, чтобы образующие поверхности пальцев были направлены не по нормали к оси ротора, а имели наклон вниз от оси ротора к периферии, т.е. располагались под углом θ к нормали оси ротора. В этом случае система (15) имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} N_u \cos \gamma - N_u f_u \sin \alpha - N_y \cdot f_y \cos \beta - mg &= 0; \\ N_y \cdot f_y \sin \beta - N_u f_u \cos \alpha - N_u tg \alpha \cos \gamma &= 0; \\ N_u tg \theta \cos \gamma - N_y + mR\omega_0^2 \left[\frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos(\alpha - \beta)} \right]^2 &= 0; \end{aligned} \quad (19)$$

где θ - угол между образующей пальца ротора и нормалью к оси ротора; α - угол подъема винтовой линии пальцев ротора; γ - угол между плоскостью пальца ротора и осью ротора, $\gamma = \arctg(\sqrt{tg^2 \alpha + tg^2 \theta})$;

Уравнение для определения угла θ , полученное из системы (19), имеет следующий вид:

$$R\omega_0^2 f_y \left[\frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos(\alpha - \beta)} \right]^2 - \frac{f_u \cos \alpha + \cos \gamma tg \alpha - f_y \sin \beta tg \theta \cos \gamma}{\cos \gamma \sin \beta - f_u \cos(\beta - \alpha) - \cos \beta \cos \gamma tg \alpha} = 0; \quad (20)$$

В этом случае нормальные реакции со стороны цилиндра и ротора определяются из следующих выражений:

$$N_y = \frac{mg(f_u \cos \alpha + \cos \gamma tg \alpha)}{(f_y \cos \gamma \sin \beta - f_u \cos(\beta - \alpha) - \cos \beta \cos \gamma tg \alpha)}; \quad (21)$$

$$N_u = \frac{mg \sin \beta}{(f_y \cos \gamma \sin \beta - f_u \cos(\beta - \alpha) - \cos \beta \cos \gamma tg \alpha)}. \quad (22)$$

Решение уравнения (19) позволяет определить влияние угла наклона пальцев ротора на направление движения частицы материала, а, следовательно, и на скорость перемещения смеси в вертикальном направлении.

Коэффициент подачи шнека k_β равен отношению фактической скорости движения v_z к теоретической скорости движения $v_{теор}$ перемешиваемого материала и может быть определен из следующей зависимости, полученной для винтового конвейера [3]:

$$k_\beta = \frac{v_z}{v_{теор}} = \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)} = \frac{1}{1 + tg \alpha \cdot tg \beta}. \quad (23)$$

В результате проведенных теоретических расчетов были найдены рациональные параметры центробежного смесителя-увлажнителя с вертикальным ротором.

Заключение

В результате проведенных исследований разработано конструктивное исполнение центробежного смесителя-увлажнителя с вертикально расположенным ротором. Получены теоретические зависимости, позволяющие определить рациональные параметры рабочего органа.

Литература

1. Патент UA № 74610 МПК А21С 1/02 Відцентровий змішувач-зволожувач. Оpubл. 2012, Бюл. №21.
2. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. – М.: Машиностроение, 1972.- 248 с.
3. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. - М.: Машиностроение, 1983.- 487 с.

УДК 637.531.45

**АНАЛИЗ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ
МЯСОКОСТНОГО СЫРЬЯ ПТИЦЫ**

Бренч А.А. к.т.н., доцент, Дацук И.Е. (БГАТУ, Минск)

Введение

Важная роль в обеспечении населения полноценными продуктами питания принадлежит птицеперерабатывающей промышленности, как наиболее эффективной отрасли животноводства, развивающейся быстрыми темпами.

Во всем мире уделяют большое внимание принципам разделки и обвалки потрошенных тушек цыплят-бройлеров, при этом наряду с отличиями, обусловленными национальными особенностями потребления мяса и ассортимента выпускаемых изделий, в каждой стране существуют общие правила, предполагающие выделение из потрошенных тушек и их частей лучших по энергетической ценности и развитию мышечных, жировых и соединительных тканей для продажи в натуральном виде.

Увеличение объемов производства мяса птицы вызывает определенные трудности реализации этого сырья в виде тушек. Несомненно, желание производителей наращивать объемы производства побудило их изыскивать способы увеличения объемов реализации. В связи с различными привычками и запросами потребителей мяса птицы возникла потребность реализации мяса птицы не только в виде тушек, но и после разделки ее на отдельные части в соответствии с гастрономическим назначением и экономической целесообразностью.

Одним из направлений глубокой переработки мяса птицы является производство полуфабрикатов. При расчленении тушек птицы получают наряду с наиболее ценными частями и части со значительно меньшим содержанием мышечной ткани – это каркасы и крылья. В свою очередь, возникает объективная необходимость дальнейшей их переработки.

Основная часть

Необходимость снизить затраты тяжелого ручного труда на выделение кускового мяса способствовала созданию механизмов и машин для отделения грудных мышц от грудной кости, а также удаления костей из окорочка.

При ручном и машинном выделении кускового мяса часть мышечной ткани (35-40% от массы костей) остается на костях, которые необходимо направлять для дальнейшего извлечения съедобной части.

При потрошении птицы от тушек отделяют шею, которая содержит около 60% мышечной ткани. Вручную отделить ее от шейных позвонков не представляется возможным. С целью механизации процесса отделения мышечной ткани от костей шеи в 60-х годах в США были созданы установки механической обвалки. Затем механической обвалке методом сепарирования стали подвергать менее ценные части тушки, а также кости с прирезами после отделения кускового мяса. [1]

Сложность механизации процессов обвалки и жиловки мяса связана со сложностью анатомического строения туши как единого целого, составленного из разнообразных тканей: мышечной, соединительной, жировой, костной и органов, которые имеют определенное функциональное назначение. Все кости, входящие в скелет животных, имеют сложную криволинейную конфигурацию, специфичную для разных видов.

При механизированной обвалке получают обваленное мясо со свойствами, близкими к нативным, получаемым при ручной обвалке, или в виде пасты – тонкоизмельченного продукта, включающего мышечную и соединительную ткани и костный жир.

Для разделения мясокостного отруба на составные элементы (кость, мышечная и соединительная ткани) необходимо разрушить силы связей, соединяющие их в единое целое. При ручной обвалке связи разрушают разрезанием: мышечную и соединительную ткани срезают ножом. При механизации обвалки и жиловки для разрушения связей используют внешнее давление (одностороннее и объемное), отрыв мягких тканей от кости и соскабливание их с костей скребками. [2]

Сдир (соскабливание) мяса 1 (рис. 1, а) производят скребком 2, выполненным в виде пластины, и изготовленным, как правило, из пищевой стали. Скребок перемещается под действием силы P , создавая касательные напряжения на границе мясо–кость. При этом кость 3 прикрепляют к столу 4. Нагрузку также