

УДК:[621.6.04:66.028]:663.032.9

**Е.Н. Карнадуд, Р.Р. Исхаков, К.С. Якимчук, Р.В. Котляров, Б.А. Федосенков****МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НЕПРЕРЫВНЫХ И ДИСКРЕТНЫХ ДОЗАТОРОВ ОБЪЕМНОГО ТИПА**

Аргументируется необходимость определения рационального режима работы блока дозирующих устройств в составе смесеприготовительного агрегата. Рассмотрены вопросы моделирования работы дозаторов объемного типа на основе эмпирического подхода с использованием рядов Фурье. Предложен алгоритм синтеза сигналов материальных потоков, формируемых непрерывными и порционными дозирующими устройствами. Разработан программный комплекс для воспроизведения материалопотоковых сигналов в инструментальной среде LabView. Проведено сравнение синтезированных сигналов с реальными.

Моделирование, ряд Фурье, среда LabView, барабанный дозатор, шнековый дозатор, непрерывное дозирование, порционное дозирование.

**Введение**

Смесеприготовление является неотъемлемой частью производственных процессов в таких отраслях промышленности, как пищевая, химическая, фармацевтическая, строительная, а также в отраслях аграрно-промышленного комплекса. Аппаратурное оформление подобных процессов, как правило, представлено блоком дозирующих устройств (БДУ), передаточно-формирующим узлом (ПФУ) и смесительной системой [1]. В современном производстве упомянутых отраслей широко используется оборудование, позволяющее наладить автоматизированное производство, в том числе в процессах смесеприготовления [2].

В настоящее время БДУ смесеприготовительного агрегата (СМПА) чаще всего укомплектовывается дозаторами объемного типа непрерывного и порционного действия. Достоинствами объемных дозаторов являются невысокая стоимость, надежность и простота конструкции. В качестве их основного недостатка может быть отмечена невысокая точность дозирования сухих дисперсных материалов, что обусловлено влиянием их физико-механических характеристик – в основном гранулометрического состава и влажности.

Моделирование режимов дозирования, предшествующее этапу внедрения в производство процесса смесеприготовления, позволяет оценить влияние каждого из компонентов на качество готового продукта. Таким образом, использование современных методов и программных комплексов по моделированию процессов дозирования позволяет выявлять и оценивать рациональные режимы работы блока дозирующих устройств.

Целью данной статьи являлась разработка комплекса программ для моделирования работы порционных дозаторов и дозаторов непрерывного действия.

**Объекты и методы исследований**

Объектом исследования является БДУ, включающий барабанные и шнековые дозирующие устройства.

Барабанный дозатор (рис. 1) работает следующим образом: при включении двигателя 1 дозируемый материал, поступающий в барабан 3 из бункера 4,

захватывается лопастями 2, которые с внутренними стенками корпуса 6 образуют камеры, и ссыпается через разгрузочное окно 5.

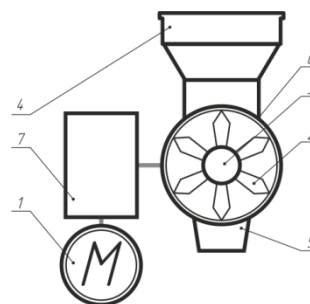


Рис. 1. Функциональная схема барабанного дозатора

Шнековый дозатор (рис. 2) работает следующим образом: при включении двигателя 1, дозируемый материал захватывается витками полого шнека 2, транспортируется вдоль неподвижного кожуха 3 и ссыпается через разгрузочное окно 4. Исходный материал засыпается в бункер 5, запирающийся крышкой 6. Привод шнекового дозатора состоит из двигателя постоянного тока 1 и червячного редуктора 7. Усилие от привода к рабочему органу передается при помощи ременной передачи 8. В процессе дозирования сжатый воздух из пневмолинии 9 подводится через сальниковый узел 10 в полый шнек и поступает во внутренний объем дозатора через сквозные отверстия 11, придавая сыпучему материалу свойство «псевдотекучести».

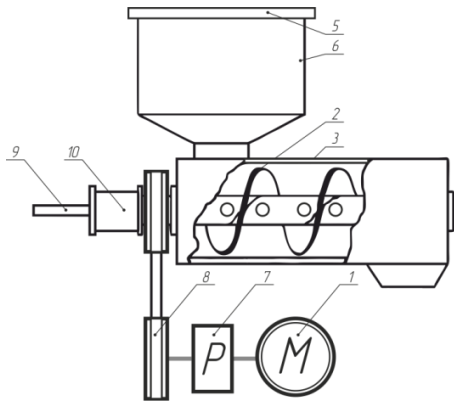


Рис. 2. Структурно-функциональная схема шнекового дозатора

В качестве основного математического подхода к описанию сигналов материалопотоков, формируемых дозаторами, выбрано их представление в виде гармонического Фурье-разложения. Основная теория метода изложена в публикации [3]. Для построения модели дозирующих сигналов с последующим исследованием режимов смесеприготовления в агрегате непрерывного действия применялся эмпирический подход. В случае порционного дозирования данный подход заключается в представлении сигнала в виде цепочки трапецидальных импульсов, передний и задний фронты которых могут иметь различные значения крутизны, а верхняя часть должна быть максимально уплощена, поскольку ею определяется номинальный режим расхода при формировании дозы (порции) материала. Сигнал порционного дозирования, сформированный с учетом такого подхода, представлен на рис. 3.

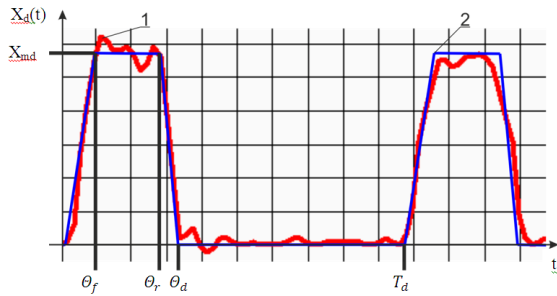


Рис. 3. Параметризация сигнала порционного дозирования: 1 – реальный сигнал; 2 – аппроксимация реального сигнала трапецидальным импульсом

На рис. 3:  $T_d$  – период дозирования;  $\Theta_d$  – длительность формирования дозы;  $\Theta_r$  – момент начала отсечки дозатора (длительность интервала дозирования с учетом инерционного входа в номинальный режим);  $\Theta_f$  – длительность переднего фронта импульса дозирования;  $\Theta_f = \frac{T_d}{\lambda_{\mu\nu}}$ ;  $\Theta_r = \frac{T_d}{\lambda_{\mu}}$ ;  $\Theta_d = \frac{T_d}{\lambda}$ ;  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $\nu$  – соответственно значения скажностей: порционного дозирования  $\lambda = \frac{T_d}{\Theta_d}$ , интервала формирования дозы до начала отсечки  $\mu = \frac{\Theta_d}{\Theta_r}$ ,

жима номинального дозирования  $\nu = \frac{\Theta_r}{\Theta_f}$ ;  $X_{md}$  – весо-

вой расход материала через дозатор.

Анализ форм-факторов представленного сигнала показал, что зависимости для расчета коэффициентов Фурье-разложения ( $A_0$ ,  $A_k$ ,  $B_k$ ), описывающие общий случай работы порционного дозатора, имеют вид:

$$\begin{cases} A_0 = \frac{X_{md}}{\lambda_{\mu\nu}} (\mu\nu + \nu - 1) \\ A_k = \frac{X_{md}\mu\lambda}{2k^2\pi^2} \left[ \nu \left( \cos\left(\frac{2k\pi}{\lambda_{\mu\nu}}\right) - 1 \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{\mu - 1} \left( \cos\left(\frac{2k\pi}{\lambda_{\mu}}\right) - \cos\left(\frac{2k\pi}{\lambda}\right) \right) \right] \\ B_k = \frac{X_{md}\mu\lambda}{2k^2\pi^2} \left[ \nu \sin\left(\frac{2k\pi}{\lambda_{\mu\nu}}\right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{\mu - 1} \left( \sin\left(\frac{2k\pi}{\lambda_{\mu}}\right) - \sin\left(\frac{2k\pi}{\lambda}\right) \right) \right]. \end{cases}$$

Данная система аналитической записи Фурье-коэффициентов является наиболее универсальной и способна восстанавливать порционные сигналы любой формы и сложности.

С целью упрощения анализа влияния нескольких дозаторов на процесс приготовления многокомпонентной смеси целесообразно оперировать сигналами простой формы, формируемыми при идеальной работе дозирующих устройств. Особенностью данных сигналов является наличие «нулевых» переднего и заднего фронтов импульса дозы, что обуславливает мгновенный выход дозатора на режим с номинальным расходом. При этом коэффициенты Фурье, характеризующие амплитуды гармоник в соответствующих субспектрах, будут зависеть только от скажности дозирования, величины расхода в номинальном режиме и номера гармоники:

$$\begin{cases} A_0 = \frac{2X_{md}}{\lambda} \\ A_k = \frac{X_{md}}{k\pi} \sin\left(\frac{2k\pi}{\lambda}\right) \\ B_k = \frac{2X_{md}}{k\pi} \left( \sin\frac{k\pi}{\lambda} \right)^2. \end{cases}$$

Формирование модели других, часто встречающихся, сигналов пилообразной формы обусловлено тем, что они создаются при использовании порционных дозаторов малой производительности на высоких частотах дозирования. В этом случае коэффициенты Фурье-разложения модифицируются в выражения:

$$\begin{cases} A_0 = \frac{X_{md}}{\lambda} \\ A_k = \frac{X_{md}\mu\lambda}{2k^2\pi^2(\mu - 1)} \left[ 1 + \mu \left( \cos\left(\frac{2k\pi}{\lambda_{\mu}}\right) - 1 \right) - \cos\left(\frac{2k\pi}{\lambda}\right) \right] \\ B_k = \frac{X_{md}\mu\lambda}{2k^2\pi^2(\mu - 1)} \left[ \mu \sin\left(\frac{2k\pi}{\lambda_{\mu}}\right) - \sin\left(\frac{2k\pi}{\lambda}\right) \right]. \end{cases}$$

Известно, что изменение весового расхода материала на выходе из шнекового дозатора носит волновой характер. Материалопоток имеет четко обозначенные экстремумы в весовом распределении сыпучего материала на ленте транспортера, на которую сыпается поступающий из него компонент.

Аналитическая обработка материалопотоковых сигналов на выходе шнековых дозирующих устройств, экспериментально зарегистрированных тензометрическими и пьезоэлектрическими датчиками, показала, что они могут быть интерпретированы как совокупность детерминированных постоянной и низкочастотной синусоидальной переменной составляющих с наложением стохастической компоненты в виде высокочастотных пульсаций. Они вызваны погрешностями дозирования и инструментальной регистрации, возникающими в информационно-измерительном канале вследствие воздействия на него помех электромагнитной природы.

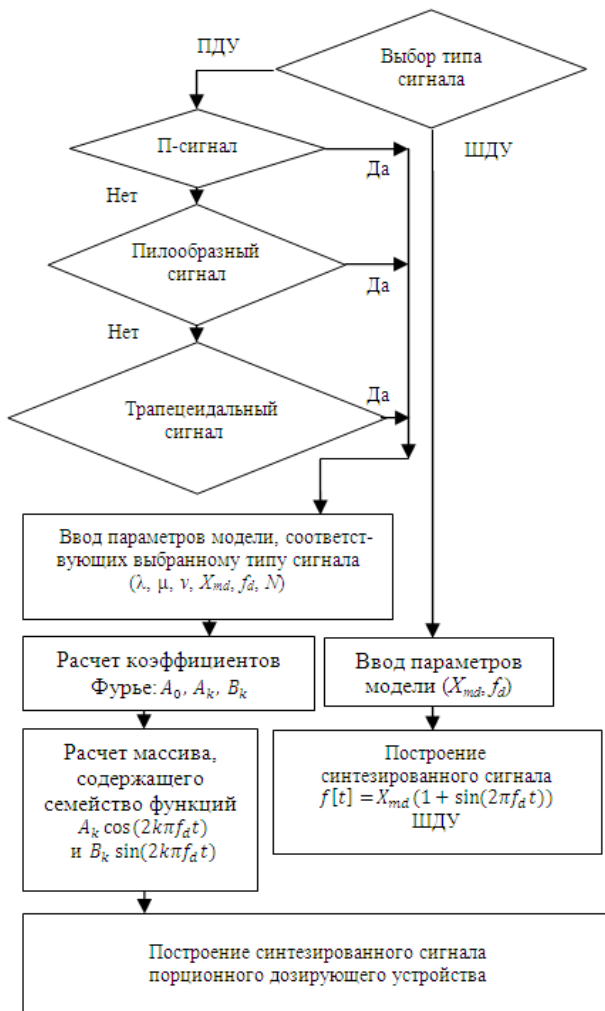


Рис. 4. Алгоритм формирования синтезированных сигналов: ПДУ – порционное дозирующее устройство; ШДУ – шнековое (непрерывное) дозирующее устройство

Алгоритм формирования описанных сигналов (рис. 4) включает следующие этапы: задание типа сигнала, ввод параметров модели сигнала с учетом

всех его форм-факторов, расчет коэффициентов Фурье при моделировании сигналов порционного дозирования, воспроизведение моделируемого сигнала в виде его аппроксиманты.

### Результаты и их обсуждение

Алгоритм расчета работы дозирующих устройств порционного и непрерывного действия был реализован средствами инструментальной моделирующей системы LabView. Исполнительный код программы в данной среде реализует определенный набор последовательно соединенных функциональных блоков, каждый из которых преобразует входную информацию в выходную в соответствии с функциональным ядром. Помимо этого, среда разработки позволяет сконфигурировать интерфейс пользователя для проведения всестороннего анализа исследуемых процессов в интерактивном режиме.

В соответствии с алгоритмом формирования синтезированных сигналов после задания их типа и ввода параметров модели далее следует операция расчета коэффициентов Фурье-разложения (для случая порционного дозирования), программная реализация которой приведена на рис. 5. Результатами работы данной подпрограммы являются массивы, содержащие ряд значений коэффициентов  $A_k$ ,  $B_k$  и коэффициента  $A_0$ , характеризующего постоянную составляющую расхода.

Результаты расчетов коэффициентов далее передаются в следующую программную процедуру (рис. 6), которая формирует массив, содержащий субспектры ( $\sin$  и  $\cos$ ) в составе спектра нефазированных гармоник, с учетом амплитудных коэффициентов разложения. Финальный этап восстановления синтезированного сигнала осуществляется подпрограммой (рис. 7) в соответствии с последней расчетной формулой алгоритма.

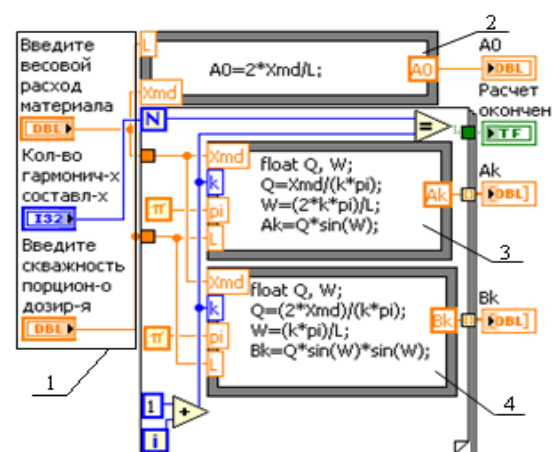


Рис. 5. Подпрограмма определения коэффициентов Фурье для П-сигнала (идеальный дозатор): 1 – пользовательские элементы для ввода параметров модели; 2, 3, 4 – программные элементы «Formula Node», формирующие значения коэффициентов Фурье;  $A_0$ ,  $A_k$ ,  $B_k$  – результаты расчета

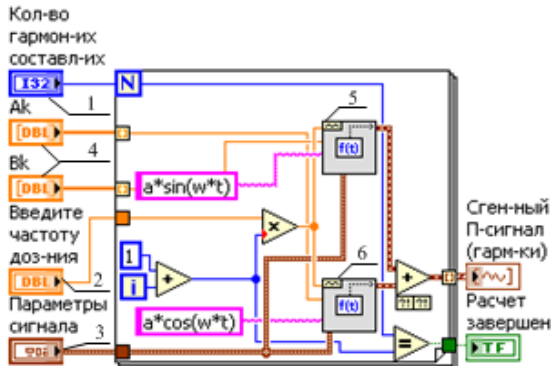


Рис. 6. Подпрограмма получения спектра нефазированных гармоник: 1, 2, 3 – пользовательские элементы для ввода параметров модели; 4 – результаты расчета коэффициентов Фурье; 5, 6 – программные элементы «Formula Waveform» (формируют соответствующие субспектры)

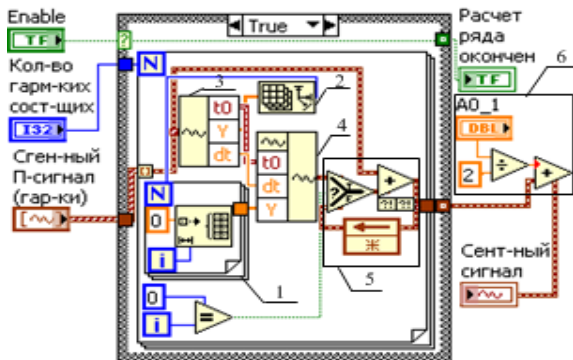


Рис. 7. Подпрограмма расчета синтезированного сигнала: 1 – процедура получения постоянной составляющей сигнала; 2 – программный элемент «Array size» – задает размер массива; 3 – программный элемент «Get Waveform Components» – задает параметры сигнала: начальное время, шаг дискретизации, значение амплитуды в каждой точке аналогового сигнала; 4 – элемент «Build Waveform» восстанавливает аналоговый сигнал; 5 – процедура восстанавливает переменную составляющую сигнала с учетом субспектров; 6 – процедура вводит в состав сигнала постоянную составляющую

С целью определения адекватности полученных моделей был проведен ряд технологических экспериментов с использованием шнековых, порционных дозаторов стаканчатого и барабанного типов, рассчитаны коэффициенты модели и синтезированы сигналы различных форм: трапецеидальный, пилообразный и синусоидальный (рис. 8, 9). Из приведенных осциллограмм видно, что модели с высокой степенью точности соответствуют оригиналам (реальным сигналам); отклонения возникают там, где на процесс измерения существенное влияние оказывали внешние помехи.

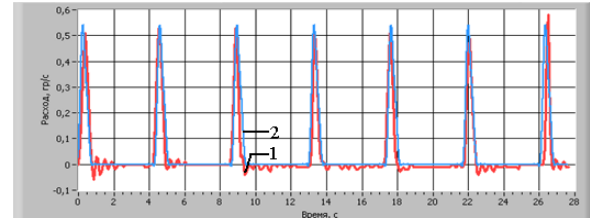
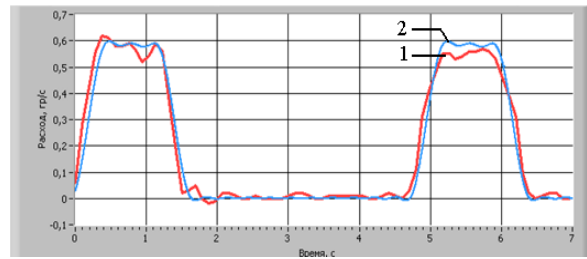


Рис. 8. Зарегистрированные расходные и синтезированные сигналы порционных дозаторов: 1 – реальный сигнал дозатора; 2 – синтезированный сигнал дозатора

Аналогично проводилось моделирование порционного дозирующего устройства, работающего в идеальном режиме, и шнекового дозатора (рис. 9).

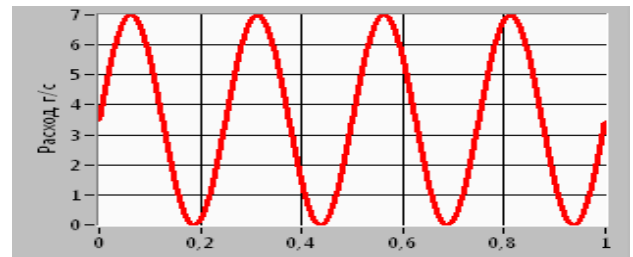
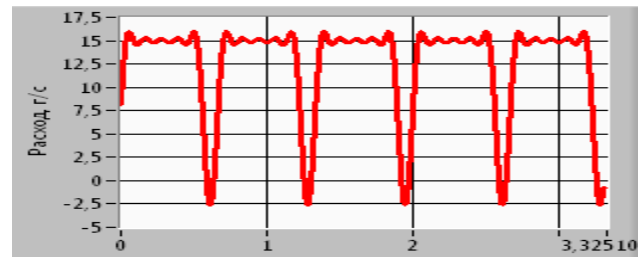


Рис. 9. Синтезированные материалопотоковые сигналы: ПДУ (верхний)-параметры: скважность дозирования  $\lambda = 1,1$ ; максимум расхода  $X_{md} = 15$  г/с; частота дозирования  $f_d = 1,5$  с<sup>-1</sup> (период дозирования  $T_d = 0,67$  с); количество гармоник в субспектрах  $N = 7$ ; ШДУ (нижний)-параметры: частота переменной составляющей дозирования  $f_d = 4$ ; постоянный расход 3,5 г/с; амплитуда переменной составляющей  $X_{max} = 3,5$  г/с

На основании предложенного математического описания материалопотоковых сигналов, формируемых непрерывными и порционными дозаторами, входящими в состав смесеприготовительного агрегата, разработан программный комплекс в инструментальной среде LabView. Программное обеспечение позволяет синтезировать осциллограммы расходных сигналов различной формы с полным набором параметров, в том числе с учетом частот и

мгновенных расходов дозируемых компонентов. Это позволяет проводить процесс моделирования в режимах, максимально приближенных к реальным, а также формировать системы для исследования влияния режимно-технологических параметров процессов дозирования на функционирование смесеприготовительных агрегатов различной структуры и назначения.

#### Список литературы

1. Основные направления при разработке непрерывно действующих смесеприготовительных агрегатов / А.Б. Шушпанников, Б.А. Федосенков, В.П. Дороганов, О.П. Рынза // Техника и технология пищевых производств. – 2010. – № 3. – С. 135–141.
2. Карнадуд, Е.Н. Система регистрации расхода в задачах управления смесеприготовительным агрегатом на основе вейвлет-преобразований / Е.Н. Карнадуд, Д.Б. Федосенков, Б.А. Федосенков // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 2 (12). – С. 99–105.
3. Шушпанников, А.Б. Моделирование процесса порционного дозирования / А.Б. Шушпанников, Б.А. Федосенков // Техника и технология пищевых производств. – 2010. – № 2. – С. 105–109.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт  
пищевой промышленности»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.  
Тел./факс: (3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

#### SUMMARY

**E.N. Karnadud, R.R. Ishakov, K.S. Yakymchuk, R.V. Kotlyarov, B.A. Fedosenkov**

#### **VOLUMETRIC CONTINUOUS-TYPE AND BATCH DOSERS PERFORMANCE MODELING**

The article deals with the aspects of necessity to determine a rational performance regime of the dosing unit within the mixture producing aggregate. The issues of volumetric dosers performance simulating based on a certain approach using Fourier series are considered. The algorithm for synthesizing the material flows signals at the outputs of continuous-type and batch dosing devices has been proposed. The software complex has been developed to reconstruct material flow signals in the LabView medium. The evaluation of the synthesized signals compared with registered real ones has been carried out.

Modeling, simulation, Fourier series, LabView medium, drum dosing device, snake dosing device, continuous-type dosing, batch dosing.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia.  
Phone/fax: +7(3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

