Научное обоснование параметров истечения сыпучей пищевой продукции из выпускного канала бункера в линейных весовых дозаторах

Александр Гавва, Анастасия Дереновская, Николай Масло

Scientific substantiation options expiration granular food products through the outlet of feed hopper in linear gravimetric dosing unit: *Research results of functioning linear gravimetric weightfeeder are present in this article, providing that the optimum thickness of the layer and velocity movement of granular products in feeding conveyor are guarantee maximum production and reducing dosing errors.*

Key words: *granular products; linear gravimetric dosing unit; feeding conveyor; exactness of dosage; dosage error; weigher capacity.*

ВВЕДЕНИЕ

Повышение точности фасования сыпучих продуктов является актуальной задачей, решение которой уменьшает риски производителя и покупателя пищевой продукции. Решение такой задачи заключается в совершенствовании дозирующих устройств упаковочных машин, которое предполагает исследование их характеристик на основе комплексного подхода к проектированию. Для этого нужно провести оценку их метрологических характеристик и путей повышения точности функционирования и производительности для конкретных видов сыпучей продукции.

Сегодня, на рынке машин, для упаковывания сыпучей продукции доминируют машины с линейными весовыми дозаторами. Это объясняется тем, что такие дозаторы имеют оптимальное соотношение между стоимостью, точностью дозирования и производительностью.

Каждый элемент структуры современного линейного весового дозатора (рис. 1) для сыпучей пищевой продукции выполняет отдельные функции упаковывания (дозирование, фасование, герметизацию) и влияет на основные характеристики упаковочной машины: точность дозирования, производительность [2]. Важно знать влияние этих структурных элементов на основные технические характеристики машин и их взаимосвязь.

Точность дозирования можно повышать за счёт внедрения следующих мероприятий:

- увеличение относительной доли продолжительности досыпания;
- уменьшение скорости движения продукции при быстром и медленном наполнении взвешивающей ёмкости ;
- уменьшение проходного сечения питателя при различных режимах наполнения взвешивающей ёмкости;
- уменьшение зазора между нижней кромкой бункера и рабочей поверхностью питателя;
- применение специальных технических средств для стабилизации высоты слоя продукции на питателе (многоступенчатое виброуплотнение, сглаживание щётками, регулирование поперечного сечения канала бункера и т.д.) ;
- стабилизация давления продукции в бункере на рабочий элемент питателя ;
- рациональное расположение взвешивающей ёмкости относительно рабочего органа питателя.

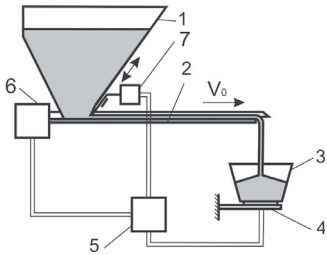

Рис. 1. Структурная схема весового дозатора для сыпучей продукции:
1 – приёмный бункер, 2 – питатель, 3 – взвешивающая ёмкость, 4 – датчик веса, 5 – система управления весом дозы продукции, 6 – системы управления выдачи продукции из бункера, 7 – регулируемая заслонка

Кроме того, следует отметить, что для линейных весовых дозаторов между точностью дозирования и производительностью существует определённая функциональная зависимость. Точность дозирования уменьшается при повышении производительности за счёт :

- увеличения скорости подачи продукции в дозатор;
- увеличения относительной доли продолжительности « грубого » дозирования и за счёт уменьшения доли продолжительности « тонкого ».

Экспериментальными исследованиями установлено, что обеспечить достаточно высокую точность дозирования можно при условии непрерывной и равномерной подачи сыпучей продукции из бункера. Интенсивность перемещения зависит от уровня заполнения бункера продукцией, закона истечения её из бункера , закона движения шибера в бункере, равномерности распределения продукции на питателе.

А поэтому сделан вывод, что для минимизации погрешности дозирования необходимо:

- обеспечить эффективную работу бункера, то есть управлять процессом истечения продукции из выпускного канала бункера;
- обеспечить эффективную работу питателя, то есть управлять процессом отвода сыпучей продукции от выпускного канала бункера принимающим рабочим органом питателя .

Для определения рациональных параметров процесса истечения сыпучего продукции из бункеров и её перемещения питателем необходимо выполнить исследование этого процесса используя метод математического моделирования.

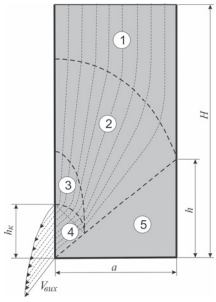

Рис. 2. Зоны структурно-механического состояния сыпучей пищевой продукции при её истечении из выпускного канала в боковой части бункера

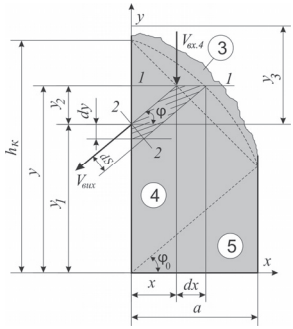

Рис. 3. Расчётная схема для определения скорости истечения сыпучей пищевой продукции из выпускного канала в боковой части бункера

Рассмотрим зоны структурно - механического состояния сыпучей пищевой продукции при её истечении из выпускного канала в боковой части прямоугольного бункера (рис. 2). В таком бункере можно условно выделить 5 зон [1,3] . Следует отметить, что в зоне 5 частицы находятся в неподвижном состоянии. В зоне 1 каждая частица продукции движется как твёрдое тело с постоянной небольшой скоростью параллельно стенкам бункера. В зоне 2 – частицы сыпучей пищевой продукции скользят друг относительно друга с постоянной небольшой скоростью. В зоне 3 – сыпучая пищевая продукция находится в пластическом состоянии .

Скорость перемещения частиц сыпучей пищевой продукции на выходе из динамического свода находится по формуле

$$V_{вих.3} = V_{вх.4} = (2 \cdot g \cdot \gamma \cdot x \cdot (1 + 1 / f - (1 + f^2)^{0,5}), / \gamma)^{0,5}, \qquad (1)$$

где g - ускорение свободного падения; γ – удельный вес продукции; x – текущее значение абсциссы; f – внутренний коэффициент трения сыпучей пищевой продукции.

Зона 4 характеризуется как зона сдвига (рис. 2). В ней происходит истечение частиц сыпучей пищевой продукции через выпускной канал бункера. Частицы находятся в свободнодисперсном состоянии .

Использование уравнения Бернулли для сечений 1-1 и 2-2 :

$$y + (V_{вх.4})^2 / (2 \cdot g) = (V_{вих})^2 (1 + \xi) / (2g) \qquad (2)$$

даёт возможность определить скорость:

$$V_{вих} = [\, 2 \cdot g \cdot (y + x \cdot (1 + 1 / f - (1 + f^2)^{0,5})) / (1 + \xi)\,]^{0,5} \qquad (3)$$

и интенсивность истечения сыпучей пищевой продукции из выпускного канала в боковой части бункера:

$$Q_1 = 2/3 \cdot \gamma \cdot B \cdot \cos(\varphi) \cdot [\, h_k / (K + f)\,]^{1,5} \cdot [2 \cdot g \cdot (K_1 + f) / (\xi + 1)\,]^{0,5}, \qquad (4)$$

где ξ – коэффициент местных потерь Дарси-Вейсбаха при движении сыпучей продукции в зоне обрушения, характеризующий потери механической энергии потока продукции при столкновении частиц между собой; h_k – высота выпускного канала; φ – угол внутреннего трения сыпучей продукции; φ_0 – угол наклона границы раздела области подвижного и неподвижного состояния сыпучей продукции; B – ширина выпускного канала бункера.

Безразмерные коэффициенты К и K_1 определяются по формулам:

$$K = 0,5 \cdot [\, f + (1 + f^2)^{0,5}\,], \qquad (5)$$

$$K_1 = 1 / f + f - (1 + f^2)\,. \qquad (6)$$

Максимальное быстродействие линейного весового дозирующего устройства обеспечивается при условии соответствия интенсивности Q_1 истечения сыпучей пищевой продукции из бункера и интенсивности Q_2 перемещения продукции питателем:

$$Q_1 = Q_2\,; \qquad (7)$$

$$Q_2 = \gamma \cdot \delta \cdot B \cdot V_0\,, \qquad (8)$$

где δ – высота слоя продукции в питателе.

Зависимости выраженные системой уравнений (7,8) позволяют подобрать значение толщины слоя продукции при перемещении питателем:

$$\delta = 2 / 3 \cdot (\cos (\varphi) / V_0) \cdot [h_k / (K+ f)]^{1,5} \cdot [2 \cdot g \cdot (K_1 + f) / (\xi + 1)]^{0,5} \quad (9)$$

и скорость перемещения сыпучей продукции питателем:

$$V_0 = 2 / 3 \cdot \delta \cdot \cos (\varphi) \cdot [h_k / (K+ f)]^{1,5} \cdot [2 \cdot g \cdot (K_1 + f) / (\xi + 1)]^{0,5} . \quad (10)$$

Анализ уравнения (8) с помощью графика на рис. 3, проведён при принятых граничных значениях на следующие параметры: толщину слоя продукции $\delta_{min} \le \delta \le h_k$, скорость перемещения продукции $V_{0min} \le V_0 \le V_{0max}$. Установлено, что существует такая пара значений $\delta_{опт}$, $V_{0опт}$ при которых $Q_2 \rightarrow Q_{2max}$. Итак максимальное возможное значение интенсивность перемещения продукции приобретает при условии:

$$V_{0опт} = V_{0min} + (\delta_{опт} - \delta_{min}) \cdot (V_{0max} - V_{0min}) / (h_k - \delta_{min}). \quad (11)$$

С помощью графиков, приведённых на рис. 4, можно определить оптимальные значения скорости перемещения сыпучей продукции питателем $V_{0опт}$ и соответствующую толщину слоя продукции $\partial_{опт}$ что обеспечивает максимально возможную интенсивность перемещения продукции питателем Q_{2max}.

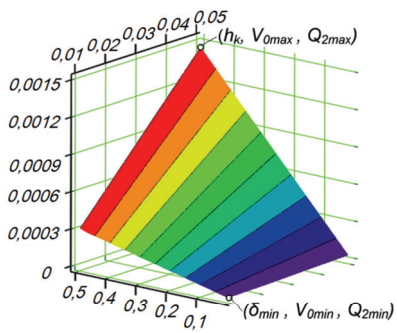

Рис. 3. График изменения интенсивности перемещения сыпучей пищевой продукции питателем от толщины слоя и скорости продукции на питателе: Q_2 – интенсивность перемещения продукции, δ – толщина слоя продукции, V_0 – скорость перемещения продукции

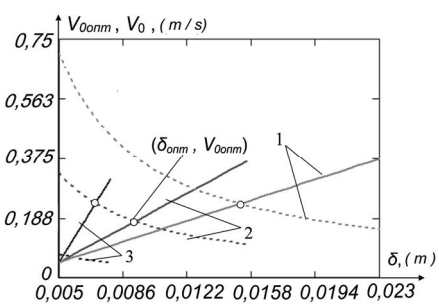

Рис.4. Графики изменения необходимой (- - -) и теоретической оптимальной (__) скорости перемещения сыпучей продукции питателем для:

1. h_k = 0,03 (*м*);

2. h_k = 0,02 (*м*);

3. h_k = 0,01 (*м*)

ВЫВОДЫ

Исследования процесса истечения сыпучего пищевой продукции из выпускного канала в боковой части бункера позволили определить кинематические параметры перемещения продукции из бункера на питатель, обеспечить высокую производительность и равномерное распределение сыпучей продукции на питателе за счет использования оптимальных значений толщины слоя продукции и скорости перемещения продукции; уменьшить погрешность дозирования.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Кирия Р.В. Истечение сыпучего груза из бункера с боковым щелевым отверстием / Р.В. Кирия, Д.Д. Брагинец, Б.И. Мостовой // Сборник научных трудов Национального горного университета. – Днепропетровск. – 2009.– № 34.– с. 114-122.

[2] Овчаренко А.И., Середа А.Д., Шапиро М.В. Погрешность дозирования сыпучих продуктов / Упаковка . – 2007. – N 1. – с. 44 - 47.

[3] Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. / Кукуджанов В.Н. Монография. М. : Наука, 1990. – 272 с.

Для контактов:

Анастасия Дереновская, Национальный университет пищевых технологий – Киев, Украина, тел. (095) 7928188, e-mail: anastasya.d@gmail.com

Доклад рецензирован