

УДК 664.951.022

О.В. Агеев, М.И. Елисеев, Д.Д. Линник

Кафедра пищевых и холодильных машин

Калининградский государственный технический университет

г. Калининград, Российская федерация

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ОБЕЗГЛАВЛИВАНИЯ РЫБЫ

Рассмотрен пневматический привод режущего рабочего органа мехатронного модуля для обезглавливания рыбы. Проанализированы уравнения динамики пневмодвигателя. Приведена принципиальная схема пневматического привода. Изложена математическая модель для силы полезного сопротивления при движении пневмодвигателя с режущим инструментом. Приведена математическая модель для сил сопротивления резанию пластинчатым ножом.

Ключевые слова

обезглавливание рыбы, мехатронный модуль, пневматический привод, пневматический цилиндр, пластинчатый нож, моделирование

Первой основной операцией при разделывании рыбы является удаление головы экономичным резом. При механизированном разделывании рыбы эта операция осуществляется одним дисковым ножом, парой дисковых ножей или гильотинным ножом. Один дисковый нож, как правило, используется при разделывании мелкой и средней рыбы, пара дисковых ножей – для средней и крупной рыбы, гильотинный нож – для крупной и особо крупной рыбы. Основное преимущество использования для обезглавливания одного дискового ножа – простота конструктивного решения и реализации. Однако при разделывании крупной рыбы возникают значительные потери сырья. Такого недостатка лишён способ, при котором голова отделяется двумя дисковыми ножами, однако конструктивно он оформляется несколько сложнее. Основное преимущество гильотинного ножа заключается в возможности создания значительных усилий, что важно при обработке крупной рыбы.

Значительный вклад в расширение области применения пневмопривода внесла разработка мехатронных модулей, включающих однокристалльные микроЭВМ и миниатюрные датчики параметров состояния. При этом сняты многие ограничения по реализации сложных алгоритмов управления, устранена повышенная податливость привода.

Устройством, перемещающим режущий рабочий орган в мехатронном комплексе, является поршневой пневматический двигатель, выполненный в виде пневмоцилиндра двустороннего действия с односторонним штоком. Для обоснования основных параметров необходимо выполнить математическое моделирование динамики пневмопривода. В общем случае это возможно сделать на основе системы нелинейных дифференциальных уравнений, решаемых численными методами.

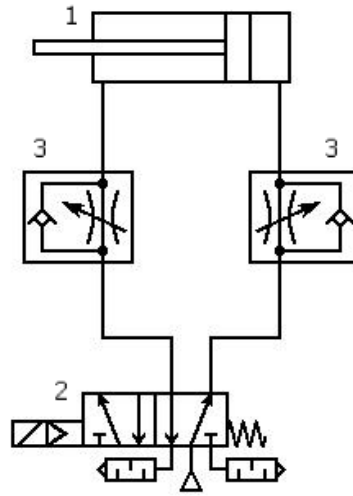
Принципиальная схема пневмопривода мехатронного комплекса для порционирования пищевых продуктов приведена на рис. 1.

К основным уравнениям динамики пневмодвигателя отнесены уравнения изменения давления в его камерах и уравнение движения режущего рабочего органа. Характер изменения давления в камере пневмодвигателя определяется интенсивностью подвода и отвода воздуха, а также и протекающими в этой камере термодинамическими процессами. При математическом моделировании сжатый воздух рассматривается как идеальный газ, давление и температура в напорной пневмолинии полагаются неизменными, а процессы в камере пневмодвигателя считаются квазистационарными.

Баланс энергии в камере пневмодвигателя определяется следующим выражением:

$$dQ_M = dU + dL + dQ_a. \quad (1)$$

Энергия dQ_M , подводимая к камере с поступающим в нее сжатым воздухом, расходуется на изменение внутренней энергии воздуха dU , а также на работу расширения dL . Кроме того, часть энергии dQ_a выделяется в окружающую среду с вытекающим из камеры воздухом.



1 – пневмодвигатель (пневмоцилиндр); 2 – пневмораспределитель; 3 – регулятор скорости.

Рис.1. Принципиальная схема пневматического привода

Заменим $dQ_M = i_M d\theta_M$; $dQ_a = i d\theta_a$; $dU = \theta du + u d\theta$; $dL = p dV$; $i_M = c_p T_M$; $i = c_p T$; $u = c_v T$, где θ_M, θ_a – массы втекающего и вытекающего из камеры воздуха, θ – масса воздуха в камере, u – удельная внутренняя энергия воздуха в камере, i_M, i – удельная энтальпия воздуха, поступающего в камеру из напорной пневмолинии и вытекающего из камеры в атмосферу, p – давление воздуха в камере, V – объем камеры, c_p, c_v – теплоемкость воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме, T_M, T – температура воздуха в напорной пневмолинии и в камере.

С учетом замены запишем выражение (1) в следующем виде:

$$c_p T_M d\theta_M - c_p T d\theta_a = c_v \theta dT + c_v T d\theta + p dV. \quad (2)$$

Используя уравнение состояния воздуха $pV = \theta RT$, где R – газовая постоянная для воздуха, получаем:

$$\theta dT = \frac{1}{R}(p dV + V dp + RT d\theta) \quad (3)$$

Подставим выражение (3) в (2), заменив $c_p/c_v = k$ (k – показатель адиабаты), $c_p - c_v = R$:

$$kRT_M d\theta_M - kRT d\theta_a = k p dV + V dp, \quad (4)$$

где $d\theta_M = G_M dt$, $d\theta_a = G_a dt$, G_M, G_a – расходы воздуха, втекающего в камеру и вытекающего из нее, t – время.

Уравнение (4) представим в следующем виде:

$$\dot{p} = \frac{k}{V}(G_M RT_M - G_a RT - p \dot{V}). \quad (5)$$

Уравнение изменения температуры воздуха в полости получаем из выражения (3), заменив

$$d\theta = (G_M - G_a) dT, \quad \theta = \frac{pV}{RT}:$$

$$\dot{T} = \frac{T}{V} \dot{V} + \frac{T}{p} \dot{p} - \frac{R T^2}{pV} (G_M - G_a). \quad (6)$$

В случае $T = \text{const}$ выражение (5) принимает вид:

$$\dot{p} = \frac{1}{V} (G_M R T_M - G_a R T - p \dot{V}). \quad (7)$$

Для двустороннего пневматического цилиндра выразим объемы полостей через площади поршня, а также координаты его положения в цилиндре:

$$V_1 = (x_0 + x) F_1; \quad V_2 = (x_0 - x) F_2, \quad (8)$$

где F_1, F_2 – площади поршня; x_0 – координата среднего (начального) положения поршня; x – текущая координата поршня, отсчитываемая от среднего положения вправо по оси абсцисс.

Пневматический привод режущего органа работает в цикловом режиме. Поршень перемещается от одного крайнего положения в другое, при этом полости пневмодвигателя соединяются пневмораспределителем поочередно то с напорной пневмолинией, то с атмосферой. Примем, что камера 1 пневмоцилиндра соединена с питающей линией пневмораспределителя, а камера 2 соединена с выхлопной линией. Поскольку в камере 2 идет процесс чистого опорожнения, процесс изменения её состояния описывается уравнением адиабаты. Кроме того, сделаем допущение о постоянстве температуры воздуха в камере.

Подставив выражение (8) в выражение (5), получим уравнения изменения давления в первой и второй камерах пневмоцилиндра:

$$\dot{p}_1 = \frac{k}{x_0 + x} \left(\frac{f_{\text{э}}}{F_1} K p_1 \right), \quad (9)$$

$$\dot{p}_2 = \frac{k}{x_0 - x} \left(-f_{\text{э}} \bar{K} \cdot \frac{\sqrt{R T_0}}{F_2} \cdot \frac{p_2^{(3k-1)/2k}}{p_M^{(k-1)/2k}} \cdot \frac{p_{\text{атм}}}{p_2} \cdot \varphi(\varepsilon) \right) - \frac{k}{x_0 - x} p_2 x, \quad (10)$$

где k – показатель адиабаты; $f_{\text{э}}$ – эффективная площадь проходного сечения питающего и выхлопного отверстий пневмоцилиндра; $K = \bar{K} \sqrt{R T_0} = \sqrt{\frac{2 k R T_0}{k-1}} \approx 760 \text{ м/с}$; $\bar{K} = \sqrt{\frac{2k}{k-1}}$; p_M – давление воздуха в питающей пневмолинии; T_0 – температура воздуха в камерах; $\varphi(\varepsilon)$ – расходная функция; ε – отношение давлений воздуха за отверстием и перед отверстием,

$$\varphi(\varepsilon) = \sqrt{\varepsilon^{2/k} - \varepsilon^{(k+1)/k}} \text{ при } \varepsilon \geq \varepsilon_*; \quad (11)$$

$$\varphi(\varepsilon) = \varphi(\varepsilon_*) = 0,259 \text{ при } \varepsilon < \varepsilon_*. \quad (12)$$

Уравнение движения поршня и связанных с ним механизмов с предположением, что приведённая к штоку масса подвижных частей зависит от положения штока, выражается следующим образом:

где m – приведённая к штоку масса подвижных частей пневмоцилиндра, включая режущий инструмент; C_B – коэффициент вязкого трения; P_{mp} – сила сухого трения; P_C – сила полезного сопротивления.

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \frac{dm}{dx} = F_1 p_1 - F_2 p_2 - C_B \frac{dx}{dt} - P_{mp} \operatorname{sgn} \left(\frac{dx}{dt} \right) - P_C, \quad (13)$$

Таким образом, при допущении о постоянстве температуры воздуха в камерах пневмоцилиндра, выражения (9), (10), (13) являются математическим описанием динамики пневмоцилиндра.

С учётом (13) определим силу полезного сопротивления при движении штока с режущим инструментом:

$$P_C = [F_1 p_1 - F_2 p_2] - \left[C_B \frac{dx}{dt} - P_{mp} \operatorname{sgn} \left(\frac{dx}{dt} \right) \right] - \left[m \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \frac{dm}{dx} \right], \quad (14)$$

Из (14) очевидно, что сила полезного сопротивления определяется рабочим усилием пневмодвигателя с учётом потерь на трение и инерции подвижных частей.

Режущим рабочим органом мехатронного комплекса является пластинчатый нож, который имеет перемещение в одном направлении, перпендикулярном режущей кромке. Нож характеризуется углом заточки и толщиной. Для повышения качества среза и повышения износостойкости инструмента режущей кромке пластинчатого ножа придается фасонная форма.

Усилие, необходимое для вдавливания ножа в продукт, должно уравниваться нормальными и касательными напряжениями на контактных прямых:

$$Q = 2 \tau_0 a \left[\frac{\gamma}{2} + \alpha + \frac{\cos \gamma}{\cos \frac{\gamma}{2}} \sin \left(\frac{\gamma}{2} + \delta \right) \right] \sin \frac{\gamma}{2}, \quad (15)$$

где τ_0 – напряжение трения; δ – угол трения; a – длина контактного участка; γ – угол заточки ножа; α – угол, определяющий размер области с упругой деформацией (зависит от угла заточки ножа).

Полное усилие резания включает силу сопротивления скольжению:

$$P_C = 2 \tau_0 a \left[\frac{\gamma}{2} + \alpha + \frac{\cos \gamma}{\cos \frac{\gamma}{2}} \sin \left(\frac{\gamma}{2} + \delta \right) \right] \cdot \sin \frac{\gamma}{2} + k_C U_n S \quad (16)$$

где k_C – коэффициент сопротивления скольжению; U_n – скорость движения ножа; S – площадь боковых поверхностей ножа.

Из (14) и (16) получаем выражение для максимальной толщины пласта, разрезаемого ножом с пневматическим приводом:

$$a = \frac{[F_1 p_1 - F_2 p_2] - \left[C_B \frac{dx}{dt} - P_{mp} \operatorname{sgn} \left(\frac{dx}{dt} \right) \right]}{2 \tau_0 \left[\frac{\gamma}{2} + \alpha + \frac{\cos \gamma}{\cos \frac{\gamma}{2}} \sin \left(\frac{\gamma}{2} + \delta \right) \right] \sin \frac{\gamma}{2}}, \quad (17)$$

$$- \frac{\left[m \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \frac{dm}{dx} \right] - k_c U_n S}{2 \tau_0 \left[\frac{\gamma}{2} + \alpha + \frac{\cos \gamma}{\cos \frac{\gamma}{2}} \sin \left(\frac{\gamma}{2} + \delta \right) \right] \sin \frac{\gamma}{2}}$$

На рис. 2 и 3 приведены график изменения скорости и ускорения рабочего органа, а также график изменения давления в пневмодвигателе и координаты рабочего органа пневматического привода.

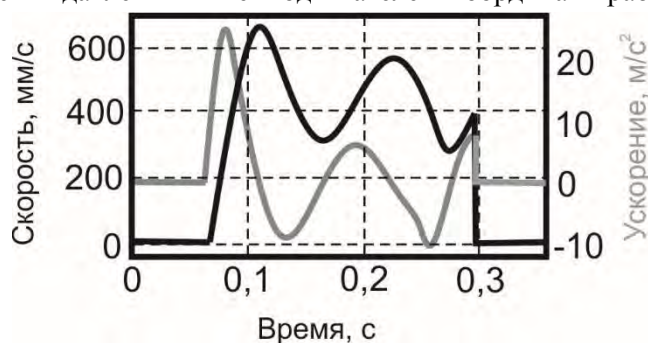


Рис. 2. График изменения скорости и ускорения рабочего органа пневматического привода

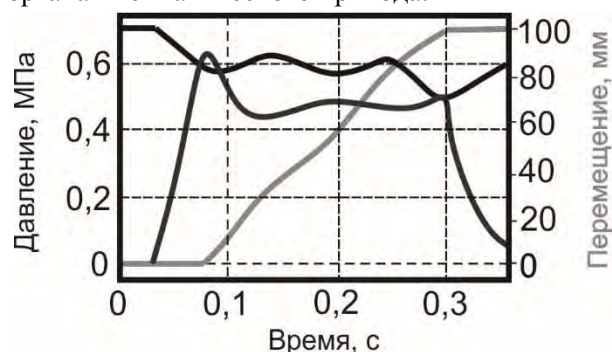


Рис.3. График изменения давления в пневмодвигателе и координаты рабочего органа пневматического привода

Вышеуказанные упрощённые модели создают основу для расчёта параметров пневматического привода мехатронного комплекса. Из моделей (14)-(17) следует, что эффективность порционирования пищевых продуктов пластинчатым ножом с пневматическим приводом зависит от следующих параметров: рабочего давления в напорной магистрали, габаритов пневмодвигателя, потерь на сухое и вязкое трение в пневмодвигателе, массы штока с ножом, потерь на трение на боковых поверхностях ножа, угла заточки и формы ножа.

Список использованной литературы:

1. Агеев О.В. Разработка модуля обезглавливания для мехатронного комплекса по первичной обработке рыбы / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: материалы междунар. науч.-техн. конф. – В 2-х частях / ФГБОУ ВПО “ВГУИТ”. – Воронеж: Изд-во ФГБОУ ВПО “ВГУИТ”, 2014. – Часть 2. – С. 240-246.
2. Агеев О.В. Пути совершенствования оборудования для первичной обработки рыбы на основе мехатроники / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов, А.Е. Ерыванов, М.И. Елисеев // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: материалы междунар. науч.-техн. конф. / ФГБОУ ВПО “Дальрыбвтуз”. – Владивосток: Изд-во ФГБОУ ВПО “Дальрыбвтуз”, 2014. – С. 231-236.
3. Лепешкин А.В. Гидравлические и пневматические системы / А.В Лепешкин, А.А Михайлин; Под ред. Ю.А. Беленкова. – М.: Издательский центр “Академия”, 2004. – 336 с.

© О.В. Агеев, М.И. Елисеев, Д.Д. Линник, 2015

В.Л. Астравич

аспирант

Мурманский Государственный Технический Университет

О.А. Голубева

к.т.н, доцент кафедры «Технологического и холодильного оборудования»

Мурманский Государственный Технический Университет

Ю.В. Шокина

д.т.н, профессор кафедры «Технологии пищевых производств»

Мурманский Государственный Технический Университет

г. Мурманск, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА КОМБИНИРОВАННОГО БЛАНШИРОВАНИЯ СКАТА ЗВЕЗДЧАТОГО

Аннотация

Данная статья посвящена рассмотрению проблем связанных с созданием технологии для переработки ската звездчатого. А именно, нахождение оптимального режима комбинированного бланширования для ската звездчатого.

Ключевые слова

Скат звездчатый, мочевина, комбинированное бланширование, оптимальный режим ПТО.

На сегодняшний день остро стоит проблема производства пищевых продуктов из недоиспользованного сырья.

Распоряжение Правительства РФ от 17 апреля 2012 г. N 559-р О Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности РФ на период до 2020 года предусматривает системное решение проблем развития пищевой и перерабатывающей промышленности, ресурсное и финансовое обеспечение, а также механизмы реализации мероприятий Стратегии и показатели их результативности.[1]

В рамках реализации указанной Стратегии применительно к рыбоперерабатывающей отрасли одним из наиболее перспективных направлений представляется разработка и совершенствование технологий недоиспользованных рыбных ресурсов. Одним из таких ресурсов является скат звездчатый - промысловый объект Северного бассейна.

Единственной проблемой для переработки ската на пищевые цели является содержание его высокого количества мочевины. Для решения данной проблемы предложено подвергать сырье после дефростации и разделки на крылья предварительной тепловой обработке (ПТО) - комбинированному бланшированию в воде при температуре от 96 до 98 °С и острым паром с температурой 100 °С.[2, с. 4]

В дальнейшем предполагается использование ската звездчатого для изготовления широкого ассортимента продукции с ПТО.

Экспериментально определены потери массы на этапе комбинированного метода бланширования полуфабриката – крыльев ската после дефростации, в зависимости от величины удельной поверхности крыльев и режимов ПТО с использованием методов математического планирования эксперимента (центральное ортогональное композиционное планирование, полнофакторный эксперимент). Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние режимов ПТО и удельной поверхности крыльев на потери массы

	Номер опыта	Время обработки паром, мин	Время обработки водой, мин	Удельная поверхность, м ² /кг	Потери массы, %
ЭП	1	3	1	0,323	9,73
				0,266	10,2
				0,26	13,93
	2	7	1	0,293	8,85
				0,298	13,83
				0,34	8