

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ВЕСОВОГО ДОЗИРОВАНИЯ

П.М. Явник, С.В. Першина, В.Ф. Першин

Кафедра «Прикладная механика и сопротивление материалов»,
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; soprm@nnn.tstu.ru

Представлена членом редколлегии профессором Н.Ц. Гаганова

Ключевые слова и фразы: математическая модель; непрерывное весовое дозирование; сыпучий материал.

Аннотация: Представлена математическая модель непрерывного весового дозирования сыпучих материалов, в которой учитывается неравномерность распределения материала на ленте.

Процесс непрерывного весового дозирования сыпучих материалов является одной из ключевых операций многих технологических процессов. Процесс состоит из трех основных операций: формирование непрерывного потока сыпучего материала с определенной объемной производительностью; определение весового расхода данного потока за определенный промежуток времени; расчет весовой производительности, сравнение ее значения с заданными и, при необходимости, корректировка объемной производительности.

По способу получения информации для расчета весовой производительности, весовые дозаторы непрерывного действия условно можно разделить на три большие группы, в которых происходит взвешивание [1]:

- определенной части непрерывного потока материала, находящегося в дозаторе;
- материала, оставшегося в бункере (технология Loss-in-Weight);
- определенной части потока на выходе из дозатора.

Первый способ, как правило, реализуется в ленточных дозаторах. Известны различные варианты установки весоизмерительного датчика, но, наш взгляд, наиболее перспективной, с точки зрения повышения точности дозирования, является схема, представленная на рис. 1.

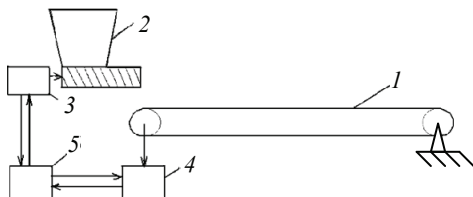


Рис. 1. Ленточный весовой дозатор:

1 – ленточный транспортер; 2 – шнековый питатель; 3 – привод питателя; 4 – весовая платформа; 5 – управляющий контроллер

Дозатор состоит из ленточного транспортера 1, шнекового питателя 2 с приводом 3. Загрузочный край транспортера 1 установлен на весовую платформу 4, информация с которой передается на контроллер 5. Разгрузочный край транспортера шарнирно соединен с основанием дозатора (на рис. 1 основание не показано). Дозатор работает следующим образом. Материал шнековым питателем 2 непре-

равно подается на ленточный транспортер 1. По показаниям весовой платформы 4 контроллер 5 рассчитывает количество материала на ленте, вычисляет производительность, сравнивает ее с заданной производительностью и, при необходимости, подает управляющий сигнал на привод 3, для изменения производительности шнекового питателя.

С точки зрения расчета нагрузок на весовую платформу, ленточный транспортер представляет собой балку на двух опорах с неравномерно распределенной нагрузкой, как показано на рис. 2, а. Силовое воздействие на весовую платформу определяется из следующего условия равновесия:

$$\sum M_B = A_y L - \int_0^L q(z) z dz = 0; \quad (1)$$

$$A_y = \frac{1}{L} \int_0^L q(z) z dz. \quad (2)$$

В настоящее время при расчете весовой производительности Q делается допущение о том, что сыпучий материал распределен равномерно, то есть так, как это показано на рис. 2, б. В действительности, производительность шнекового питателя может иметь отклонения от заданной производительности $\pm 10\%$. Результаты экспериментов показали, что при одних и тех же значениях реакции A_y , то есть при одних и тех же показаниях весовой платформы, массы материала, находящегося на ленте, могут быть различны, а расчетная производительность, при использовании допущения о равномерном распределении сыпучего материала на ленте, может существенно отличаться от действительной (книга доз).

Для повышения точности непрерывного дозирования, за счет учета неравномерности распределения сыпучего материала на ленте, предлагается следующая последовательность обработки информации, поступающей в управляющий контроллер с весовой платформы. Ленту транспортера условно разделим на N участков. Процесс непрерывного весового дозирования будем рассматривать, как дискретный с шагом по времени $\Delta t = L/v$, где L – длина транспортера, м; v – скорость движения транспортерной ленты, м/с. Таким образом, непрерывный процесс будем рассматривать, как последовательность переходов (шагов) длительность каждого из которых равна Δt . На каждом переходе производительность питателя постоянна и равна $q(i, j)$, где i – номер перехода, а j – номер

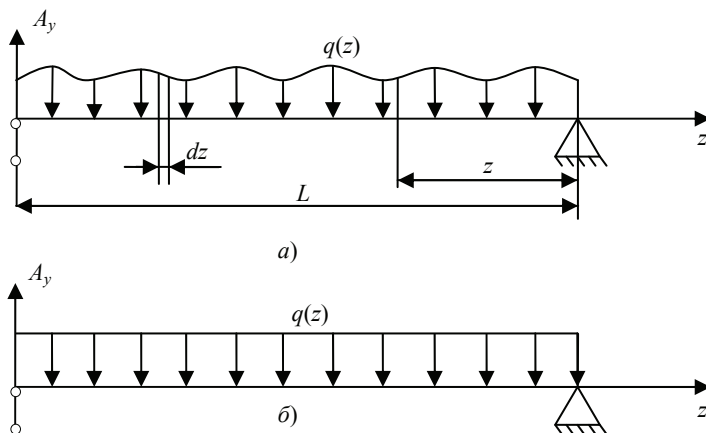


Рис. 2. Распределение сыпучего материала на ленте

участка начиная от опоры A , $1 \leq j \leq N$. Показания весовой платформы на i -м переходе обозначим $A_y(i)$. В начале расчета, то есть при $i = 0$ будем считать, что материал распределен на ленте равномерно. В этом случае все расчетные значения $q_p(0, j)$ равны между собой и определяются по формуле

$$q_p(0, j) = 2A_y(0) / N. \quad (3)$$

После первого перехода материал переместится от опоры A к опоре B на один участок, а на первый участок поступит новая порция материала $q(1,1)$. Расчетное значение $q_p(1,1)$ определим по зависимости

$$q_p(1,1) = \frac{A_y(1) - \sum_{j=2}^N q_p(0, j)(L - L/N - L(j-1))}{L - L/2N}. \quad (4)$$

На втором переходе произойдет следующее перемещение материала на один участок, а на первый участок поступит новая порция $q(2,1)$. Расчетное значение $q_p(2,1)$ определим из уравнения равновесия системы относительно опоры B , при условии, что на втором участке вес материала равен расчетному, то есть $q_p(1,1)$, а на остальных участках $q_p(0, j)$

$$q_p(2,1) = \frac{A_y(2) - \sum_{j=3}^N q(0, j)(L - 2L/N - L(j-1)) - q_p(1,1)(L - 3L/2N)}{L - L/2N}. \quad (5)$$

На третьем переходе материал переместится еще на один участок, на первый участок поступит очередная порция материала $q(3,1)$. Расчетное значение $q_p(3,1)$ определим из уравнения равновесия системы относительно опоры B , при условии, что на третьем участке вес материала равен $q_p(1,1)$, на втором – $q_p(2,1)$, а на остальных – $q_p(0, j)$

$$q_p(3,1) = \frac{A_y(3) - \sum_{j=4}^N q(0, j)(L - 2L/N - L(j-1)) - q_p(2,1)(L - 3L/2N) - q_p(1,1)(L - 5L/2N)}{L - L/2N}. \quad (6)$$

На последующих переходах расчетные значения $q_p(i,1)$ определяются по аналогичным зависимостям. При $i = N$ на участке N , то есть на ссыпавшем краю транспортера будет находиться порция материала $q_p(1,1)$. На последующих переходах, то есть при $m \geq N + 1$, можно прогнозировать производительность дозатора, определяя ее по формуле

$$Q(T) = q_p(m - N) / \Delta t, \quad (7)$$

где $T = m\Delta t$ – промежуток времени с начала процесса до момента определения производительности; m – номер перехода.

Для наглядности рассмотрим конкретный пример реализации предлагаемой методики обработки информации, поступающей с весовой платформы в контрол-

лер. Разделим ленту транспортера на четыре равных по длине участка и обозначим массы материала, находящегося на этих участках $q_1 - q_4$. Показания весовой платформы обозначим A_y , а массу материала, рассчитанную по традиционному алгоритму, то есть при допущении, что материал распределен на ленте равномерно – q_T . Массы, рассчитанные по предлагаемому алгоритму, обозначим соответственно $q_p^1 - q_p^4$. Эффективность предлагаемой методики оценивали по сравнению отклонений расчетных значений производительности σ_T, σ_p от реальных. Производительность определяли как вес материала на четвертом участке, отнесенный к времени $\Delta t/4$, то есть к промежутку времени, за который происходит ссыпание материала с данного участка:

$$\sigma_T = [(q_4 - q_{cp})/q_4]100; \quad \sigma_p = [(q_4 - q_p^4)/q_4]100,$$

где σ_T – теоретическое; σ_p – рассчитанное отклонение значений производительности; q_{cp} – среднее значение веса порции.

Заданная масса материала на одном участке 100 г, поскольку, как отмечалось ранее, отклонения производительности питателя могут иметь отклонения $\pm 10\%$, эта масса может изменяться от 90 до 110 г. В таблице даны результаты численного эксперимента, а именно, расчет первых 16 переходов.

Как видно из таблицы, максимальные отклонения значений, рассчитанных по традиционному алгоритму σ_T , как в начале процесса, так и в конце, достигают 11%, а максимальные отклонения значений, рассчитанных по предлагаемому алгоритму σ_p , в начале процесса достигают 10,5%, но затем плавно уменьшаются

Результаты численного эксперимента

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
q_1	100	105	100	95	90	95	100	105	110	105	100	95	90	95	100	105
q_2	105	110	105	100	95	90	95	100	105	110	105	100	95	90	95	100
q_3	100	105	110	105	100	95	90	95	100	105	110	105	100	95	90	95
q_4	95	100	105	110	105	100	95	90	95	100	105	110	105	100	95	90
A_y	211	202	207	199	189	187	192	201	211	212	208	199	189	187	192	201
q_T	105	106	103	99	94	93	96	100	105	106	104	99	94	93	96	100
q_p^1	105	94	109	94	89	94	100	105	110	105	101	95	90	94	100	105
q_p^2	105	105	94	109	98	89	94	100	105	110	104	101	95	90	94	100
q_p^3	105	105	105	94	109	94	89	94	100	105	110	104	101	95	90	94
q_p^4	105	105	105	105	94	109	94	89	94	100	105	110	104	101	95	90
σ_T	10,5	6	1,9	10	10,5	7	1	11,1	10,5	6	0,09	10	10,5	7	0,9	11
σ_p	10,5	5	0	4,5	10,5	9	1	1,1	1	0	0	0	0,9	1	0	0

и в конце процесса не превышают 1 %. Численные значения данных отклонений зависят от точности весовой платформы, напомним, что в рассматриваемом случае точность измерения веса материала на отдельном участке равна 1 %.

Таким образом, предлагаемый алгоритм расчета можно рекомендовать для получения достоверной информации о распределении сыпучего материала на ленте дозатора, где погрешность не превышает погрешность весовой платформы, и использовать эту информацию при автоматическом управлении процессом весового непрерывного дозирования.

Список литературы

1. Весовое дозирование зернистых материалов / С.В. Першина [и др.]. – М. : Машиностроение, 2009. – 260 с.

Modeling of Continuing Weight Feeding

P.M. Yavnik, S.V. Pershina, V.F. Pershin

*Department "Applied Mechanics and Strength of Materials", TSTU;
soprmm@nnn.tstu.ru*

Key words and phrases: bulk solids; continuing weight feeding; mathematical model.

Abstract: The paper describes a mathematical model of continuing weight feeding given the unevenness of bulk solids distribution on the feeder belt.

Modellierung des Prozesses des ununterbrochenen Waagedosierens

Zusammenfassung: Es ist das mathematische Modell des ununterbrochenen Waagedosierens der streubaren Materialien, in dem die Ungleichmäßigkeit der Verteilung des Materials auf dem Band berücksichtigt wird, dargelegt.

Modélage du processus du processus du dosage continu de poids

Résumé: Est présenté le modèle mathématique du dosage continu de poids des matériaux pulvérulents dans lesquels on prend en compte l'inégalité de la répartition du matériel sur une bande.

Авторы: *Явник Павел Михайлович* – аспирант кафедры «Прикладная механика и сопротивление материалов»; *Першина Снежанна Владимировна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная механика и сопротивление материалов»; *Першин Владимир Федорович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика и сопротивление материалов», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Борщев Вячеслав Яковлевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».