

**Секция «Использование компьютерных технологий при проектировании машин и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности»,  
научный руководитель – Першин В.Ф., д-р техн. наук, профессор**

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА  
НЕПРЕРЫВНОГО ДОЗИРОВАНИЯ**

Казаков В.А., Лазеев И.С., Пасынков В.В., Явник П.М.  
Тамбовский государственный технический университет,  
Тамбов, e-mail: d-a-m-i@yandex.ru

Процесс непрерывного весового дозирования сыпучих материалов широко используется в различных отраслях промышленности при реализации многих технологических процессов [1]. Основными характеристиками дозатора являются производительность и точность дозирования. Высокая точность дозирования особенно важна при производстве смесей из сыпучих компонентов, как при периодическом режиме [2, 3], так и при непрерывном [4, 5]. Кроме этого, высокая точность непрерывного дозирования необходима при организации упорядоченного смешивания сыпучих материалов [6], за счет обеспечения определенного регламента загрузки компонентов [7, 8]. Таким образом, для получения высокого качества смеси необходимо обеспечить высокую точность дозирования [9].

Процесс непрерывного весового дозирования 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 [1]:

- взвешивание определенной части непрерывного потока материала, находящегося в дозаторе;
- взвешивание материала, оставшегося в бункере (технология Loss-in-weight);
- взвешивание 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.

Для проведения экспериментальных исследований и сравнения результатов расчета и эксперимента, под сыпавшим краем транспортера установлены весы, цифровой выход которых соединен с управляющим контроллером. В экспериментах в качестве управляющего контроллера мы использовали персональный компьютер.

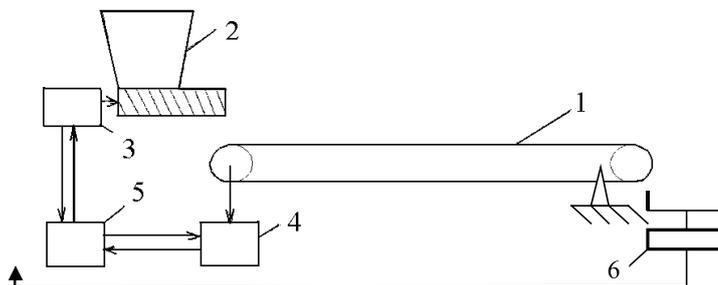


Рис. 1 Ленточный весовой дозатор:  
1 – ленточный транспортер; 2 – шнековый питатель; 3 – привод питателя; 4 – весовая платформа;  
5 – управляющий контроллер; 6 – весы

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 [6]:

$$\sum M_B = A_y \cdot L - \int_0^L q(z)zdz = 0, \quad (1)$$

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

В настоящее время при расчете весовой производительности  $Q$  делается допущение о том, что сыпучий материал распределен равномерно, т.е., 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 [1].

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 (рис. 2). Процесс непрерывного весового дозирования будем рассматривать, как дискретный с шагом по времени  $\Delta t = L / v$ , где  $L$  – длина транспортера,  $v$  – скорость движения транспортерной ленты. Таким образом, непрерывный процесс будем рассматривать, как последовательность переходов (шагов) длительность каждого из которых равна  $\Delta t$ . На

каждом переходе производительность питателя постоянна и равна  $q(i, j)$ , где  $i$  – номер перехода, а  $j$  – номер участка начиная от опоры  $A$ ,  $1 \leq j \leq N$ . Показания весовой платформы на  $i$ -м переходе обозначим  $A_y(i)$ . В начале расчета, т.е. 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:

$$q_p(1, 1) = \left[ A_y(1) - \sum_{j=2}^N q_p(0, j) \times (L - L/N - L(j-1)) \right] / (L - L/2N), \quad (4)$$

На втором переходе произойдет следующее перемещение материала на один участок, а на первый участок поступит новая порция  $q(2, 1)$ . Расчетное значение  $q_p(1, 1)$  определим из уравнения равновесия

системы относительно опоры  $B$ , при условии, что на втором участке вес материала равен расчетному т.е.  $q_p(1, 1)$ , а на остальных участках  $q_p(0, j)$ :

$$q_p(2, 1) = \left[ A_y(2) - \sum_{j=3}^N q(0, j) \times (L - 2L/N - L(j-1)) - q_p(1, 1) \times (L - 3L/2N) \right] / (L - L/2N), \quad (5)$$

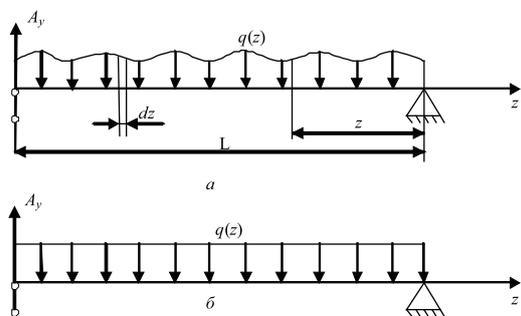


Рис. 2. Распределение сыпучего материала на ленте

На третьем переходе материал переместится еще на один участок, на первый участок поступит очередная порция материала  $q_p(3, 1)$ . 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 –  $q_p(0, j)$  и так, на каждом последующем переходе.

При  $i=N$  на участке  $N$ , т.е. на сыпавшем краю транспортера будет находиться порция материала  $q_p(1, 1)$ . На последующих переходах, т.е. 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.

При проведении экспериментов, материал с ленточного транспортера постоянно поступал на весы, информация с которых передавалась на персональный компьютер. Для сокращения времени на обработку результатов экспериментов, было разработано программное обеспечение (ПО), которое позволяло не только фиксировать вес материала на весах, в определенные моменты времени, но и строить зависимость изменения веса материала, т.е., так называемую, кумулятивную кривую. Выбрав интервал по времени от кумулятивной кривой легко перейти к дифференциальной кривой, которая характеризует равномерность непрерывного потока. Далее, по этой кривой в программе рассчитывается вес порции материала, кото-

рый ссыпался с транспортера за выбранный интервал времени. По полученным результатам рассчитывается отклонение веса порции от заданного значения и, в конечном итоге коэффициент неоднородности.

При проведении экспериментальных исследований, а тем более при промышленном использовании описанного выше подхода, вместо весов можно использовать оптические датчики расхода [11, 12].

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

#### Список литературы

1. Першина С.В. Весовое дозирование зернистых материалов / С.В. Першина, А.В. Катайлов, В.Г. Однолько, В.Ф. Першин. – М.: Машиностроение, 2009. – 260 с.
2. Першин В.Ф. Моделирование процесса смешивания сыпучего материала в поперечном сечении вращающегося барабана // Теоретические основы химической технологии. – 1986. – Т.20. – № 4. – С. 508.
3. Першин В.Ф. Модель процесса смешивания сыпучего материала в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана / Теоретические основы химической технологии. – 1989. – Т.23. – № 3. – С. 370.
4. Першин, В.Ф. Моделирование процесса смешивания сыпучих материалов в циркуляционных смесителях непрерывного действия. / В.Ф. Першин, Ю.Т. Селиванов // Теоретические основы химической технологии. – 2003. – Т.37, №6. – С. 629–635.
5. Селиванов Ю.Т. Исследование влияния осевого движения на процесс непрерывного смешивания сыпучего материала во вращающемся барабане / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2003. – Т. 46, вып. 7. – С. 42–45.
6. Першин В.Ф. Упорядоченный способ смеси приготовления / В.Ф. Першин, М.М. Свиридов // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2008, Т. 51, № 6. – С. 66–69.
7. Першин, В.Ф. Механизм пересчета концентраций компонентов по подслоям в барабанном смесителе / В.Ф. Першин, Ю.Т. Селиванов, А.В. Орлов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2003. – № 2. – С. 5–8.
8. Селиванов Ю.Т. Расчет регламента загрузки компонентов в циркуляционные смесители / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин, А.С. Дурнев // Химическое и нефтегазовое машиностроение, № 1, 2011. – С. 16–19.
9. Селиванов Ю.Т. Некоторые аспекты практического использования циркуляционных смесителей сыпучих материалов / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин // Химическая промышленность сегодня, № 2, 2011. – С. 51–55.
10. Явник П.М. Моделирование процесса непрерывного весового дозирования / П.М. Явник, С.В. Першина, В.Ф. Першин / Вестник ТГТУ. 2012. Том 18. № 4. – С. 912–916.
11. Егоров С.А. Перспективы использования оптических датчиков перемещения для непрерывного дозирования сыпучих материалов / С.А. Егоров, В.Ф. Першин, В.Е. Подольский // Вестник ТГТУ. – Тамбов, 2008. – Т.14, №1. – С 32–40.

12. Пат. 2262080 Российская Федерация, С2, МКИ 7 G 01 F 1/30. Датчик расхода/ В.Ф. Першин, В.Е. Подольский, В.Г. Олнько, С.А. Егоров; заявитель патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – №2003110046; заявл. 08.04.03; опубл. 10.10.05, Бюл. №27.

### ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДВУХСТАДИЙНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Казаков В.А., Лазеев И.С., Пасынков В.В., Явник П.М.  
Тамбовский государственный технический университет,  
Тамбов, e-mail: vanyatambo@mail.ru

Непрерывное дозирование сыпучих материалов являются одной из ключевых операций многих технологических процессов химической, пищевой, фармацевтической и смежных отраслей промышленности [1]. Для осуществления данной операции используются дозаторы различных конструкций, но наиболее широко применяются ленточные дозаторы. Основной метрологической характеристикой дозатора является погрешность или точность дозирования. Анализ работы различных конструкций ленточных дозаторов показывает, что одной из основных причин снижения их точности является динамическое воздействие на весоизмерительное устройство, поскольку определение веса материала, находящегося на ленте транспортера осуществляется при ее движении [1]. Для того чтобы исключить погрешности вызванные динамическими нагрузками был предложен способ двухстадийного непрерывного дозирования сыпучих материалов [2]. Сущность данного способа заключается в том, что на первой стадии осуществляется формирование отдельных порций определенного веса  $\Delta P$ , которые через равные промежутки времени  $\Delta T$  подаются в специальные устройства, где они преобразуются в непрерывный поток. Ранее были предложены устройства для преобразования отдельных порций в непрерывный поток: гладкая вращающаяся труба [1]; наклоненные под небольшим углом к горизонту прямоугольный лоток, совершающий вертикальные колебания [4, 5].

В данной работе предпринята попытка экспериментального исследования двухстадийного дозирования при использовании в качестве преобразователя ленточного транспортера.

Устройство для реализации двухстадийного непрерывного дозирования содержит ленточный транспортер с приводом, установленные на основании. Материал на ленту подается порционным дозатором через узел формирования материала на ленте. Датчик веса входит в состав порционного дозатора. Выгрузка материала осуществляется через узел выгрузки. Скорость движения ленты контролируется с помощью датчика измерения скорости. Блок управления, включен в общую электрическую цепь с приводом ленточного транспортера, узлом подачи материала, функцию которого выполняет порционный дозатор и датчиком скорости движения ленты. Над лентой транспортера, перпендикулярно к направлению ее движения установлена регулировочная пластина с возможностью вертикального перемещения и изменения угла наклона пластины к вертикали.

Численные значения  $\Delta P$  и  $\Delta T$  выбираются исходя из заданной производительности с учетом, что  $Q = \Delta P / \Delta T$ .

Идеальное преобразование отдельных порций в непрерывный поток осуществляется при равенстве производительностей  $Q$  и  $Q_{\text{пр}}$  как это показано на рис. 1а. На практике данный вариант достигнуть невозможно, поскольку периодически изменяется насыпная плотность и угол естественного откоса. Эти изменения могут быть вызваны разными причинами, например изменением влажности сыпучего

материала, вибрацией устройства для распределения материала на ленте транспортера и т.д. При наличии указанных изменений, например при уменьшении насыпной плотности возможен случай, когда  $Q_{\text{пр}} < Q$ . В этом случае материал будет накапливаться перед регулировочной пластиной и дозатор не будет обеспечивать требуемую производительность. Наиболее реальное распределение материала во времени после его ссыпания с ленты показано на рис. 1б. В основном, производительность равна  $Q + \Delta Q_1$ , а перед подачей очередной порции производительность равна  $Q - \Delta Q_2$ . В общем случае  $\Delta Q_1 \neq \Delta Q_2$ , однако средняя производительность за промежуток времени  $\Delta T$  равна  $Q$ . На практике желательным является распределение по варианту 1б, максимально приближенное к варианту 1а. В этом случае, с одной стороны, отклонения  $\Delta Q_1$  и  $\Delta Q_2$  будут минимальны, а с другой стороны, исключена возможность накопления материала перед пластиной.

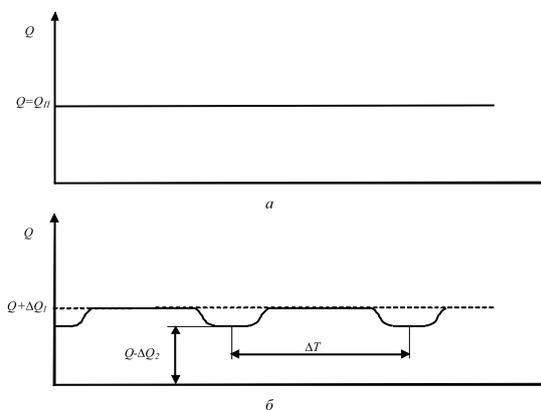


Рис. 1 Варианты изменения производительности на выходе при реализации двухстадийной технологии дозирования

При проведении экспериментов, материал с ленточного транспортера постоянно поступал на весы, которые были установлены под ссыпавшимся краем транспортера. Информация с весов передавалась на персональный компьютер. Для сокращения времени на обработку результатов экспериментов, было разработано программное обеспечение, которое позволяло не только фиксировать вес материала на весах, в определенные моменты времени, но и строить зависимость изменения веса материала, т.е., так называемую, кумулятивную кривую. Выбрав интервал по времени от кумулятивной кривой легко перейти к дифференциальной кривой, которая характеризует равномерность непрерывного потока. Далее, по этой кривой в программе рассчитывается вес порции материала, который ссыпался с транспортера за выбранный интервал времени. По полученным результатам рассчитывается отклонение веса порции от заданного значения и, в конечном итоге коэффициент неоднородности, то есть фактически-экспериментально определяли точность весового непрерывного дозирования.

Анализ результатов экспериментов показал, что при использовании двухстадийной технологии и предложенного в данной работе устройства для её реализации погрешности, при отборе проб за промежутки времени большие чем (3-5)  $\Delta T$ , не превышают погрешностей порционного дозирования, которые существенно меньше погрешностей непрерывного дозирования.

Поскольку точность непрерывного дозирования существенно влияет на качество готовой смеси [6, 7, 8, 9] при промышленном использовании описанного выше подхода, вместо весов можно использовать