

УДК 621.929.2/9

**Е.Н. Карнадуд, Д.Б. Федосенков, Б.А. Федосенков****СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ РАСХОДА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ  
СМЕСЕПРИГОТОВИТЕЛЬНЫМ АГРЕГАТОМ НА ОСНОВЕ  
ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ**

В статье рассмотрены вопросы построения системы текущего мониторинга и управления динамикой смесеприготовительных процессов, при этом используется нетрадиционный подход на базе вейвлет-преобразований. Пояснены принципы работы программных модулей для сбора и специфической обработки информации. Затрагиваются теоретические основы вейвлет-преобразований, дается характеристика алгоритма вейвлет-поиска соответствия. Рассматриваются технические аспекты построения экспериментальной установки с системой автоматизации, вопросы формирования подсистемы регистрации расходных сигналов, тарировки датчиков, использования время-частотных распределений (карт Вигнера) для идентификации текущего состояния и управления динамикой процессов дозирования.

Вейвлет-преобразование, смесеприготовление, дозирование, измерение расхода, время-частотное распределение, распределение Вигнера-Вилле.

**Введение**

Задача управления динамикой смесеприготовительного процесса тесно связана с задачей отображения текущего состояния последнего. Вместе с тем данные контрольных измерений при эксплуатации смесительных агрегатов показывают, что материалопотоковые расходы в силу системно-технологических причин являются нестационарными, т.е. представляют собой сигналы с времязависимым параметром – частотой (рис. 1).

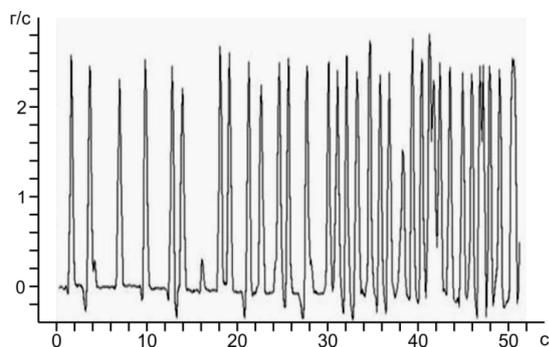


Рис. 1. Нестационарный сигнал барабанного дозирующего устройства

Как видно из рис. 1, частота дозирования и мгновенный расход изменяются в широком диапазоне, что значительно усложняет задачу идентификации текущего состояния процесса. В связи со сложностью обработки регистрируемых нестационарных сигналов авторами предложен подход, в основе которого лежит способ нахождения текущих частот дозирования с использованием вейвлет-преобразований, а также замена сигналов мгновенного расхода на фрагментарно-малых временных участках анализируемой осциллограммы сигналами усредненного расхода. Усредненный расход получается путем математической обработки осциллограмм мгновенного расхода за определенный период времени, в течение которого его величина рассматривается постоянной. Решение задачи

перехода от мгновенного расхода к усредненному было реализовано на базе системы автоматизированного управления смесеприготовлением.

Для решения задач оптимального управления производством сухих дисперсных композиций целесообразно применять централизованную автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУ ТП). К системам подобного назначения относятся SCADA-системы, которые осуществляют управление технологическим объектом, сбор и предоставление информации о его состоянии оператору процесса. Также в силу открытости архитектуры в подобные системы могут быть встроены дополнительные функции обработки сигналов с целью более точного определения текущих режимов работы.

Целью данной статьи является рассмотрение вопросов построения системы отображения текущих режимов работы смесеприготовительных агрегатов, использующей подход на базе вейвлет-преобразований; пояснение принципов работы программных модулей, осуществляющих сбор, специфическую обработку и предоставление информации операторам для управления агрегатом. Поэтому в соответствии с заявленной целью в начале работы затрагиваются теоретические основы вейвлет-преобразования и дается характеристика специфического алгоритма вейвлет-поиска соответствия, наиболее полно удовлетворяющего условиям рассматриваемой задачи управления агрегатом. Далее рассматриваются технические аспекты экспериментальной установки с системой автоматизации, вопросы формирования подсистемы регистрации расходных сигналов, тарировки датчиков, использования время-частотных распределений (карт Вигнера) для идентификации текущего состояния и управления динамикой процессов дозирования.

**Объекты и методы исследований**

Эффективным методом анализа материалопотоков для адекватной обработки нестационарных сигналов с переменными частотами является непрерывное вейвлет-преобразование (НВП [1]). Укажем два

свойства НВП, благодаря которым алгоритм вейвлетного преобразования способен обрабатывать нестационарные по частоте сигналы:

1) местоположение вейвлет-окна локализуется в окрестности соответствующих неоднородностей сигнала (свойство адаптируемости НВП);

2) ширина окна изменяется (свойство масштабируемости НВП), поскольку преобразование вычисляется для каждого отдельного спектрального компонента, что является самым значительным свойством вейвлет-преобразования.

Непрерывное вейвлет-преобразование определяется выражением

$$W_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_0^\infty x(t) g\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt. \quad (1)$$

Здесь НВП – функция двух переменных ( $\tau$  и  $s$ ): параметров смещения и масштаба;  $g(t)$  – преобразующая функция, или анализирующий вейвлет; множитель  $|s|^{-0.5}$  является нормализующим коэффициентом, гарантирующим получение единичной нормы вейвлет-функции  $\|g(t, \tau, s)\| = 1$ .

Таким образом, меняя  $\tau$  и  $s$ , можно получить набор вейвлет-функций, описывающих время-частотное представление анализируемого сигнала, причем при наличии высокочастотных составляющих, т.е. компонент сигнала, существующих на малых временных интервалах, возникает хорошее разрешение по времени ( $t$ -разрешение). При замешивании в сигнал регулярной низкочастотной составляющей НВП обеспечивает хорошее разрешение по частоте ( $\omega$ -разрешение). Данный факт интерпретируется покрытием время-частотной области  $\omega$ - $\tau$  (частота-время) неравномерными прямоугольниками с центрами в точках  $(\omega_j; \tau_j)$  (рис. 2).

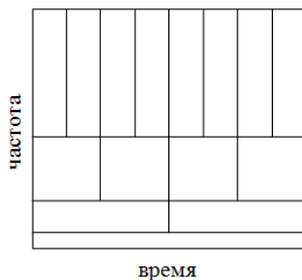


Рис. 2. Время-частотная сетка при непрерывном вейвлет-преобразовании

Из рис. 2 видно, что ширина частотной полосы у соответствующей вейвлет-функции увеличивается с возрастанием центральной частоты соответствующего прямоугольника, а последняя, в свою очередь, обратно пропорциональна масштабу  $s$ . Следовательно, с помощью отмасштабированного вейвлета  $g(t)$  хорошо анализируются резкие временные пики на высоких частотах, а с помощью низкочастотного растянутого вейвлета получаем хорошее  $\omega$ -разреше-

ние. Отсюда видно, что НВП по своей сути соответствует фильтрации анализируемого сигнала  $x(t)$  путем его пропускания через набор (банк) фильтров с определенными импульсными переходными функциями в виде конкретных отмасштабированных вейвлетов.

Первое, на что следует обратить внимание, – это то, что, хотя высота и ширина полей изменяются, их площадь остается постоянной. То есть каждое поле представляет идентичный по площади блок время-частотной плоскости, но дающий различное соотношение времени и частоты. На низких частотах высота полей меньшая (что соответствует лучшим разрешающим способностям, поскольку имеется меньшая неоднозначность относительно значения точной частоты), но их ширина больше (это соответствует недостаточному временному разрешению, так как присутствует большая неопределенность относительно значений точных моментов времени, соответствующих входящим в состав анализируемого сигнала неоднородностям). На верхних частотах ширина полей уменьшается, то есть временное разрешение становится лучше, а их высота увеличивается, что соответствует более слабому разрешению по частоте.

В вычислительной среде для анализа сигналов удобной является диадная дискретизация. Параметры смещения  $\tau$  и масштаба  $s$  с учетом диадной разметки  $\omega/t$ -плоскости формируют вейвлет-функцию  $g(t, \tau, s)$  в двоичной нотации:

$$g(t, \tau, s) = 2^{-0.5j} \cdot g\left(\frac{t-k \cdot 2^j}{2^j}\right) = 2^{-0.5} \cdot g\left(\frac{t}{2^j} - k\right), \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент дискретного смещения. В качестве носителя вейвлет-функции выступает интервал длиной  $2^j$ :

$$\Delta_{j,k} = \left[ k \cdot 2^j, (k+1) \cdot 2^j \right), \quad (3)$$

где  $2$  – шаг растяжения/сжатия;  $2^j$  – разрешение вейвлет-анализа (в виде вейвлет-окна).

Если задан непрерывный сигнал  $x(t)$  с финитным спектром  $\omega_{x(t)} \leq \omega_{\max}$ , в котором спектр  $F\{x(t)\} \equiv 0$ , при  $\omega_{x(t)} > \omega_{\max}$ , то в соответствии с теоремой Уиттера-Котельникова-Шеннона [1] он может быть восстановлен полностью по его дискретным значениям  $x(iT_s)$ ,  $i = 0, \infty$ ,  $T_s \leq \frac{\pi}{\omega_{\max}}$ ,  $\omega_{\max}$  – максимальная частота в спектре сигнала;  $T_s$  – период дискретизации при аналого-цифровом преобразовании сигнала.

Отметим, что недостатком НВП является неравномерное разрешение на разных участках частотно-временной плоскости.

Указанного недостатка лишено вейвлет-преобразование на основе так называемого алгоритма вейвлет-поиска соответствия (ВПС [2]), в основе которого выбор базисных вейвлет-функций, наилучшим образом соответствующих анализируемому сигналу, из специализированных баз данных в виде время-

частотных тезаурусов. В соответствии с этим алгоритмом на основе некоторой базисной материнской функции  $g(t, s, \tau, \xi)$  генерируется семейство вейвлетов путем ее масштабирования ( $s$ ), смещения ( $\tau$ ) и модуляции ( $\xi$ ). Полученное семейство представляет собой функции в виде так называемых время-частотных атомов. Результатом работы такого алгоритма является возможность высокой время-частотной локализации анализируемых сигналов. Иными словами, подобные базисные функции-атомы отражают многочисленные комбинации значений размеров временных и частотных анализирующих окон, в результате чего формируется избыточный набор атомов. Как только виды атомарных функций определены, рассчитывается наилучшее соответствие между ними и осциллограммой исследуемого сигнала путем отображения последней на вейвлет-тезаурус (время-частотный словарь).

Алгоритм ВПС заключается в следующем. На первом шаге итеративной процедуры из словаря выбирается исходный вектор  $g_{I_0}$ , дающий наибольшее скалярное произведение с анализируемым расходящимся сигналом  $f(t)$ :

$$f(t) = \langle f, g_{I_0} \rangle g_{I_0} + R^1 f, \quad (4)$$

где  $I_0$  – индекс параметров.

Затем остаточный вектор  $R^1 f$ , полученный после аппроксимации  $f(t)$  в направлении  $g_{I_0}$ , раскладывается подобным же образом. Итеративная процедура повторяется по последующим получаемым остаточным векторам  $R^n f$ ,  $n = \overline{0, m}$ , где  $n$  – номер итерации (рис. 3).

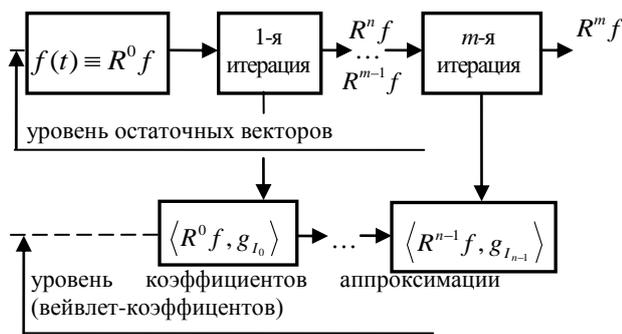


Рис. 3. Блок-схема алгоритма вейвлет-поиска соответствия (адаптивной аппроксимации сигнала)

На каждой итерации выбирается только одна вейвлет-функция  $g_{I_{i-1}}$ ; отбираемый вейвлет  $g_{I_{i-1}}$  вводится в аппроксимативное выражение (4) по критерию максимума скалярного произведения вейвлета  $g_{I_{i-1}}$  и остаточного вектора  $R^{i-1} f$  на  $i$ -й итерации.

Следовательно, в итоге имеем

$$R^n = \langle R^n f, g_{I_n} \rangle g_{I_n} + R^{n+1} f, \quad (5)$$

где  $R^n f = R^0 f \equiv f(t)$  – остаточный вектор на нулевой итерации (при  $n = 0$ ), соответствующий исходному анализируемому сигналу  $f(t)$ .

Таким способом сигнал раскладывается в сумму время-частотных атомов, выбранных оптимально соответствующими его остаткам.

Следует отметить, что наиболее соответствующим для аппроксимации реальных дисперсных материалополюсов сыпучих веществ вейвлетом является функция Габора:

$$g_I(t) = s^{-0.5} \left( g \frac{t-\tau}{s} \right) \exp(i\xi t), \quad (6)$$

где  $g\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$  – функция Гаусса.

В раскрытом виде (6) запишется так:

$$g_I(t) = s^{-0.5} \exp \left[ -\pi \left( \frac{t-\tau}{s} \right)^2 \right] \cos(\xi(t-\tau) + \psi_0), \quad (7)$$

где  $I = \left[ \begin{matrix} s, \tau, \xi \end{matrix} \right]$  – индекс параметров вейвлета Габора; коэффициент  $S^{-0.5}$  приводит вейвлет-функцию к единичной норме:  $\|g_I(t)\| = 1$ ;  $\psi_0$  – начальная фаза вейвлета;  $\psi_0 = \left[ -\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right]$  ее варьирование преследует цель максимизации скалярного произведения при отборе вейвлетов на каждой итерации.

При дискретной последовательности, то есть при анализе сигналов в виде решетчатых функций, вейвлет Габора имеет вид:

$$g_I(t) = s^{-0.5} \exp \left[ -\pi \left( \frac{t-\tau}{s} \right)^2 \right] \sin \left( 2\pi \frac{\xi}{N} (t-\tau) + \psi_0 \right), \quad (8)$$

где  $N$  – размер сигнала в отсчетах.

Объектом исследования является смесеприготовительный агрегат (рис. 4), в состав которого входит блок дозирующих устройств, состоящий из шнекового (ШДУ), барабанных непрерывного (БНДУ) и порционного (БПДУ) дозаторов, питающе-формирующий узел (ПФУ), центробежный смеситель непрерывного действия (ЦСНД), глобальный импульсный рецикл-канал (ГРК), щит управления и автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора.

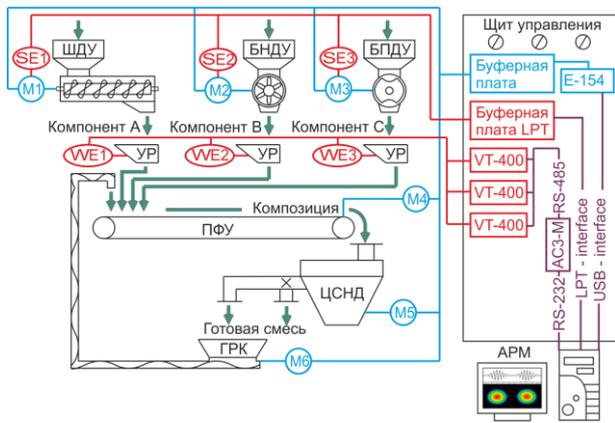


Рис. 4. Структурно-функциональная схема смесеприготовительного агрегата

Блок дозирующих устройств (БДУ) укомплектован узлами регистрации (УР) материалотоковых сигналов, в состав которых входят тензометрические преобразователи (WE1÷3). На схеме также обозначены: SE1÷3 – датчики для измерения частоты вращения; M1÷6 – электродвигатели; VT-400 – вторичные преобразователи; AC3-M – преобразователь интерфейсов. В качестве приводов смесителя и дозаторов используются двигатели постоянного тока, что позволяет изменять их частоту вращения в широких диапазонах.

Функции измерения и контроля скорости вращения исполнительных механизмов системы управления реализованы на базе индуктивных бесконтактных датчиков, подключенных через буферную плату к LPT-порту компьютера. Регистрация материалотоковых сигналов производится при помощи тензометрических преобразователей с последующей обработкой сигналов вторичными весовыми преобразователями VT-400. Вторичные приборы объединены в сеть по интерфейсу RS-485 и посредством преобразователя интерфейсов AC3-M (RS-485/RS-232) подсоединены к

АРМ оператора. Усиление выходных сигналов устройства ввода/вывода E-154 для управления исполнительными механизмами осуществляется посредством буферной платы, расположенной в щите управления. АРМ оператора сопрягается с модулем АЦП/ЦАП E-154 при помощи USB-интерфейса.

При решении задачи динамической регистрации материалотоковых сигналов были изучены такие аспекты получения информации, как способ воздействия материала на чувствительный элемент, способ удаления материала с чувствительного элемента, место установки тензометрического преобразователя. Локализация и конструкция оснастки тензодатчиков были выполнены с учетом физико-механических свойств сыпучих материалов и характера схода последних с аппаратных частей дозаторов (рис. 5).

Для программного сопряжения вторичного преобразователя VT-400 и АРМ оператора по протоколу RS-232 (см. рис. 4) в среде разработки LabVIEW была сформирована соответствующая программная процедура (рис. 6).



Рис. 5. Система регистрации материалотоковых сигналов: 1 – барабанный дозатор; 2 – лоток; 3 – тензометрический преобразователь; 4 – весоизмерительный преобразователь

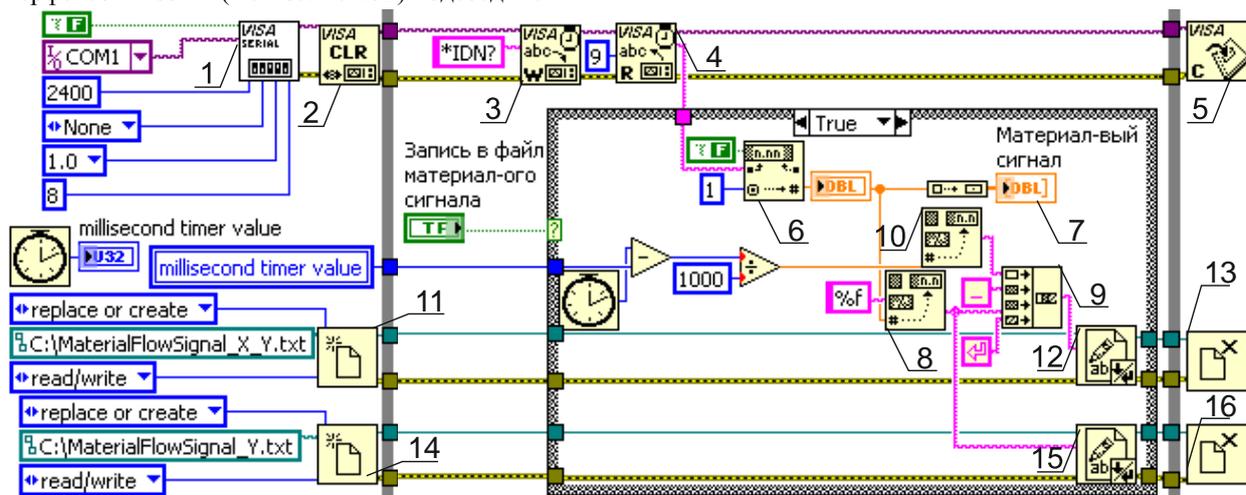


Рис. 6. Фрагмент программы сопряжения VT-400 и АРМ по протоколу RS-232 с архивацией и отображением материалотокового сигнала

На рис. 6 позициями обозначены операции: 1 – инициализации COM-порта в программе (парамет-

ры программного протокола задаются одинаковыми как для VT-400, так и для АРМ); 2 – очистки вход-

ных/выходных буферов устройства; 3 – формирования запроса на передачу данных; 4 – чтения данных; 5 – закрытия сессии связи; 6 – отделения весовой информации от информации о состоянии устройства; 7 – визуального-графического отображения полученной информации; 8 – конвертирования информации из числа в строку; 9 – упорядочения представления данных в строке; 10 – формирования текущего времени с момента начала измерения; 11–16 – работы с файлами для записи сигнальной информации.

Для нахождения усредненного расхода необходимо произвести операцию интегрирования над мгновенным расходом с переходом от мгновенного расхода к весу  $W(t) = \int_0^t F_{\text{мг}}(t) dt$ . Отношение веса к времени регистрации сигнала дает усредненный расход  $F_{\text{уср}}(t) = \frac{W(t)}{\tau}$ , где  $W(t)$  – вес отдозированного материала за время регистрации сигнала, г;  $F_{\text{мг}}(t)$  – мгновенный расход, г/с;  $\tau$  – время регистрации сигнала, с.

Операция интегрирования выполняется в формате LabVIEW с помощью функциональной схемы (рис. 7).

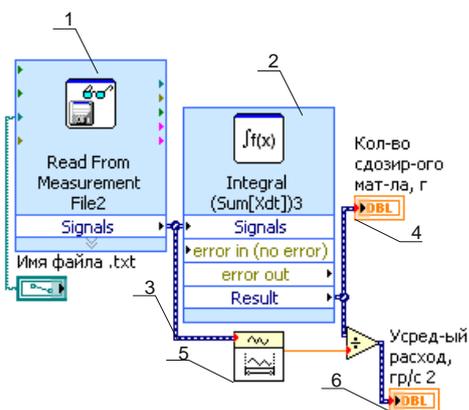


Рис. 7. Фрагмент программы чтения данных из файла и интегрирования полученной информации

Данные, полученные ранее, считываются при помощи блока 1 (см. рис. 7). Далее информация поступает в блок 2 для проведения операции интегрирования, линия связи 3 несет в себе информацию о зарегистрированном сигнале. Результат операции интегрирования выводится при помощи элемента 4 и представляет собой значение отдозированного веса за отчетный период времени. Блок 5 определяет длительность обрабатываемого сигнала; значения усредненного расхода выводятся при помощи блока 6.

### Результаты и их обсуждение

С целью проверки тождественности и достоверности формируемых датчиком сигналов порционного дозирования был проведен ряд экспериментов по регистрации сигналов идентичных доз. На рис. 8 приведена осциллограмма регистрации идентичных доз в парном виде в диапазоне варьирования веса дозы от 1 до 10 г.

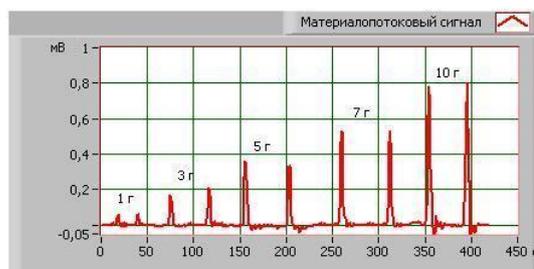


Рис. 8. Зависимость амплитуды материалопотокового сигнала от веса дозы

Кроме того, для проведения количественной регистрации расхода материалопотоков на выходе дозаторов была проведена калибровка измерительной системы. С целью определения рабочего поля калибровочной характеристики выполнен ряд экспериментов по формированию эталонных расходных потоков из рабочих органов подконтрольных дозаторов. При построении градуировочных характеристик использовались веса: 3, 5, 7, 10, 13, 15, 17, 20 г соответственно. В качестве примера осциллограмма эталонных расходных потоков с контролируемым весом каждой дозы от 1 до 10 г на выходе барабанного дозатора порционного типа приведена на рис. 8. В результате проведенных экспериментов были получены калибровочные зависимости тензодатчика ZA-109 при регистрации расхода дозируемых сыпучих материалов с широким спектром физико-механических характеристик (пшено, зародышевые хлопья пшеницы, соль, сахар, молотый кофе, черный и красный перец, речной песок, древесные опилки).

Для иллюстрации работы алгоритма мониторинга текущего значения расхода приведен следующий пример: на тензодатчик в течение 7,4 с было отдозировано две порции пшена по 5 г каждая (рис. 9). Значения мгновенного расхода фиксировались измерительной системой в формате «напряжение, мВ, на выходе VT-400 – текущее время, с». Для перевода значений материалопотока в формат «расход, г/с – текущее время, с» использовалась градуировочная характеристика, представленная на рис. 10.

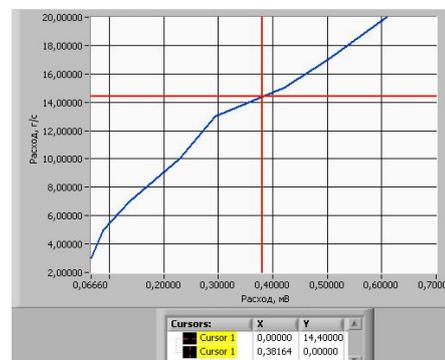


Рис. 9. Материалопотоковый сигнал, полученный с помощью неотградуированного тензодатчика

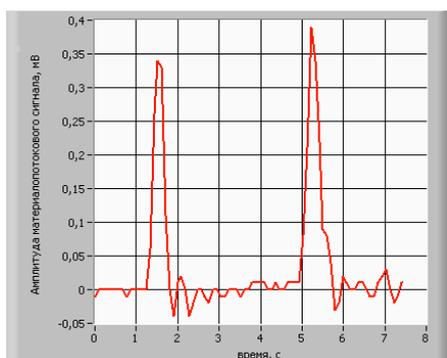


Рис. 10. Градуировочная характеристика датчика ZA-109 (пшено)

На графике (см. рис. 9) приведены две линии трассировки: один курсор откладывает значение сигнала датчика в мВ по оси абсцисс, другой – значение мгновенного расхода в г/с по оси ординат.

Полученная относительная погрешность измерения, равная 2,86 %, сопоставима с погрешностью измерения тензометрического преобразователя, что говорит о высокой точности приведенного метода.

Метод получения усредненного расхода из материалопотоковых осциллограмм целесообразно использовать при известном количестве доз за исследуемый период времени, так как градуировочная характеристика имеет нелинейный вид; следовательно, для произвольного количества доз ее необходимо продлевать до их суммарного веса за максимально возможный период отчетного времени.

С учетом вышесказанного можно сделать однозначный вывод о том, что исследование процессов получения дисперсных композиций целесообразно выполнять на базе алгоритма ВПС с использованием максимально адаптированных к технологическому процессу вейвлет-функций Габора.

При анализе материалопотоковых сигналов дозирования весьма удобным и показательным является их отображение в виде распределения Вигнера-Вилле [3]. Отображение производится во время-частотном пространстве. Данное распределение является квадратичным, поскольку исследуемый сигнал входит в подынтегральное выражение мультипликативно:

$$W_{g,g}(t, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} g_I(t + \frac{\tau}{2}) \cdot g_I(t - \frac{\tau}{2}) \cdot e^{-j\omega\tau} d\tau, \quad (9)$$

#### Список литературы

1. Блаттер, К. Вейвлет-анализ. Основы теории / К. Блаттер. – М.: Техносфера, 2006. – 272 с.
2. Mallat, S. Matching pursuit with time-frequency dictionaries / S. Mallat and Z. Zhang // IEEE Transactions on Signal Processing. – 1993. – Vol. 41, № 12. – P. 3397–3415.
3. Debnath, L. Recent development in the Wigner-Ville distribution and time-frequency signal analysis / L. Debnath, PINSA, 68, A, № 1, Jan. 2002, p. 35–56.
4. Мониторинговое управление динамикой процесса смесеприготовления средствами вейвлет-преобразований / Б.А. Федосенков, О.В. Цыганенко, Д.Б. Федосенков и др. // Материалы VII Мiedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Nauka i inowacja – 2011». Vol. 16. Techniczne nauki: Przemysl. Nauka I studia. – С. 105–108.
5. Федосенков, Б.А. Процессы дозирования сыпучих материалов в смесеприготовительных агрегатах непрерывного действия – обобщенная теория и анализ (кибернетический подход) / Б.А. Федосенков, В.Н. Иванец. – Кемерово, 2002. – 216 с.

где  $g_I(t)$  – сигнал, восстановленный из набора вейвлет-функций с индексом параметров  $I$ .

Цифровой анализ двумерных визуальных отображений потоков материала позволяет определить необходимые параметры, с помощью которых можно эффективно вырабатывать соответствующие управляющие воздействия [4] на исполнительные механизмы дозаторов и другие элементы оборудования. Для иллюстрации возможностей подобных отображений был синтезирован сигнал барабанного порционного дозирующего устройства [5] со следующими параметрами (рис. 11): скважность порционного дозирования – 4,9; интервал формирования дозы до начала отсечки – 1,9; весовой расход материала через дозатор – 3; частота дозирования – 4.

Подобные программные алгоритмы идентификации режимов работы дозирующих устройств с последующим формированием управляющих воздействий могут встраиваться как в SCADA-системы

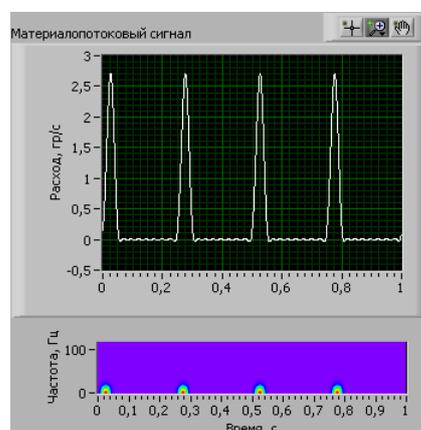


Рис. 11. Синтезированный сигнал порционного дозирующего устройства и его время-частотное представление

управления сложными технологическими объектами, так и в расходо-весовые индикаторы с целью расширения информационных функций последних и организации эффективных систем регулирования расхода дозирующих устройств.

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, D.B. Fedosenkov, B.A. Fedosenkov**

#### **THE FLOW REGISTRATION SYSTEM IN THE CONTROL PROBLEMS BASED ON WAVELET TRANSFORMS FOR THE MIXTURE PRODUCTION AGGREGATE**

In this article certain questions of developing the system for current monitoring and controlling the dynamics of mixture production processes are considered. It should be noted that the system created uses non-traditional approach based on wavelet transforms. The program modules performance principles used for data acquisition and its specific processing are explained here. Theoretical fundamentals of wavelet transforms are touched and the wavelet matching pursuit algorithm is depicted. Moreover, engineering aspects of the experimental unit with the automation system, the issues of forming the flow signals registration sub-system and pick-ups calibration, and also of using the time-frequency distributions (Wigner maps) to identify a current state of the dosing processes dynamics and control it are presented.

Wavelet transform, mixture production, dosing, flow measuring, time-frequency distribution, Wigner-Ville distribution.

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

