

## Расходомеры сыпучих материалов.

Цель публикации – помочь определиться потребителям с актуальностью и типом прибора, измеряющего массовый расход вещества.

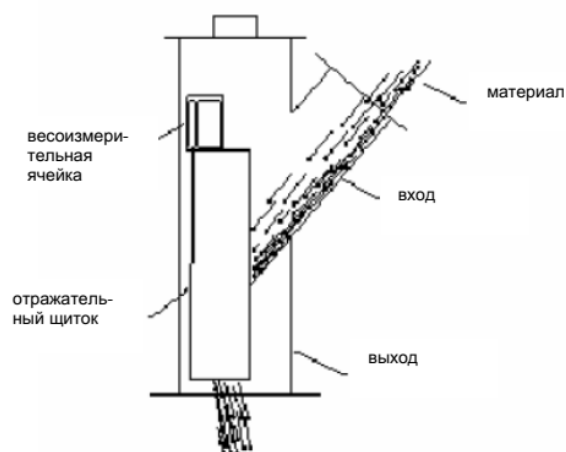
Расходомеры сыпучих материалов - интересное решение для определения расхода в трубах и желобах. Расходомеры сыпучих материалов применяются в пищевой, химической (производство минеральных удобрений), металлургической и других отраслях промышленности.

Существуют несколько типов расходомеров сыпучих материалов и каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

### 1. Ударный расходомер.



Ударный - наиболее популярный тип расходомера сыпучих веществ, как их часто называют. С помощью труб или желобов создается специальная траектория движения материала, которая



направляется на плоскую чувствительную пластину и ударяется об неё. Сила удара создает воздействие, измеряемое с помощью датчиков веса или LVDT (линейно-дифференциальный преобразователь). Насколько отклоняется пластина под действием потока вещества,

настолько датчик веса или LVDT изменяет сигнал, который преобразуется в расход в интеграторе. Во-первых, они могут работать как с малым, так и с большим диапазоном расхода. Во-вторых, отложение материала на чувствительной пластине не повлияет на точность или повторяемость измерения, т.к. только горизонтальная сила удара вызывает изменение сигнала на датчике. Любой дополнительный вес, налипающий на поверхность сенсора, не влияет на выходной сигнал системы. Это самая старая из всех технологий, используемая более 60 лет. Ударные расходомеры сыпучих веществ могут быть очень компактными - некоторые всего 650 мм в высоту, а другие подходят для большой нагрузки и 2500 мм в высоту. С размером расходомера меняется и стоимость, при этом все расходомеры изготовлены с защитой от пыли, легко очищаются и калибруются.

*Преимущества:*

- точность 1%
- широкий диапазон измерений 0-900 т/ч

*Недостатки:*

- габариты расходомеров
- повышенная стоимость

## ПРИНЦИП РАБОТЫ

Ударные весы сконструированы для работы с использованием принципов импульса (кинетической энергии) и динамического удара. Если частица, имеющая массу ( $m$ ) падает с высоты ( $h$ ) на пластину, имеющую угол наклона ( $\theta$ ) градусов от вертикали, то она ударяется о поверхность пластины со скоростью  $V_1$ , отражается от пластины и рикошетирует со скоростью  $V_2$ . При ударе частицы о пластину, на последнюю передается импульс, пропорциональный изменению скорости движения частицы. Таким образом, импульс, переданный пластине = динамической нагрузке частицы материала.

Импульс = Сила  $\times$  Время воздействия =  $Ft$

Импульс –  $m (V_1 - V_2)$ ;  $Ft = m (V_1 - V_2)$ ;  $w$

$Ft = \dots (V_1 - V_2)$ ;  $g$

Где:  $V_1 = f(h)$

$V_2 = f(h, \theta, u, e)$

$U$  = коэффициент трения между пластиной и частицей материала

$e$  = коэффициент упругости пластины

Стрелкой на иллюстрации: масса частицы ( $m$ )

Для заданных условий  $h$ ,  $\theta$ ,  $u$  и  $e$  будут постоянными величинами.

$Ft = wk$ ;  $w$

$F = k \dots t$ ;  $w$

Где  $F$  = сила, действующая на пластину,  $\dots$  = скорость потока частиц материала,  $a$ ;  $t$

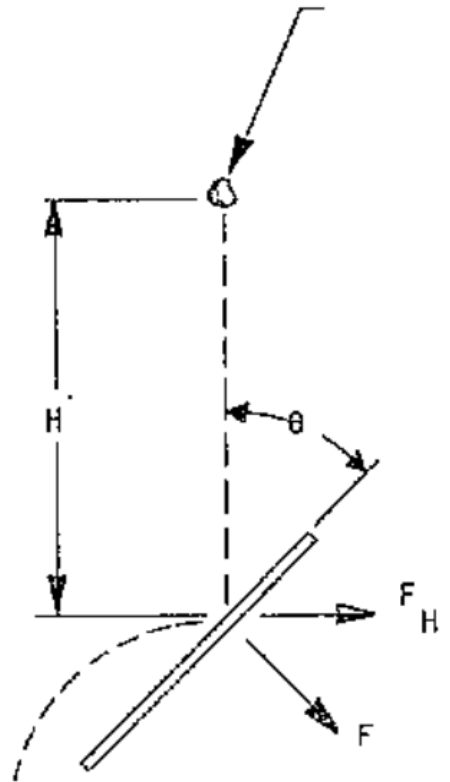
$k$  = константа =  $f(h, \theta, u, e)$

Механизм ударных весов производства компании «Уралвес-Дон» сконструирован для измерения только горизонтального компонента ( $F_H$ ) силы ( $F$ );  $F_H = F \cos \theta$ ;  $w$

$F = k \dots \cos \theta = K1W$ ;  $t$

ИЛИ: горизонтальная составляющая ударной

силы, действующей на пластину, является прямо пропорциональной скорости потока материала, поступающего на пластину. В ударных весах производства компании «Уралвес-Дон» действие данной горизонтальной силы передается на пластину ощущения, оборудованную тензодатчиком.



На фото комплект поставки ударного расходомера на 0,3 – 15 т/ч  
В стандартный набор функций расходомера входят следующие:

- Измерение и отображение текущего расхода материала
- Вычисление массы продукта, прошедшего через расходомер
- Выдача во внешние цепи сигнала о достижении массой заданного значения
- Выдача стандартного аналогового сигнала, пропорционального расходу с возможностью масштабирования выхода
- Сигнализация отклонения расхода за два настраиваемых предела
- Связь с компьютером по RS 232

Если расходомер измеряет расход свободно текущего потока произвольной производительности, то дозатор непрерывного действия выпускает материал из емкости с заданной постоянной производительностью, независимо от изменения объемной массы, влажности и других характеристик материала. При этом расходомер является неотъемлемой и основной частью дозатора. Для построения дозатора необходимо над расходомером установить регулируемый питатель. Тип питателя: заслоночный, шнековый, ленточный, т.п. – зависит от свойств дозируемого материала. Выход расходомера должен быть подключен к регулятору, который сравнивает показания расходомера с заданным расходом и управляет питателем: частотой вращения привода или степенью открытия заслонки – в зависимости от результата сравнения. Контур обратной связи в системе автоматического управления непрерывным дозатором замыкается через поток материала, падающий из питателя на лоток расходомера. Как следует из описания, дозатор с расходомером всегда является двухагрегатным: первый агрегат – расходомер, второй – питатель.

#### **Задатчик производительности на шлюзовом затворе и расходомере сыпучих продуктов для зерновых культур.**



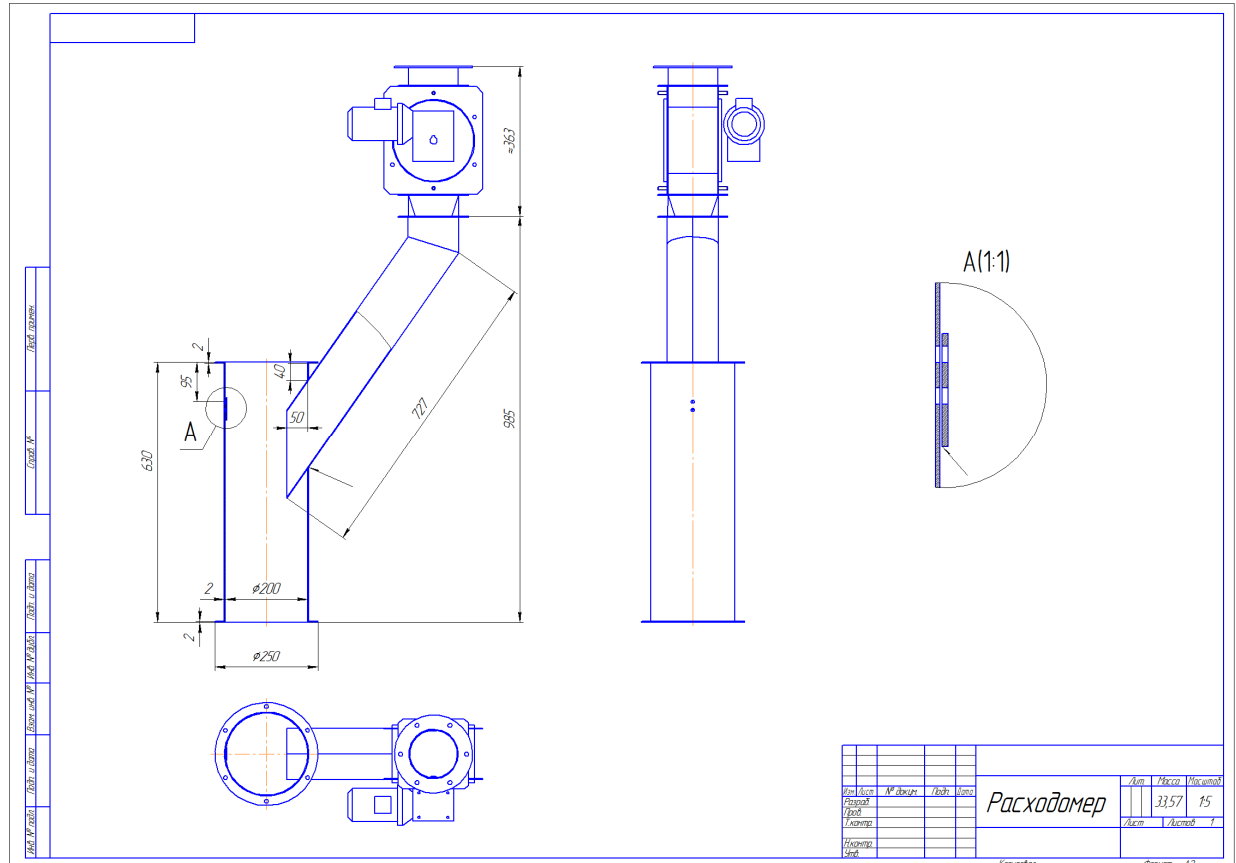
Назначение:

Автоматический непрерывный контроль и поддержание заданного массового расхода зернистых продуктов в регулируемом текущем потоке. Основные отрасли применения - цементная, химическая, перерабатывающая, строительная. Применяется для автоматической дозированной загрузки бункеров, смесителей, а также транспортных средств, для непрерывного смесеприготовления, в системах регулирования соотношения потоков, т.п. Относится к не стандартизированным средствам измерения, не подлежащим госповерке.

Технические характеристики:

- Точность измерения количества продукта (кг), производительности потока (т/ч) – 1%
- Точность регулирования производительности потока 3%
- Минимальная доза при дозировании продукта – 100 кг.
- Шлюзовой затвор – 3л; 6 камер
- Мотор редуктор 0,35 кВт; 56 об/мин на валу.

- Производительность по семенам подсолнечника 4200 кг/час при  $\rho=0,45$  т/м<sup>3</sup>



### Характеристики материалов для получения наилучших результатов эксплуатации:

- Слабое сцепление (свободно пересыпаются по наклонным желобам, расположенным под углом 50° и более; по своим физическим свойствам сходны с жидкостями)
- Слабое слипание (не прилипают к поверхностям оборудования)
- Низкая абразивность (не приводят к износу желобов, направляющей подающего устройства или сенсорной пластины)
- Низкая щелочность (не приводят к повреждению внутренних деталей расходомера)

Большинство материалов с низким содержанием влаги обладает прекрасными характеристиками сыпучести при отсутствии слипания. В условиях производственных процессов, где показатели абсолютной влажности варьируют, для установки расходомера необходимо выбрать место с наименьшими показателями влажности. Не допускающие прилипание покрытия сенсорной пластины и направляющей подающего устройства расходомера.

### Что необходимо понимать при выборе ударного расходомера и работе с этим устройством.

Расходомер является устройством, которое для определения веса пройденного через него продукта использует косвенный метод измерения.

Расходомер не измеряет вес. Расходомер измеряет ту часть импульса кинетической энергии продукта вектор скорости, которой направлен по оси абсцисс. ( из физики известно, что кинетическая энергия материальной точки

$T = mv^2/2$ , с учетом понятия импульса ( $p \rightarrow = mv \rightarrow$ ) данное выражение примет вид  $T = P^2/2m$  ) Из формулы понятно, для того, чтобы судить о массе пройденного через расходомер продукта, необходимо добиться одинаковой скорости всех

частиц продукта по оси абсцисс. Для этого используют всевозможные формователи потока, которые обеспечивают нулевую начальную скорость частиц продукта по оси абсцисс. Например, меняет направление вектора скорости по оси абсцисс на противоположное. Т. е. скорость продукта по оси абсцисс падает до нуля, далее происходит набор скорости в противоположном направлении под действием силы тяжести. Т. о. все частицы продукта при соприкосновении с пластиной ощущения имеют одинаковую скорость, и давление на эту пластину зависит только от количества продукта. Вектор параметра, который мы измеряем, направлен перпендикулярно силе тяжести, поэтому и тензодатчик крепится особым образом. Тензодатчик установленный в расходомере – Single Point, это означает, что датчик компенсирует плечо воздействия силы до 200 мм, скручивающий момент до 15 % от НПИ.

Для минимизации погрешности измерений расходомера необходимо снижать скорость истечения продукта в устройстве. Чем меньше скорость продукта, тем меньше разница скоростей между частицами продукта. Лучше пропускать большую массу продукта на меньшей скорости, чем наоборот.

### **РЕГУЛЯРНАЯ НОВАЯ КАЛИБРОВКА**

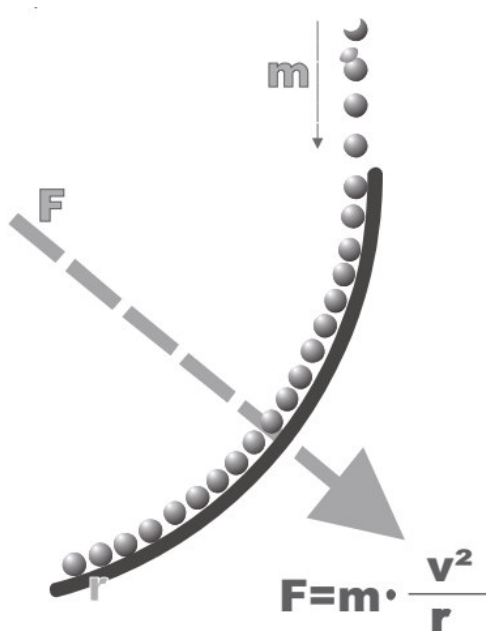
Если расходомер смонтирован правильно, то калибровка нуля и полная калибровка не требуют особого внимания. Но все же для обеспечения оптимальной точности рекомендуется время от времени повторять коррекцию нуля и полную компенсацию. Частота новых калибровок сильно зависит от условий использования и эксплуатации. В начале рекомендуется осуществлять новые калибровки чаще (с записью отклонений). Со временем они могут осуществляться реже.

### **ПРОВЕРКИ**

Необходимо проверять, не образуются ли, отложения материала, от весоизмерительной ячейки или отражательного щитка до корпуса. Это может ограничить подвижность деталей. Расходомер, его компоненты и граничные трубы, для удаления материала не должны подвергаться ударам. Необходимо контролировать отражательный щиток на предмет износа, составить план ТО, чтобы контролировать чистоту области попадания.

## **2. Центробежный расходомер.**

Центробежный - измененный вид ударного расходомера. Центробежный



расходомер сыпучих веществ измеряет расход через измерения силы воздействия среды на изогнутую пластину, к которой присоединены датчики веса. Поток вещества должен быть направлен параллельно пластине, и когда материал начинает двигаться по кривой, то начинает действовать тангенциальная сила, которая передается на интегратор, позволяя перевести силу воздействия в расход. Следует проявлять осторожность при применении данного вида продукции. С характеристиками и правильным потоком материала, центробежные решения могут быть чрезвычайно точны. Тем не менее, если материал липкий и каким-либо образом начинает налипать на чувствительную пластину, сигнал с

центробежных расходомеров начинает смещаться и измеряется как

тангенциальное усилие. Предел расхода также ограничивается конструкцией данного расходомера, но эта технология также предлагает пыленепроницаемые корпуса и легкую калибровку.

*Преимущества:*

- габариты расходомеров

*Недостатки:*

- точность хуже 1%
- невозможность применять на липкие материалы
- высокая стоимость

Из формулы видно, что для обеспечения приемлемой точности, необходимо обеспечить не только одинаковую скорость всех частиц материала, но и одинаковый радиус траектории движения частиц. По сравнению с ударными расходомерами этот «Г» в формуле силы, дает дополнительную погрешность при вычислении массы продукта.

Примеры центробежных расходомеров.



### Расходомеры Hense FlowSlide

- используют центробежный принцип измерения расхода;
- температура продукта до 200°C;
- приведенная погрешность измерений около 1 %;
- диапазон измерений от 10 до 80 м³/ч (в зависимости от модификации);
- выход 4-20 мА, RS 485;



### Расходомеры C-LEVER

- используют центробежный принцип измерения расхода;
- температура продукта до 200°C;
- приведенная погрешность измерений около 1 %;
- Защита IP68

### Расходомеры «Лотос» Тензо-М

В стандартный набор функций расходомера «Лотос» входят следующие:

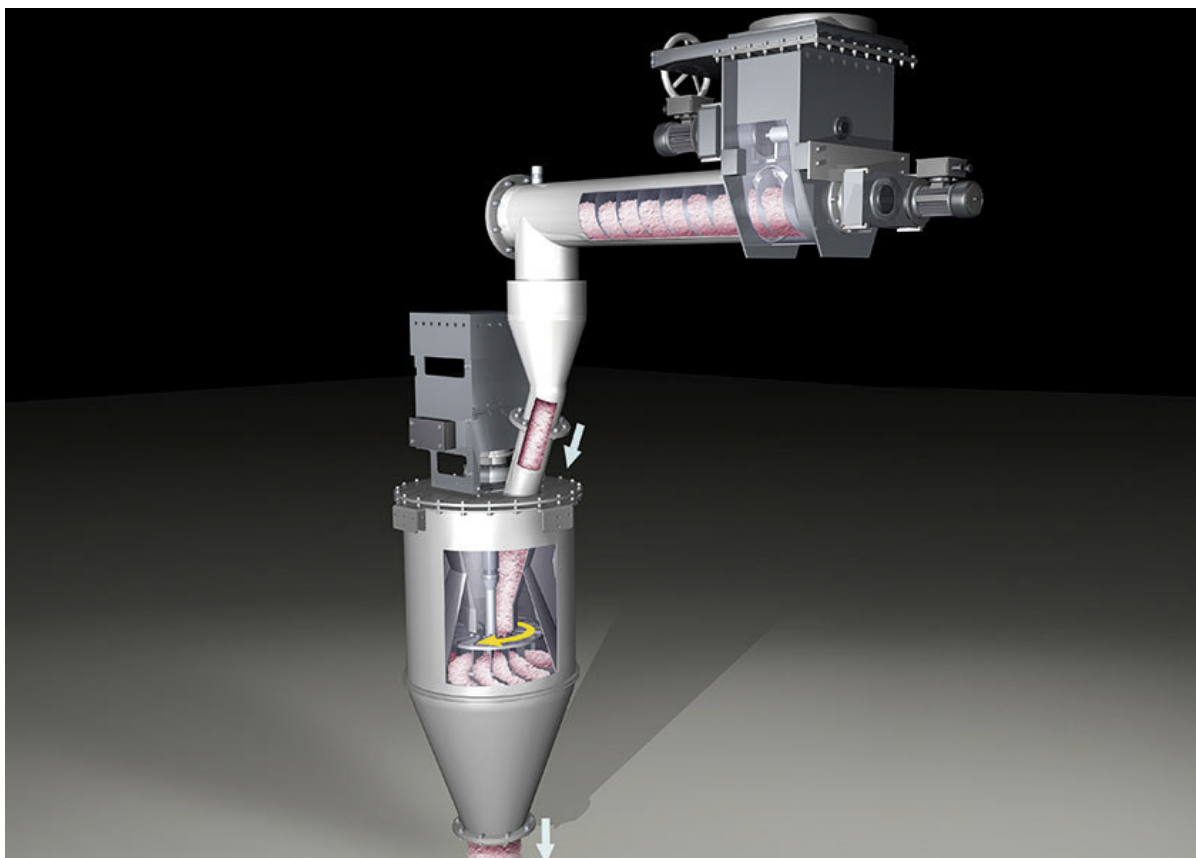
- Измерение и отображение текущего расхода материала
- Вычисление массы продукта, прошедшего через расходомер



- Выдача во внешние цепи сигнала о достижении массой заданного значения
- Выдача стандартного аналогового сигнала, пропорционального расходу с возможностью масштабирования выхода
- Связь с компьютером по RS 485 (стандартный протокол Modbus RTU)

### 3. Кориолисовый расходомер.

Кориолисовый расходомер (в РФ не выпускается) сыпучих веществ не использует тот же принцип, что и для жидкости. Для измерения сыпучих тел, вещество, попадая в расходомер, падает на лопасти, вращаемые электродвигателем. Двигатель подключен к удерживающему рычагу, на который установлен датчик веса. Подача материала изменяет силу кориолиса, соответственно меняя крутящий момент двигателя. Датчик веса обнаруживает это и посылает сигнал на интегратор, который переводит его в расход. Кориолисовые расходомеры сыпучих веществ - хорошая альтернатива при высокой скорости потока и высокоточных применениях. Высокие скорости потока и требования к точности кажется нормой в процессе развития измерительных приборов. Конструкция кориолиса также опробована и точность верна, но она имеет некоторые недостатки. Материал, который является абразивным, может преждевременно изнашивать лопасти расходомера, требуется замена. Большие размеры частиц могут стать проблемой забивки или засорения выгрузки. Еще один недостаток кориолисового расходомера - то, что устройство приводится в



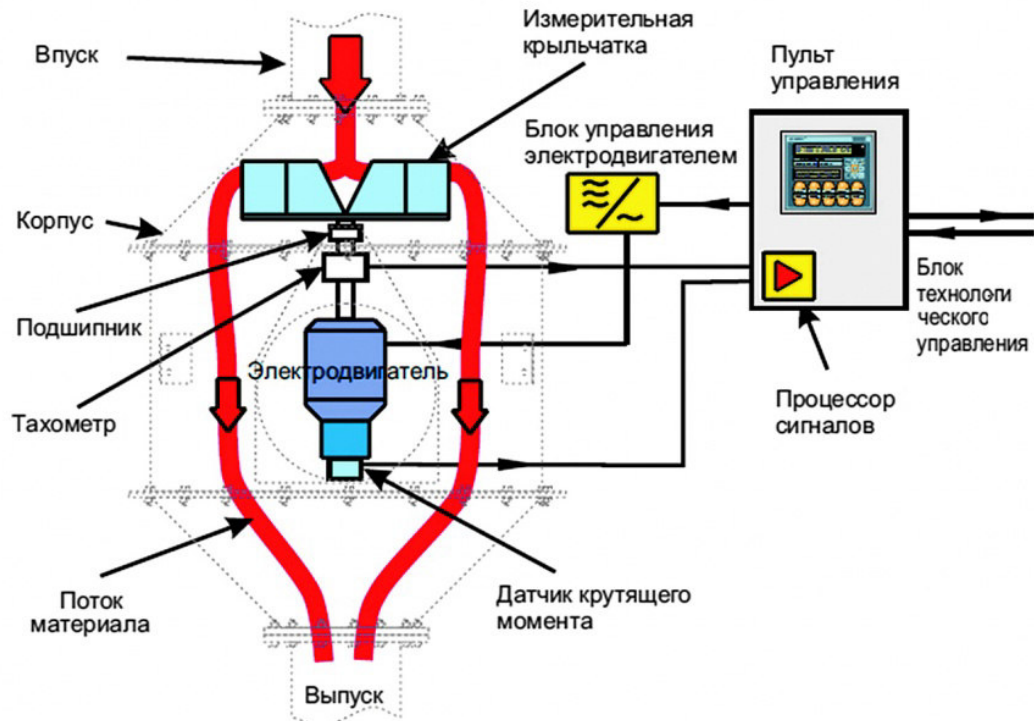
движение двигателем высокого напряжения. Для всех других типов расходомеров требуется стандартное питание, в тоже время двигателям переменного тока нужно от 120 до 600 В.

**Сила Кориолиса равна удвоенной радиальной скорости ( $V_p$ ), умноженной на угловую скорость вращения ( $\omega$ ) и умноженную на синус угла между ними, а так же на испытываемую массу ( $M$ ).**

$$\vec{F}_k = -2m[\vec{\omega} \times \vec{v}].$$

Из формулы видно, что линейная скорость частиц продукта уже не находится в квадрате, а угловая скорость крыльчатки измерителя нам хорошо известна.

**Схема расходомера.**



**Пример работающего устройства.**



*Преимущества:*

- точность <1%
- измерение больших расходов 0-600 т/ч

*Недостатки:*

- высокая стоимость
- невозможность измерять абразивные материалы

## 4. Микроволновый расходомер.

Микроволновый расходомер сыпучих материалов использует микроволновую технологию, источник излучает энергию в 24-125 ГГц. Используя принцип Доплера, изменение отраженных микроволн передается сенсором, как сигнал 4-20 мА в контроллер для преобразования в расход. Микроволновые расходомеры можно использовать в пневматических системах подачи, т.к. дополнительная сила потока не влияет на измерение расхода, как в трех предыдущих типах расходомеров. Микроволновый расходомер подкупает своей низкой стоимостью, низкая точность - это альтернатива большим громоздким расходомерам, об этом

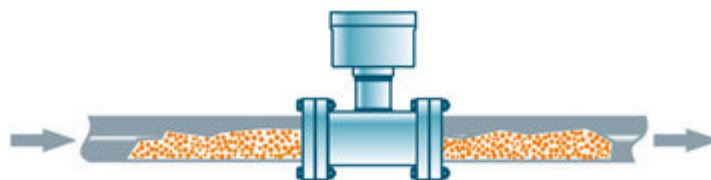
уже говорилось. Продукт, который помещается у Вас в руке и может быть установлен менее, чем за час, в сравнении необходимости крана с блоком выше тебя, имеет свои преимущества. Калибровка выполняется быстро и просто, и нет вращающихся или контактирующих с материалом частей, это делает его весьма привлекательным. Однако любой процесс, где требуется точность, не выиграет от этого вида продукта. Микроволновые расходомеры также можно использовать с любым типом системы, будь то самотёчный поток или пневматические транспортеры. Микроволновые расходомеры сыпучих продуктов примерно выглядят как микроволновые датчики уровня.

*Преимущества:*

- компактность
- простая калибровка
- низкая стоимость
- возможность измерять расход в труднодоступных местах и пневмотранспорте

*Недостатки:*

- низкая точность 3-5%
- измерение расхода до 20 т/ч



microwave meter

- `` бесконтактный метод измерения расхода;
- `` простой монтаж и ввод в эксплуатацию;
- `` давление в трубе – до 10 бар;
- `` максимальная температура продукта – 200 °С;
- `` возможность измерения расхода в пневмотранспорте;
- `` возможность измерения расхода в трубопроводах до 700 мм.

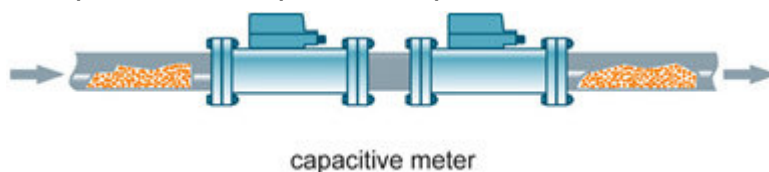
## 5. Емкостной расходомер.

Емкостной - измерение основано на двух независимых измерениях. Одним из них является измерение емкости пустой трубы к полной трубе, которое пропорционально концентрации материала. Другое - измерение скорости, в котором используются 2 датчика, чтобы измерить время, которое потребуется, чтобы материал перешел от одного датчика до второго. Сигналы этих измерений передаются на интегратор для вычисления расхода. Емкостное измерение также может быть использовано пневматическими системами. Емкостные расходомеры сыпучих продуктов также были на рынке в течении некоторого времени. Использование двух измерительных принципов помогает повысить точность общего измерения расхода, но это устройство не может работать с большими объемами материала. Установка проста и понятна, как установка обычного расходомера для жидкостей. Калибровать также легко, но точность не очень хороша по сравнению с большими устройствами. Емкостные расходомеры могут использоваться в самотечных и пневматических системах, и также - очень

конкурентоспособное решение по сравнению с большими механическими устройствами. Емкостные расходомеры сыпучих продуктов похожи на расходомеры для жидкостей и выглядят как электромагнитные расходомеры.

*Преимущества:*

- простая калибровка
- низкая стоимость
- возможность измерять расход в труднодоступных местах



*Недостатки:*

- низкая точность 3-5%
- измерение расхода до 150 т/ч



- `` бесконтактный метод измерения расхода, отсутствие механических частей;
- `` максимальное давление в трубе 10 бар;
- `` максимальная температура продукта 120 °С;
- `` три типа диаметра: DN 100, DN 150, DN 200;
- `` внутренняя труба, выполненная из керамики;
- `` возможность монтажа в вертикальных и наклонных

трубопроводах;

- `` простой монтаж, не требующий дополнительного места

## 6. Трибоэлектрический



Трибоэлектрический эффект — появление электрических зарядов в материале из-за трения. Является типом контактной электризации, в которой некоторые материалы становятся электрически заряженными после того, как они входят во фрикционный контакт с другим материалом. Расходомер служит для измерения расхода сыпучих материалов до 100 кг/ч на участках свободного падения и в потоке пневмотранспорта. Широко применяются на мусоросжигающих заводах для дозации активированного угля, а в химической промышленности — для дозации добавок. Их популярность объясняется простым монтажом и вводом в эксплуатацию, хорошим сочетанием цены и качества, а также другими преимуществами:

- `` бесконтактный метод измерения расхода;
- `` максимальное давление в трубе - 10 бар;
- `` максимальная температура продукта - 250 °С;
- `` возможность измерения расхода в пневмотранспорте;
- `` возможность измерения расхода от 10 кг/ч.

Автор: Горошенко О. О.