Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №1 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-1>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/98TVN115.pdf>

DOI: 10.15862/98TVN115 (<http://dx.doi.org/10.15862/98TVN115>)

УДК. 681.5.017:007:664

Сантос Куннихан Марио Рохелио

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»

Россия, Тверь

Аспирант

E-mail: latinbrother@mail.ru

Имитационная модель управления уровнем молотого кофе в бункере с помощью многодвигательных приводов

Аннотация. Управления уровня молотого кофе в бункере осуществляется с помощью многодвигательных приводов как: Роторный дозатор, Конвейер и механические устройства. Имитационная модель управления уровня молотого кофе предусматривает динамические движения уровня для стабилизации и устранения застойные зоны в процессе дозирования. Описаны элементы теории истечения сыпучих материалов.

Контролируемыми параметрами являются уровень продукта, частота вращения привода дозатора, масса продукта в упаковке. К возмущающим факторам, влияющим на точность дозирования, наряду с физико-механическими свойствами продукта относятся степень наполненности бункера и неравномерность подачи продукта в дозирующий механизм. Коэффициенты модели рассчитываются в ходе итерационной процедуры с учетом скоростей вращения приводов подачи и ротора дозатора. Модель описана в пространстве состояний с помощью языка программирования MATLAB, среды Simulink.

Ключевые слова: роторный дозатор; сыпучие материалы; механические устройства; кофе; уровень; привод.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Сантос Куннихан Марио Рохелио Имитационная модель управления уровнем молотого кофе в бункере с помощью многодвигательных приводов// Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №1 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/98TVN115.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/98TVN115

Цель работы. Повышения качества выпускаемого продукта за счет более равномерного разброса фракционного состава молотого кофе. Разработка и исследование модели системы управления уровня обжаренного молотого кофе процессом дозирования, обеспечивающей стабилизацию уровня с использованием частотно-регулируемых приводов.

Производство молотого кофе можно разбить на несколько основных технологических процессов: сухую обработку цельных зерен кофе, влажную обработку цельных зерен кофе, обжаривание зерен и собственно производство молотого кофе (помол). Основным сырьем для производства кофе являются в основном два вида, получивших наибольшее распространение: Аравийский (C. Arabica) и Робуста (Canephora) [1]. Они представляют собой зерна средние по размеру, неоднородные по величине и окраске, несколько удлинённые и слегка вздутые, плоской и округлой формы. Производство жареного натурального кофе [2] состоит из следующих основных операций:

- прием и сепарация сырья;
- обжаривание;
- размол (при изготовлении молотого кофе);
- просеивание обжаренного полуфабриката;
- смешивание компонентов;
- упаковывание.

Среди причин, затрудняющих производство молотого кофе с заданными свойствами, основными являются ошибки дозирования, которые носят случайный характер и обусловлены, в основном, неравномерностью истечения продукта из расходного бункера.

С целью устранения этих факторов необходимо усовершенствовать конструкции и системы управления дозированием с многодвигательным приводом и держать стабильность уровня молотого кофе.

Вначале рассмотрим динамику молотого кофе в бункере при дозировании. Как любой другой сыпучий материал, кофе имеет разные физические свойства, которые влияют на динамические воздействия при истечении продукта. Один из самых важных свойств являются размер частиц, влажность и гранулометрический состав [3, 4].

Влажность кофе может быть распределена неравномерно по объему или поверхности. Она влияет на текучесть, вязкость, плотность, твердость и многие другие параметры [5 6]. В таблице 1 показано основные свойства молотого кофе. Бункер объемного роторного дозатора имеет цилиндроконическую форму [7]. На рис 1 показано основные параметры бункера. Коэффициенты и дифференциальные уравнения рассматриваются по разным теоремам механики. При истечении молотого кофе из бункера, уделяется большое внимание на скорость истечения продукта, так как скорость зависит от уровня продукта в бункере и размера отверстия выпуска. Также для правильного истечения продукта, должно быть хорошее конструкция бункера зависимости от свойства сыпучего материала [8].

Таблица 1

Свойства молотого кофе

Размер частиц	Влажность	Плотность	Угол трения	Форма
500мкм (средний помол) 20-30мкм (тонкий помол)	До 6%	0,25 г/см ³	До 45°	Неправильная геометрическая форма.

Рис 1. Основные параметры бункера. 1а. Изменение уровня Δh с разными радиусами Δr . 1б. Поперечная площадь A , высота бункера H , площадь отверстия выпуска продукта, оси координаты x, y

Скорость истечения молотого кофе, определяется по теореме Бернулли [9]. Чтобы определить коэффициент истечения молотого кофе, используем уравнению механики:

$$H_0 + \frac{P_0}{w} = \frac{P_1}{w} + \frac{v^2}{2g} + \gamma \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Где, H_0 – высота бункера, w – вес молотого кофе, $\frac{P_0}{w}, \frac{P_1}{w}$ – нагрузки давлением, $\frac{v^2}{2g}$ – нагрузки скорости, $\gamma \frac{v^2}{2g}$ – нагрузки от сопротивления отверстия истечения, γ – коэффициент сопротивления.

Начальное условие: Скорость в точке $P_0 = 0$, абсолютное давление

$$H = H_0 + \frac{P_0 - P_1}{w} \quad (2)$$

$P_1 = P_0 = P_{\text{атм}}$, тогда $H = H_0$. Сравниваем уравнение (2)(1) и получаем:

$$H = \frac{v^2}{2g} (1 + \gamma) \quad (3)$$

Из уравнения (3) определяем скорость истечения молотого кофе:

$$v = \frac{1}{\sqrt{1+\gamma}} \sqrt{2gH} = C \sqrt{2gH},$$

где C – коэффициент скорости [10].

Расход молотого кофе определяется как:

$$q_2 = av = \varepsilon a C \sqrt{2gH}$$

$\varepsilon = \left(\frac{d_{\text{мт}}}{d}\right)^2$, где ε – коэффициент [8], зависящий от размера частицы и размера отверстия истечения; диаметр мелющего тела; диаметр отверстия бункера.

$$Cd = \varepsilon C$$

$$q_2 = aCd\sqrt{2gH} \quad (4)$$

где Cd – коэффициент истечения. Для молотого кофе $Cd = 0.6$

Созданы три точки уровня молотого кофе, максимум, минимум и уровень в любом точке высоты бункера. Предполагается, что управления уровнем молотого кофе в любом точке бункера кроме максимального и минимального улучшает качеству дозирования.

$$V = \pi \int_{h_1}^{h_2} [f(h)]^2 dh$$

Где, V – объем бункера, Δh – изменение уровня молотого кофе, $f(h)$ – функция от уровня продукта.

Физические свойства молотого кофе и характеристики конструкция бункера являются важными параметрами для математического решения задачи уровня молотого кофе и его время истечения.

Допущение: При истечении кофе из бункера, появляются застойные зоны, и происходит сводооброзование в процессе дозирования, наблюдаются явления сегрегации.

Для исправления данных возмущений, включается контур контроля уровня молотого кофе в бункере.

В оси координате $y = h$, то $h = f(t)$.

Начальное условие: При $h(0) = H$, $t = 0$ (бункер заполнен)

$$dV = A(h)dh$$

$$A(h) \frac{dh}{dt} = C_d a \sqrt{2g} h^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$A(h)$ и h , являются переменными. Согласно теореме Пифагора находим $A(h)$.

$$A(h): A = \pi x^2 \rightarrow x = \frac{Rh}{H} \rightarrow A(h) = \frac{\pi R^2 h^2}{H^2}$$

Поставляем уравнению (5) и получаем:

$$\begin{aligned} \frac{\pi R^2 h^2}{H^2} \frac{dh}{dt} &= -C_d a \sqrt{2g} h^{\frac{1}{2}} \\ \frac{\pi R^2 h^2}{H^2} \left(\frac{1}{-C_d a \sqrt{2g} h^{\frac{1}{2}}} \right) dh &= dt \rightarrow \left[-\frac{\pi R^2 h^2}{H^2 C_d a \sqrt{2g}} \right] h^{\frac{3}{2}} dh = dt, B = \left[-\frac{\pi R^2 h^2}{H^2 C_d a \sqrt{2g}} \right] \\ \int B h^{\frac{3}{2}} dh &= \int dt \rightarrow \frac{2}{5} B h^{\frac{5}{2}} = t + C \end{aligned}$$

$$\frac{2}{5}Bh^{\frac{5}{2}} = t + C \quad (6)$$

$$(h = H) \text{ когда } t = 0 \rightarrow C = \frac{2}{5}BH^{\frac{5}{2}} \quad (7)$$

сравниваем уравнения (6) и (7) и получаем уравнение:

$$\begin{aligned} \frac{2}{5}Bh^{\frac{5}{2}} &= t + \frac{2}{5}BH^{\frac{5}{2}} \\ h^{\frac{5}{2}} &= \frac{5}{2B}t + H^{\frac{5}{2}} \end{aligned} \quad (8)$$

уровень высоты молотого кофе в бункере равняется:

$$h = \left[\frac{5}{2B}t + H^{\frac{5}{2}} \right]^{\frac{2}{5}} \quad (9)$$

Когда $t = 0$, выполняется начальное условие $y(0) = H$. Чтобы найти Время истечения молотого кофе из бункера, определяется через уравнения (8).

Изменение уровня в бункере Δh равняется разность между расходами $\Delta q(t)$, от времени.

$$dh = \frac{1}{A}(q_1 - q_2)dt$$

Если взять интеграл, считая начальное условие (0) получаем:

$$h(t) = \frac{1}{A} \int (q_1(t) - q_2(t)) dt \quad (9)$$

Уравнение (9) говорит о том что, любое изменение уровня молотого кофе в бункере от времени зависит от разницы между массой на входе и массой на выходе объемных расходов $q_1(t), q_2(t)$.

Имитационная модель управлением молотого кофе с помощью многодвигательных приводов реализована в среде матлаб версия 7.0 предложение simulink.

Программа Simulink является приложением к пакету MATLAB [11]. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты.

Система управления уровнем молотого кофе включает:

Передаточные функции многодвигательных приводов апериодическое звено первого порядка. Исполнительные механизмы (Двигатели 1,2 с параметрами скорости вращения ленточного конвейера и скорости вращения роторного дозатора).

$$W_{\text{дв}} = \frac{K}{T_p + 1} \quad (10)$$

Управления скоростью вращения многодвигательных приводов осуществляется в зоне рабочего участка механической характеристики, т.е. Передаточная функция двигателя [13] по каналу частота питающей сети – скорость вращения включает произведение двух компонент

на рис 2: Первая описывает электромеханическую составляющую, вторая – механическую составляющую. Оба звена – апериодические звенья первого порядка.

$$w_1 = \frac{K_{дв}}{T_{эп} + 1}, w_2 = \frac{K}{T_p + 1}$$

$$K_{дв} = 2.54, T_{эп} = 0.024 \text{ с}, T_p = 0.07 \text{ с}$$

$$w_{дв} = \frac{K_{дв} K}{(T_{эп} + 1)(T_p + 1)} \quad (11)$$

Передаточная функция тиристорного преобразователя с системой импульсно-фазового управления силовыми элементами.

$$w_{тп} = \frac{K_{пр} e^{\tau p}}{T_y p + 1} \quad (12)$$

$$K_{пр} = 1, \tau = 0, T_y = 0.008 \text{ с}$$

Рис 2. Системы обратной связи двигателя 1,2

Регулирование скорости движения ленты конвейерной установки может достигаться применением специальных приводов посредством изменения момента привода в зависимости от поступающего на конвейер грузопотока. Опыт эксплуатации ленточных конвейеров подтвердил, что для снижения затрат электроэнергии, уменьшения износа транспортной ленты, роликов и става конвейера наиболее эффективным средством является применение частотно-регулируемого электропривода, который позволяет регулировать скорость движения ленты в зависимости от фактической загрузки конвейера.

Дозатор объемный роторный предназначен для дозирования сыпучих и гранулированных продуктов мелких фракций. Конструкция дозатора обеспечивает возможность работы с абразивными и пылящими продуктами. Роторный дозатор работает в шаговом рабочем цикле. Может использоваться как самостоятельно, так и в комплекте с фасовочно-упаковочными машинами серии «Питпак» [12] [13].

Подсистема это фрагмент Simulink-модели, оформленный в виде отдельного блока, на рис 3 отображается подсистема бункера с целью уменьшения количества одновременно отображаемых блоков на экране.

Рис 3. Подсистема изменения уровня молотого кофе в бункере

Подсистема – бункер включает: 1. Блок фиксированной задержки сигнала Transport Delay чтобы обеспечить задержку входного сигнала на заданное время. 2. Интегратор для интегрирования входного сигнала (h – уровень кофе) 3. Усилители Gain выполняет умножение входного сигнала на постоянный коэффициент. 4. Блок сумматор 5. Подсистема расхода $q2$ на рис 4.

Рис 4. Подсистема расхода $q2$

В качестве расхода $q1$, добавленный блок усилителя, который определяет плотность молотого кофе на входе системы (рис 5). На него действует случайный сигнал с нормальным распределением. Дисперсия $\sigma = 1.7$.

Рис 5. Подсистема расхода $q1$

Имитационная Модель управления уровнем молотого кофе с помощью многодвигательным приводом представлено на рис 6. Результат изменения уровня показано на рис 7.

Рис 6. Имитационная модель управления уровнем молотого кофе

Рис 7. Уровень молотого кофе в бункере

С помощью ресурсов источников сигналов и возможность настройки в средство simulink - матлаб, приведены разные имитационные эксперименты. Рис 8 показывает изменение уровня молотого кофе при настройке ПИД – регулятора с источником случайного сигнала с нормальным распределением Random Number.

Параметры: 1. Mean - Среднее значение сигнала 2. Variance- Дисперсия (среднеквадратическое отклонение). 3. Initial seed – Начальное значение.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n}}$$

Где, σ – Среднее квадратическое отклонение (корень из дисперсии)

Рис 8. Результат случайного сигнала с нормальным распределением

Сигнал с равномерным распределением (рис. 9) имеет следующие параметры: 1. Minimum – Минимальный уровень сигнала. 2. Maximum – Максимальный уровень сигнала. 3. Initial seed – Начальное значение.

Рис 9. Результат при формировании случайного сигнала с равномерным распределением

Разработана модель, включающая передаточные функции приводов для загрузки и дозирования молотого кофе технологических линий, математические формулы для определения уровня в бункере при изменении параметров настройки свойства материала и многодвигательных приводов, реализованная в среде Матлаб. Модель позволяет исследовать случайные возмущения как со стороны изменения скорости приводов питателя и дозатора, так и со стороны изменения свойств молотого кофе. Исследовано влияние на уровень действие внешних возмущений. Доказано, что в применении П. (или) ПИ регуляторов позволит обеспечить более точную стабилизацию уровня, чем при использовании позиционного закона управления в условиях колебаний свойств молотого кофе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Davila A., M.T.; Puerta Q., G.I.; Zuluaga V., J. La composición química y el proceso del café en relación con la calidad. Chinchiná, Cenicafe, 1987. 58 p.
2. Fajardo P., I.F.; Sanz U., J.R. Evaluación de la calidad física del café en los procesos de beneficio húmedo tradicional y ecológico (Becolsub). Cenicafe 54(4): 286 – 296. 2003.
3. Казаков Е.Д., Кретович В.Л. Биохимия зерна и продуктов его переработки М.: Колос, 1980.
4. Пестов Н.Е. Физико-химические свойства зернистых и порошкообразных химических продуктов. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 239 с.
5. Сантос М.Р. Задача измерения влажности кофе // Сборник научных трудов. – 2013. – №3. – С. 25.
6. Сантос М.Р. Определение эквивалентных размеров частиц при гранулометрическом анализе молотого кофе // Вестник Тверского государственного технического университета. 2013. №1 (23). С.24-27.
7. Wilson A. The hydrostatic paradox. The Physics Teacher, Vol. 33, November 1995, pp. 538-539.
8. Walker J. The hydrostatic paradox: simple geometries, explicit calculations. The Physics Teacher, Vol. 36, September 1998, pp. 378-379.
9. Определяющие законы механики грунтов // Механика. Новое в зарубежной технике: сб. ст. – М., 1975. – 280 с.
10. Trueba Coronel, Samuel. Hidraulica. Compañía editorial continental. Mexico 1970.
11. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в Матлаб. – СПб: Питер, 2005.
12. Гаврилов П.Д., Гимельштейн Л.Э., Медведев А.Э. Автоматизация производственных процессов. М.: Недра, 1986. – 215 с.
13. Груба В.И., Никулин Э.Н., Оглобченко А.С. Технические средства автоматизации в горной промышленности. К.: ИСМО, 1998. – 378 с.

Рецензент: Ахремчик О. Л., Начальник отдела организации научно-исследовательских работ, Тверского государственного технического университета, доктор технических наук.

Santos Cunnighan Mario Rogelio
Tver State Technical University
Russia, Tver
E-mail: latinbrother@mail.ru

Simulation model level control of ground coffee into the hopper by multy - motor drive

Abstract. Management level of ground coffee in the hopper by means of multi-motor drives as rotary dispenser, conveyors and mechanical devices. A simulation model of management level ground coffee provides dynamic movement level to stabilize and eliminate dead zones in the process of dosing. Describes the elements of the theory of the expiration of bulk materials.

Controlled parameters are the product level, the frequency of rotation of the drive dispenser weight in the package. By perturbing factors affecting the accuracy of dosing, along with the physical and mechanical properties of the product include the degree of fullness of the hopper and the uneven flow of product to the dispensing mechanism. Model coefficients are calculated during the iterative procedure taking into account the c drive speed of the rotor and feed dispenser. The model is described in state space using the programming language MATLAB, environment Simulink.

Keywords: rotary dispenser; bulk materials; mechanical devices; coffee; level; drive.

REFERENCES

1. Davila A., M.T.; Puerta Q., GI; Zuluaga V., J. Chemical composition and coffee process in relación with the quality. Chinchiná, Cenicafé, 1987. 58 p.
2. Fajardo P., I.F; Sanz U., JR Evaluation of the physical quality of coffee in wet milling processes traditional and organic (Becolsub) .Cenicafé 54 (4): 286 - 296 2003.
3. Kazakov ED, Kretovich VL Biochemistry of grain and its products M .: Kolos, 1980.
4. NE Pestov Physico-chemical properties of the powder and granular chemical products. M.-L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1947. 239 p.
5. MR Santos Moisture measurement coffee // Collection of scientific works. - 2013. - №3. - P. 25.
6. Santos MR Determination of equivalent particle size when the particle size distribution analysis of ground coffee // Vestnik Tver State Technical University. 2013. №1 (23). S.24-27.
7. Wilson A. The hydrostatic paradox. The Physics Teacher, Vol. 33, November 1995, pp. 538-539.
8. Walker J. The hydrostatic paradox: simple geometries, explicit calculations. The Physics Teacher, Vol. 36, September 1998, pp. 378-379.
9. Determined by the laws of soil mechanics // Mechanics. New in foreign technology: Sat. Art. - M., 1975. - 280 p.
10. Trueba Coronel, Samuel. Hidraulic. Editorial continental company. Mexico in 1970.
11. Lazarev Yu Modeling of processes and systems in Matlab. - SPb: Peter, 2005.
12. Gavrilov PD, Gimelshteyn LE, Medvedev AE Automation of production processes. M.: Nedra, 1986. - 215 p.
13. GrubaV.I. Nikulin, EN, AS Oglobchenko Means of automation in mining. K.: ISMO, 1998. - 378 p.