
ЭЛЕКТРОННЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА

УДК 664.7:681.268

В. С. АФОНИН, Д. Е. КРИВОБОКОВ

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ РАСХОДА СЫПУЧЕГО ВЕЩЕСТВА

Рассматривается способ установления зависимости параметров выходного сигнала емкостного первичного измерительного преобразователя от плотности потока зерна с помощью нейросетевых технологий. Приведены методика и результаты экспериментов.

Ключевые слова: измерение расхода, зерно, первичный емкостный преобразователь, нейросетевые технологии.

В различных отраслях промышленности технологические процессы связаны с перемещением сыпучих материалов различной природы. Для обеспечения учета и дозирования сыпучих веществ используются приборы контроля расхода материалов — расходомеры. На территории Алтайского края наиболее актуальной является задача контроля зерна, в частности организация системы создания цифровых карт, позволяющих вывести зависимость урожайности сельхозугодий от агрохимических показателей почвы [1]. Для организации такой измерительной системы необходимы надежные датчики, работающие в условиях засоренности и запыленности и при высоком уровне вибраций зерноуборочных машин. В этой связи бесконтактные расходомеры имеют некоторые преимущества по сравнению контактными: при их использовании не нарушается структура потока сыпучего вещества и отсутствует необходимость замены датчиков при их изнашивании [2].

Расход сыпучего вещества — количество вещества, проходящего через сечение в единицу времени, определяется путем измерения объемной концентрации и скорости движения материала в трубопроводе [3, 4], причем для определения данных параметров используются различные методы.

Для определения объемной концентрации диэлектрика в трубопроводе часто применяется емкостный метод, а для измерения скорости используется какой-либо другой метод, например эффект Доплера. Однако, как показали эксперименты, емкостный преобразователь может быть использован непосредственно для определения расхода сыпучего вещества. Известно, что частицы твердого вещества, проходя через электрический преобразователь, вызывают изменение его емкости [3]. Спектральные параметры электрического тока, вызванного этими процессами, определяются скоростью движения, электрическими свойствами и размером частиц вещества. Так как электрический ток есть результат наложения отдельных токов каждой частицы, то его частотные характеристики связаны с количеством частиц вещества, прошедших через емкостный преобразователь в единицу времени, т.е. с расходом вещества.

В настоящей статье представлены результаты исследований по установлению зависимости частотных параметров выходного сигнала емкостного преобразователя от величины расхода сыпучего материала, проходящего через него.

В ходе исследований был проведен ряд экспериментов, в которых через емкостный датчик пропускалось сыпучее вещество — зерна пшеницы. Созданная для этой цели экспериментальная установка (рис. 1) состоит из измерительного конденсатора (датчика), к электродам которого подключено генерируемое источником питания постоянное напряжение; преобразователя тока в напряжение, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и персонального компьютера для цифровой обработки сигнала. При цифроаналоговом преобразовании частота дискретизации выбиралась с учетом спектра исходного сигнала.



Рис. 1

Задачу формирования потока вещества с заданной величиной расхода можно упростить за счет создания идентичных условий проведения эксперимента: во-первых, вещество засыпают в трубопровод с одинаковой высотой, что позволяет не учитывать скорость потока; во-вторых, используют пшеницу с одинаковым гранулометрическим составом и с неизменными значениями влажности. Таким образом, в дальнейшем можно установить прямо пропорциональную зависимость коэффициента заполнения трубопровода веществом от плотности потока этого вещества.

Вариативность коэффициента заполнения трубопровода сыпучим материалом достигается за счет применения воронок с различными площадями сечений выходных отверстий. Среднее значение расхода вещества (q_m) при использовании каждой воронки определялось экспериментально путем измерения времени прохождения через нее заданной массы зерна. Ниже представлены результаты измерений для каждой из восьми воронок.

Номер воронки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$q_m, \text{ г/с}$	15	25	33	38	51	71	80	101

При определении зависимости выходного сигнала емкостного первичного преобразователя от плотности потока зерна, проходящего через него, было установлено, что для всех измеряемых параметров коэффициент корреляции составляет примерно 0,5—0,6, что не позволяет говорить о функциональной зависимости между исследуемыми величинами.

Поскольку на спектральные характеристики выходного сигнала емкостного преобразователя влияет множество факторов (неоднородность потока, его распределение по объему датчика, размер зерен и т.п.), перспективным решением представляется использование боль-

шего количества параметров информационного сигнала для определения величины расхода. Такими параметрами могут быть амплитудные значения гармоник сигнала.

Для учета большого количества спектральных параметров информационного сигнала предлагается использовать нейросетевые системы, способные „подстраиваться“ (обучаться) под функциональную зависимость между экспериментально полученными входными и выходными сигналами. Для формирования обучающей и тестовой выборок с использованием калиброванных воронок обеспечивалось прохождение через емкостный датчик потоков вещества с заданными значениями расхода. Для каждого потока непрерывный сигнал датчика разбивался на фрагменты в 512 значений для дальнейшего анализа. Информационный сигнал для каждого потока сохранялся в виде одномерного массива значений напряжений с фиксированным временным интервалом. Таким образом, размер массива соответствует частоте дискретизации сигнала и времени анализа. При формировании обучающей выборки для каждого потока проводилось по 50 экспериментов. Общий объем обучающей выборки, включая сигнал датчика при отсутствии вещества, составил 450 фрагментов. Тестовая выборка составлялась для каждого потока по 10 фрагментам, не входящим в состав обучающей выборки.

Обучающая и тестовая выборки представляют собой совокупность элементов, каждый из которых содержит набор гармоник сигнала (спектральные образы), соответствующего каждому фрагменту. Для построения спектрального образа используется преобразование Фурье. Таким образом, входными сигналами нейросети являются амплитуды гармоник. В результате нейросеть имеет 255 входов, на каждый из которых подается сигнал, пропорциональный амплитуде соответствующей гармоники, и один выход, принимающий значение плотности потока.

Для разработки и обучения нейросети использовалась программа NeuroShell, являющаяся достаточно мощным инструментом и позволяющая оценить применимость различных архитектур и структур интеллектуальных систем. В качестве возможных рассматривались и оценивались следующие нейросети: сеть метода группового учета аргументов, сеть с различными передаточными функциями, сеть с обходными соединениями, рекурсивная сеть с обратной отрицательной связью, классическая слоистая однонаправленная сеть — сеть стандартного соединения. После обучения на обучающих выборках сети тестировались с помощью тестовой выборки. По результатам тестирования установлено, что наименьшую ошибку преобразования обеспечивает слоистая однонаправленная нейросеть, имеющая два скрытых слоя по 200 нейронов в каждом.

Результат работы выбранной нейросети, представленный значениями средних абсолютных ошибок измерения величин расходов зерна, приведен на рис. 2.

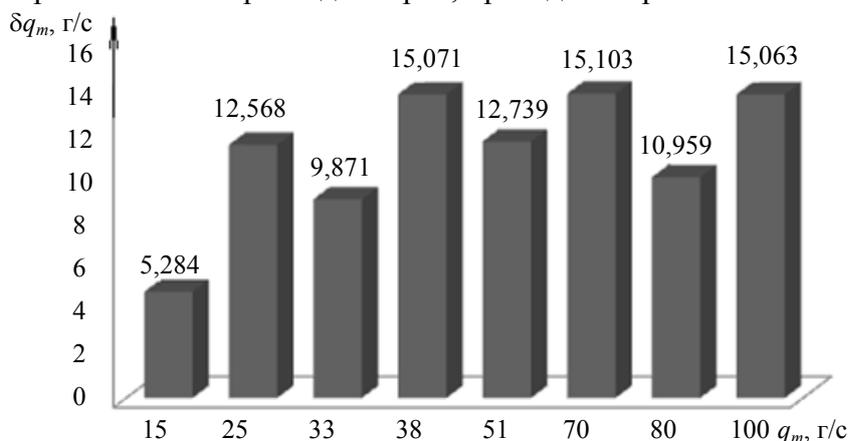


Рис. 2

Применение нейросетей для обработки сигнала первичного емкостного преобразователя не позволяет получить аналитическую зависимость. Однако результаты, представленные на рис. 2, указывают на то, что такая зависимость существует, а предложенный метод описания

и обработки сигнала емкостного преобразователя достаточно информативен. Поэтому можно предположить, что в ходе дальнейших исследований распределения амплитуд сигнала по гармоникам будет установлена функциональная зависимость, использование которой позволит определить оптимальные параметры первичного емкостного преобразователя и формирования потока зерна, а также оценить влияние дестабилизирующих факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвинцев П. А., Афонин В. С. Система картографирования урожайности с помощью навигатора GPS // Ползуновский альманах. 2011. № 1. С. 100—101.
2. Arakaki C. et al. Non intrusive mass flow measurements // POSTEC Newsletter. 2006. N 23. P. 15—16.
3. Афонин В. С., Хомутов О. И. Метод измерения расхода сыпучего материала и его экспериментальная проверка // Ползуновский вестник. 2011. № 3/1. С. 94—97.
4. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. Л.: Машиностроение, 1989.

Сведения об авторах

- Вячеслав Сергеевич Афонин** — канд. техн. наук, доцент; Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, кафедра информационных технологий, Барнаул; E-mail: afonin@mail.altstu.ru
- Дмитрий Евгеньевич Кривобоков** — канд. техн. наук, доцент; Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, кафедра информационных технологий, Барнаул; E-mail: dmitriikrivobokov@mail.ru

Рекомендована кафедрой
информационных технологий

Поступила в редакцию
26.05.13 г.