

## МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА И ЕГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

В.С. Афонин, О.И. Хомутов

В статье рассматриваются бесконтактные методы измерения расхода сыпучих материалов для различных отраслей промышленности и сельского хозяйства. Приведено теоретическое обоснование метода измерения расхода сыпучего материала на основе явления поляризации. Состоятельность метода подтверждена экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** расход сыпучего материала, расходомер, емкостный преобразователь, поляризация диэлектрика, зерно.

### Введение

В настоящее время существует необходимость измерения скорости движения (расхода) зернистых сыпучих материалов, перемещаемых по магистральным трубопроводам. При пневмотранспорте сыпучих материалов важными режимными показателями являются расход сыпучего материала, скорость транспортирования и его объемная концентрация. Способов измерения расхода сыпучих материалов и типов расходомеров достаточно много: тензометрические, центробежные, крыльчатые, на основе порционных весов, лотковые и вибрлотковые, массомеры, на основе измерения геометрических и электрических параметров потока [1]. Расходомеры сыпучих материалов используются в системах автоматического регулирования для оперативного контроля производительности соответствующих приемно-питающих устройств, могут использоваться в качестве датчиков автоматических дозаторов. Использование бесконтактных расходомеров при пневматическом транспортировании сыпучих материалов имеет некоторые преимущества перед контактными: не нарушается структура потока; нет необходимости замены датчиков при их изнашивании; не нарушается целостность пневмотрассы [2].

Количество бесконтактных методов не очень велико, что позволяет перечислить наиболее часто используемые. Приборы, основанные на методе Доплера, находят частотный сдвиг электромагнитной или акустической волны, переданной в поток вещества, и частично отраженной от движущихся частиц материала [3]. Эти приборы в основном используются в потоках с низкой концентрацией вещества. Недостатком таких методов является ограничение проникновения вглубь плотного потока, что ограничивает возможности использования.

Корреляционные методы часто используются для измерений скорости потока материала [1, 4]. Принцип измерения состоит в том, что, два идентичных сенсора размещают на определенном расстоянии друг от друга вдоль направления потока. Источником информации являются колебания каких-либо параметров потока. Время, необходимое для перемещения таких колебаний от рабочей области одного датчика к другому получают с помощью взаимно корреляционной функции двух случайно изменяющихся параметров потока. Этот метод не ограничивается определенным принципом датчика, что позволяет использовать наиболее подходящий к конкретному случаю. Датчики, используемые в этом методе, могут измерять ультразвук, оптический сигнал, диэлектрическую проницаемость [5], проводимость, электрический заряд или температуру. Основным недостатком корреляционных приборов – это уменьшение сходства сигнала с увеличением расстояния между датчиками [6]. Для измерения расхода необходимо дополнить корреляционный прибор, измеряющий скорость потока, датчиком концентрации материала. Емкостный преобразователь (ЕП) можно использовать для измерения его коэффициента заполнения сыпучим веществом с диэлектрической проницаемостью, отличной от единицы [7]. Такой метод потребует использования нескольких датчиков и сложного алгоритма обработки информации от них, что усложняет реализацию метода и отразится на стоимости оборудования.

**Целью работы** является разработка бесконтактного метода измерения расхода сыпучего материала, перемещаемого в трубопроводе.

**Принцип метода измерения расхода сыпучего материала на основе явления поляризации**

При внесении диэлектрика во внешнее электрическое поле происходит явление поляризации, способствующее уменьшению электрического поля внутри этого диэлектрика в  $\epsilon$  раз, где  $\epsilon$  – его диэлектрическая проницаемость. Если диэлектрик поместить в электрическое поле заряженного конденсатора, то уменьшение поля внутри диэлектрика будет способствовать увеличению его электрической емкости.

Емкость конденсатора изменится пропорционально диэлектрической проницаемости диэлектрика и его объему. Изменение электрической емкости конденсатора отразится на его заряде или напряжении между его электродами. Если такой конденсатор подключить к источнику постоянного напряжения, изменение его емкости скажется только на заряде, удерживаемом на его обкладках. Следует отметить, что величина изменения заряда прямо пропорциональна изменению электрической емкости конденсатора и поданного на его электроды напряжения. А изменение емкости напрямую связано с диэлектрической проницаемостью диэлектрика, его объемом и геометрическим расположением внутри конденсатора. Изменение заряда конденсатора образует ток поляризации:

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

В момент поляризации диэлектрика электрический ток течет к обкладке конденсатора. Далее все время нахождения диэлектрика в рабочей области конденсатора «пришедший» электрический заряд удерживается на поверхности его электродов. При удалении диэлектрика из электрического поля конденсатора, происходит частичный отток заряда от его обкладок.

При перемещении частицы вещества через заряженный конденсатор создаются электрические токи, одинаковые по силе и направленные в разные стороны. То есть каждая пролетающая сквозь электрическое поле конденсатора частица будет создавать всплеск электрического тока, как показано на рисунке 1.

Максимальное значение тока определяется не только геометрическими и электрическими характеристиками вещества, но и скоростью его движения. Чем быстрее движется частица, тем больше токовый импульс. Это можно объяснить тем, что при одинаковом изменении заряда конденсато-

ра, скорость его изменения образует величину тока, как видно из формулы (1). Важным является тот факт, что площадь фигуры, ограниченной графиком тока, является постоянной при различной скорости движения вещества. Тогда количественную характеристику вещества (объем, масса) можно преобразовать с помощью измерительного конденсатора в величину тока поляризации. Это обстоятельство служит основой разрабатываемого метода.

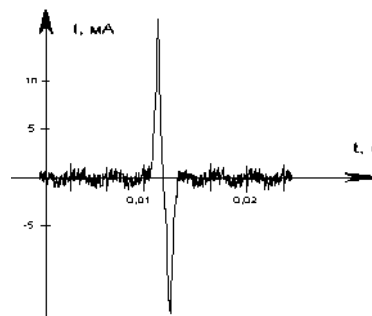


Рисунок 1 – Электрический ток при движении частицы вещества через заряженный конденсатор

При движении большого количества частиц вещества токи поляризации накладываются друг на друга, создавая сигнал тока сложной формы. Скорость измерения функции будет зависеть от многих параметров. Наиболее существенными из них являются скорость движения как отдельно взятых частиц, так и потока в целом, и концентрация частиц в рабочей области измерительного конденсатора. Графики тока поляризации при движении сыпучего материала разной концентрации через измерительный конденсатор показаны на рисунке 2.

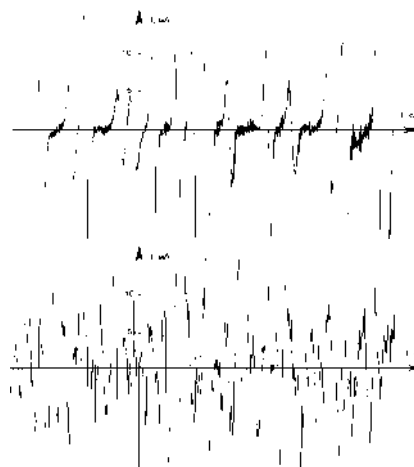


Рисунок 2 – Электрический ток измерительного конденсатора при движении через него сыпучего материала разной концентрации

## РАЗДЕЛ II. КОМПОНЕНТЫ И МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

На рисунке 2, а видно, что концентрация частиц невысокая, это отражается на отстоящих друг от друга токовых импульсах, расположенных вдоль временной оси. Одновременная поляризация нескольких частиц создает большие по величине импульсы, в то время как единичные частицы создают токовые импульсы меньшей амплитуды. На рисунке 2, б представлен ток, создаваемый из потоков средней концентрации. Информацию о результирующем токе поляризации можно получить с помощью функции интегрирования. Для этого необходимо сигнал тока проинтегрировать на определенном промежутке времени. В связи с тем, что каждая частица создает токи различные по направлению, необходимо это учитывать и при вычислении использовать модуль значения тока. Полученное значение численно равно площади множества фигур, ограниченных графиком функции  $I(t)$  и осью абсцисс.

Обозначим сумму площадей фигур через  $S_t$ :

$$S_t = \int_0^T |I(t)| dt, \quad (2)$$

где  $T$  – время интегрирования, выраженное в секундах. Полученное значение представляет собой суммарный заряд конденсатора, удерживаемый на электродах при поляризации вещества, за промежуток времени  $T$ . Таким образом, значение  $S_t$  имеет прямую зависимость от объема прошедшего вещества. Для подтверждения теоретических выкладок и получения общего вида этой зависимости необходимо провести эксперимент.

### Экспериментальные исследования

Экспериментальная установка состоит из измерительного конденсатора  $C$ , к электродам которого подключено постоянное напряжение, генерируемое источником питания  $U$ . Для регистрации тока поляризации используется преобразователь тока в напряжение, собранный на основе операционного усилителя. Достоинством такого решения является стремящееся к нулю входное сопротивление схемы. Сигнал с преобразователя поступает в персональный компьютер для дальнейшей обработки. Для его преобразования в цифровой вид используется АЦП с частотой дискретизации 400 кГц.

Из результатов эксперимента видно, что между  $S_t$  и массой пробы есть прямая,

линейная зависимость. Выбросы некоторых экспериментальных данных можно связать с влиянием концентрации. При увеличении концентрации увеличивается вероятность одновременной компенсации токов поляризации, вызванных появлением в датчике одной частицы и выходом из поля другой.

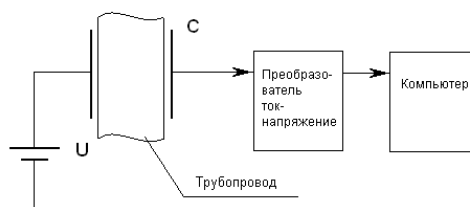


Рисунок 3 - Функциональная схема экспериментальной установки

Для проведения эксперимента было подготовлено  $n$  порций пшеницы разной массы от 20 г до 150 г. Порция зерна определенной массы просыпалась через измерительный конденсатор, и фиксировался сигнал тока поляризации. На основании полученных данных можно построить зависимость площади фигуры, ограниченной графиком тока и осью абсцисс, от массы зерна. На рисунке 4 значение  $S_t$  приведено в относительных единицах.

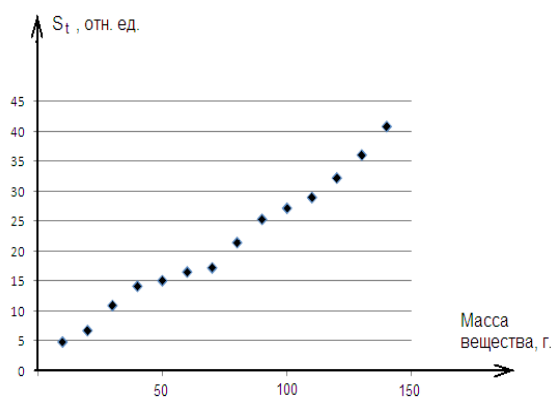


Рисунок 4 – Результат эксперимента

Так как их токи будут направлены в разные стороны, они частично или полностью компенсируют друг друга, что приведет к частичной потере информации. Величину влияния указанного явления на текущий момент определить затруднительно. Указанный недостаток не опровергает возможности реализации метода для измерения расхода сыпучего материала.

## СПОСОБ КОСВЕННОГО КОНТРОЛЯ АКУСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРИ РАБОТЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Для вычисления расхода следует найденное значение  $S_t$  разделить на  $T$ . Таким образом, можно вычислить среднее значение тока поляризации в указанном промежутке времени. Если известна зависимость между током поляризации и объемом сыпучего вещества, просыпанного через емкостный преобразователь, можно измерять объемный расход. При известной плотности контролируемого материала, объем вещества можно перевести в единицы массы, что позволяет измерять массовый расход.

### Выводы

1. Экспериментальные данные показали, что разработанный метод позволяет определять объемный и массовый расход сыпучего вещества, прошедшего через емкостный преобразователь. Так как метод опирается на явление поляризации, присутствующее только в диэлектриках, это обстоятельство ограничивает его применение непроводящим веществом.

2. Метод может быть использован в пневмотранспортных системах и трубопроводах промышленных и сельскохозяйственных предприятиях. Метод является бесконтактным, простым и недорогим в реализации.

УДК 621.317.33

## СПОСОБ КОСВЕННОГО КОНТРОЛЯ АКУСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРИ РАБОТЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Д.В. Генне

Рассмотрены вопросы косвенного определения параметров, напрямую связанных с величиной и характером акустического сопротивления сред подвергаемых ультразвуковому воздействию. Предлагаемый способ контроля параметров акустических сред основан на контроле электрических параметров ультразвуковых колебательных систем, которые непосредственно контактируют с обрабатываемыми технологическими средами.

**Ключевые слова:** Ультразвук, ультразвуковые генераторы, акустическая нагрузка, контроль.

### Введение

Современные ультразвуковые электронные генераторы представляют собой устройства, обеспечивающие не только преобразование энергии электрической сети в энергию электрических колебаний ультразвуковой частоты для питания колебательных систем, но оптимизацию условий передачи энергии от колебательных систем в обрабатываемые среды. Необходимость обеспечения заданного или максимального энергетического воз-

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кремлевский, П. П. Расходомеры и счетчики количества: справочник / П. П. Кремлевский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с.
2. Arakaki, C. Non intrusive mass flow measurements / C. Arakaki [et al.] // POSTEC Newsletter – 2006. – № 23. – pp. 15-16.
3. Sanderson, M. Guidelines for the Use of Ultrasonic Non-Invasive Metering Techniques /M. Sanderson, H. Yeung // Flow Measurement and Instrumentation, vol. 13 – 2002. – pp. 125-142.
4. Fuchs, A Measuring flow parameters of particulate and powdery solids in industrial transportation processes / A. Fuchs, H. Zangl // International journal on smart sensing and intelligent systems – 2008. – №2. – pp 388-402
5. Shao, F. Study and Industrial Evaluation of Mass Flow Measurement of Pulverized Coal for Iron-Making Production / F. Shao, Z. Lu, E. Wu, S. Wang // Flow Measurement and Instrumentation – 2000. – №11. – pp. 159-163.
6. Godbole, A Particle Trajectories in Dilute Phase Pneumatic Conveying / A. Godbole, B. Kosasih, A. Fuchs // Particulate Science and Technology – 2007. – №4. – pp. 381-385.
7. Параметрические первичные измерительные преобразователи /В.В. Евстигнеев, М.М. Горбов, О.И. Хомутов. – М.: Высш. шк., 1997. – 181 с.

*В.С. Афонин – Afonin@mail.altstu.ru; к.т.н., доцент. О.И. Хомутов, д.т.н., профессор.*

действия на различные по своим свойствам и изменяющиеся в процессе обработки технологические среды, обуславливает необходимость контроля процессов, протекающих в технологических средах по действием ультразвуковых колебаний высокой интенсивности.

Все технологические среды, подвергаемые в ходе реализации различных процессов ультразвуковому воздействию, можно условно разделить на три группы. Это жидкие,