

**Записка по техническим вопросам:
EN0077 Методы контроля влажности для систем дозирования**

Резюме: Описание методов контроля влажности в системах дозирования

Относится к продуктам: Все продукты

Дата редакции: 20/03/2018 Автор: С. Кук

1 Резюме:

В этой записке по техническим вопросам объясняются методы контроля влажности для дозирующих систем. Система дозирования обычно состоит из нескольких силосов или загрузочных воронок для сырья, а также смесителя, объединяющего эти материалы для создания конечного продукта.

В записке используется международная система единиц. Также предполагается, что удельный вес воды равен 1. Изменения удельного веса воды при разных температурах не учитываются, поскольку это изменение незначительно.

2 Силосы и загрузочные воронки

Составы или рецепты чаще всего определяются исходя из сухой массы материала. На практике материалы обычно содержат влагу. Это влияет на вес материала и его объемную плотность. Это изменение объемной плотности связано либо с расширением самих частиц, например зерен семян, либо с изменением поверхностного натяжения материала, например со слипанием песка при определенном содержании влаги.

2.1 Дозирование по объему

Из-за влаги изменение объема трудно измерить, оно часто является нелинейным, и очень трудно внести правильные корректировки на основе содержания влаги. Hydronix рекомендует заменить объемные системы измерения системами взвешивания.

2.2 Дозирование по весу

Изменение веса из-за влажности является линейным. Несмотря на то, что удельный вес воды изменяется вместе с температурой, для всех практических целей его можно рассматривать как константу 1. Это помогает упростить процесс контроля, так как вес 1 л воды можно считать равным 1 кг.

Пример:

Вес материала 1000 кг

Содержание влаги = 10 %

$1000 \times 0,1 = 100$ кг воды

Удельный вес воды при 0 °C (спр. темп. 20 °C) = 1,002

$100 \text{ кг} / 1,002 = 99,8$ л

Удельный вес воды при 37,8 °C (спр. темп. 20 °C) = 0,995

100 кг / 0,995 = 100,5 л

Это изменение меньше, чем достижимая точность промышленной весовой системы дозирования, и поэтому в дальнейшем в данной записке удельный вес воды будет принят равным 1. Также предполагается, что все данные о материале будут основаны на этом допущении.

Чтобы провести быстрое и точное взвешивание материала с помощью систем дозирования по весу, необходимо сначала выполнить дозирование большей части материала, называемой основной дозой, взвесить дозированный материал, а затем добавлять остаток материала медленно несколькими малыми дозами. Малая доза определяется как раскрытие задвижки на небольшой промежуток времени, что позволяет пропустить небольшое количество материала, после чего задвижка закрывается. Материал взвешивают после каждой малой дозы до тех пор, пока не будет добавлено требуемое количество материала.

Средства контроля влажности могут быть интегрированы в этот процесс, не влияя на общее время дозирования. Конечный целевой вес может быть скорректирован до тонкой дозировки. Это зависит от ожидаемых изменений влажности материала. Основная доза должна быть меньше, чем диапазон влажности материала. Поскольку взвешивание на этом этапе является менее точным, имеет смысл закладывать 5-процентный допуск, чтобы учесть отклонения в большую и меньшую сторону.

Пример:

Самая низкая ожидаемая влажность = 3 %

Самая высокая ожидаемая влажность = 18 %

Допуск = 5 %

Диапазон влажности = 18 – 3 = 15 %

Основная доза = 100 – 15 – 5 = 80 %

Во время работы с основной дозой важно усреднить измерения влажности датчика. Влажность меняется по мере обработки партии, так что компенсация должна основываться на средней влажности, а не на отдельных показаниях на момент окончания партии.

Усреднение должно выполняться с использованием функции «Среднее/Фиксированное», которую обеспечивают датчики Hydronix. Это позволяет избежать ошибок, которые могут возникнуть при считывании выходных сигналов датчиков через аналоговую петлю из-за шума кабеля или разрешения входа аналоговой карты.

Усреднение на датчике можно использовать либо путем подачи питания на цифровой вход датчика, либо через соединение RS485.

После основной дозы усредненное значение сохраняется и может быть считано с датчика, что позволяет скорректировать конечную массу. Для расчета фактического веса материала применяется следующая формула:

$$T = T_d(100 \% + M\%)$$

Рисунок 1: Расчет влажного веса

Где:

T = общий вес добавляемого материала

T_d = Сухой вес необходимого материала для партии

M = Влажность материала (Важно: 100 % = 1, M% = влажность/100)

Пример:

Целевая сухая масса материала = 1000 кг

Основная доза = 80 %

Целевая основная доза = 1000 x 0,8 = 800 кг

Фактическая масса основной дозы = 780 кг (с поправкой на ошибку взвешивания)

Средняя влажность = 10 %

Конечная цель = 1000 x (100 % + 10 %) = 1000 x (1 + 0,1) = 1100 кг

2.2.1 Процессы контроля

Для систем, где загрузочная воронка / силос используются только для одного материала, рекомендуется провести калибровку датчика и установить датчик на вывод средней влажности. Для систем, где в разное время могут храниться несколько материалов, рекомендуется устанавливать датчик на вывод среднего пересчитанного значения. Затем следует провести калибровку в системе управления.

Псевдокод для процесса дозирования с применением загрузочной воронки / силоса, где датчик настроен на вывод влажности.

1. Установите целевое значение основной дозы в процентах от конечной цели с учетом отклонений в большую сторону и изменений влажности (примечание: в примере выше это значение составляет 80 %).
2. Откройте задвижку загрузочной воронки / силоса.
3. Начните усреднение в датчике, включив цифровой вход или отправив команду запуска усреднения через RS485.
4. Держите задвижку открытой, пока на весах не отобразится целевое значение.
5. Остановите усреднение, отключив цифровой вход или отправив команду останова усреднения через RS485.
6. Закройте задвижку загрузочной воронки / силоса.
7. Возьмите среднее значение влажности из датчика и рассчитайте конечный целевой вес, используя уравнение на рисунке 1.
8. Пока значение на весах меньше конечной цели, открывайте и закрывайте задвижку на короткие периоды (тонкое дозирование) до тех пор, пока конечная цель не окажется в допустимых пределах.

Для систем, которые должны сохранять несколько калибровок, необходимо рассчитать влажность из пересчитанного значения. Это просто, поскольку датчик линейно реагирует на добавление влаги.

$$\text{Влажность \%} = B \cdot \text{пересчитанное} + C - D$$

Рисунок 2: Расчет влажности из пересчитанного значения

Где:

B = пересчитанное изменение на изменение % влажности (градиент)

C = смещение (теоретическое пересчитанное значение, если влажность = 0)

D = показатель адсорбции

Примечание. Значение D требуется только в том случае, если вместо общей влажности должна отображаться свободная влажность, иначе оно может быть равно 0.

2.2.2 Калибровка материала

При калибровке материала следует снять показания влажности материала и непересчитанное значение при такой влажности в нескольких точках, предпочтительно во всем рабочем диапазоне. Рабочий диапазон материала — это диапазон между минимальной и максимальной возможной влажностью во время производства. Рекомендуется выбрать по крайней мере три точки измерения в рабочем диапазоне. Датчики Hydronix не могут использоваться для измерения влажности ниже значения адсорбции воды в материале, поэтому рекомендуется поддерживать влажность материала выше этого значения.

Пример:

Песок имеет значение адсорбции воды 1,5 %, он насыщается при 16 %.

На производстве песок хранится при влажности выше 2 %, а при повышении влажности выше 8 % в процесс поступает слишком много воды.

Поэтому рабочий диапазон составляет 2–8 %.

Образцы песка следует собирать приблизительно при 2, 5 и 8 %.

Чтобы вычислить значения В и С в нескольких точках, наиболее часто применяется метод линейной регрессии наименьших квадратов. Этот метод рекомендуется Hydronix.

B

$$B = \frac{\sum \text{Значения влажности} \cdot \sum \text{Непересчитанные значения} - \left(\frac{\sum \text{Значения влажности} \cdot \sum \text{Непересчитанные значения}}{\text{Количество точек}} \right)}{\sum \text{Непересчитанные значения}^2 - \left(\frac{\sum \text{Непересчитанные значения} \cdot \sum \text{Непересчитанные значения}}{\text{Количество точек}} \right)}$$

Рисунок 3: Расчет значения В

$$C = \frac{\sum \text{Значения влажности} - B \cdot \sum \text{Непересчитанные значения}}{\text{Количество точек}}$$

Рисунок 4: Расчет значения С

Пример

Непересчитанное	Влажность
20	2
30	5
40	8

$$B = \frac{((20 \cdot 2) + (30 \cdot 5) + (40 \cdot 8)) - ((2 + 5 + 8) \cdot (20 + 30 + 40) / 3)}{((20 + 30 + 40) \cdot (20 + 30 + 40) / 3) - ((20^2 + 30^2 + 40^2) - ((20 + 30 + 40) \cdot (20 + 30 + 40) / 3))}$$

$$B = (510 - (15 \cdot 90 / 3)) / ((400 + 900 + 1600) - (90 \cdot 90 / 3))$$

$$B = 60 / (2900 - 2700)$$

$$B = 60 / 200$$

$$B = 0,3$$

$$C = ((2 + 5 + 8) - 0,3 \cdot (20 + 30 + 40)) / 3$$

$$C = (15 - 27) / 3$$

$$C = -4$$

3 Смесители

Контроль влажности в смесителях обычно происходит посредством добавления воды до целевого значения. Это можно сделать, используя либо метод расчета, либо метод струйной подачи. Метод расчета включает измерение влажности материала и последующий расчет количества воды для добавления в одну дозу.

Чтобы воспользоваться методом расчета, необходимо знать точный сухой вес материала.

Метод струйной подачи может использоваться, даже если информация о сухом весе неточная, но требует больше времени, чем метод расчета.

Для метода струйной подачи требуется постоянный напор воды.

Этот документ охватывает процессы контроля, используемые в обоих методах. Подробное объяснение использования каждого метода приведено в главах 4 и 5 документа HD0456 «Руководство по эксплуатации Hydro-Control VI».

В HD0456 режим расчета называется режимом «CALC». Метод струйной подачи называется режимом «AUTO».

Важно отметить, что в отличие от загрузочных воронок и силосов, в смесителе происходит смешивание материалов.

Смесь материалов можно рассматривать как один материал, пока сохраняются пропорции материалов состава и отводится достаточно времени для смешивания до однородного состояния. Смесь материалов обычно называется рецептом или составом в зависимости от отрасли. Это, по сути, одно и то же.

Цикл смешивания включает следующее:

1. Добавление материалов
2. Смешивание материалов до достижения стабильного сигнала
3. Добавление воды
4. Смешивание материалов с водой до достижения стабильного сигнала
5. Выгрузка материала

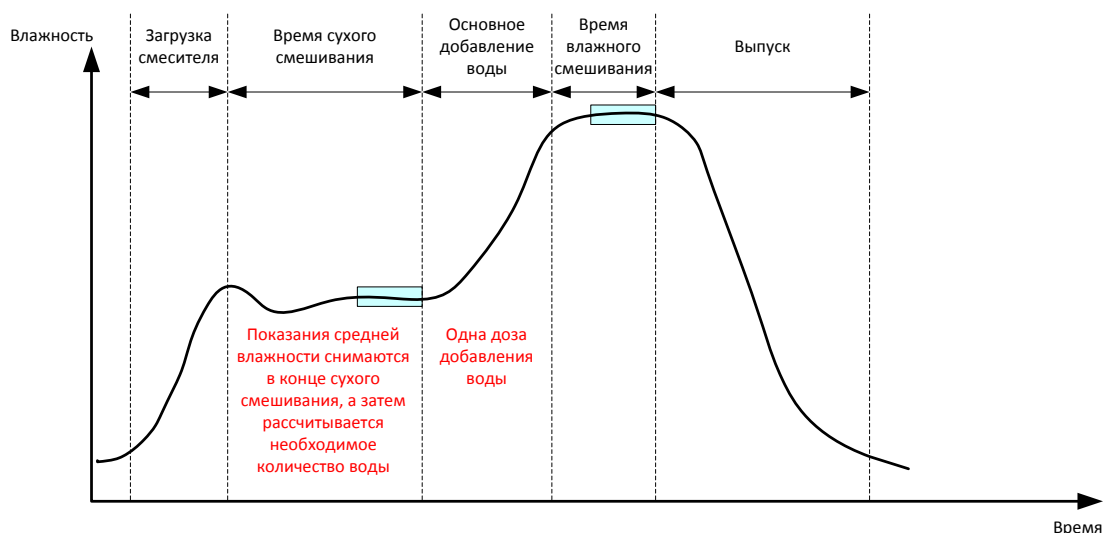


Рисунок 5 - Цикл смешивания

Может потребоваться повторить шаги 2–4, если на разных этапах необходимо добавлять различные материалы или если добавление материалов (таких как металлы) неблагоприятно отражается на сигнале датчика.

3.1 Внедрение метода расчета

Для расчета количества добавляемой воды следует использовать непересчитанное значение датчика. Чтобы выполнить расчет, необходимо разрешить оператору использовать ручной метод, при котором заданное количество воды может быть добавлено в соответствии с рецептом и имеющейся у оператора информацией о содержании влаги в поступающих материалах. Это позволит оператору создать эталонную смесь. На рисунке 6 показан процесс получения эталонной смеси

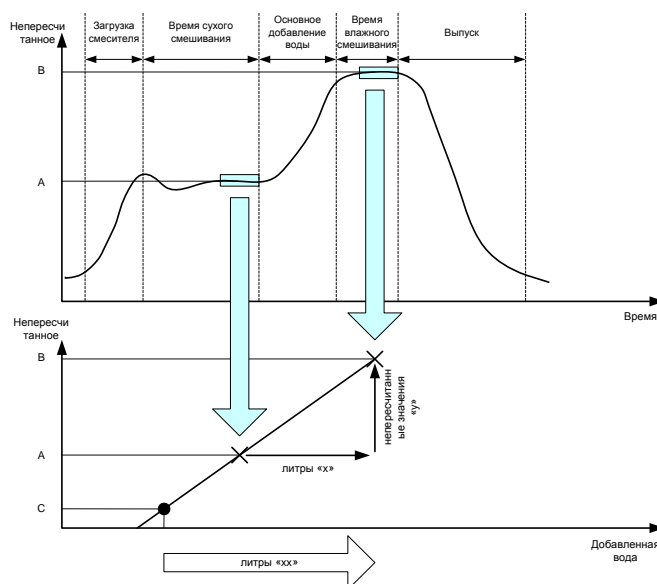


Рисунок 6: Точки калибровки в цикле смешивания

Стабильное измерение достигается в конце периода сухого смешивания и в конце периода мокрого смешивания. Рекомендуется усреднять сигнал датчика в течение как минимум пяти секунд.

Непересчитанное изменение на единицу увеличения влажности (градиент графика) можно рассчитать, как показано на рисунке 7.

$$B = \frac{100 \cdot \text{Вода}}{\text{Сухой вес}(\text{Непересчитанное}_{\text{мокрый}} - \text{Непересчитанное}_{\text{сухой}})}$$

Важно: значение 100 является коэффициентом пересчета, позволяющим использовать значение B в уравнении на рисунке 2

Рисунок 7: Расчет градиента добавления воды

Следует отметить, что сухой вес представляет собой общий сухой вес всех добавленных материалов, исключая воду и любую влагу, которая содержится в поступающем материале.

В рецепте значение влажной смеси и значение B должны быть записаны для использования в процессе производства. Чтобы рассчитать того, сколько воды необходимо добавить в сухой рецепт или состав, можно использовать уравнение на рисунке 8.

$$\text{Необходимая вода} = \frac{\text{Сухой вес } B \cdot (\text{Непересчитанное}_{\text{целевое}} - \text{Непересчитанное}_{\text{текущее}})}{100}$$

Примечание: значение 100 является коэффициентом пересчета, позволяющим использовать значение *B* в уравнении на рисунке 2

Рисунок 8: Вычисление требуемого количества воды во время смешивания

Для расчета значения влажности необходимо применить смещение. Для расчета смещения пользователь должен указать конечную величину влажности. Ее можно узнать либо путем лабораторного тестирования готового продукта, либо, если это невозможно (например, при производстве бетона, когда в результате химической реакции вода превращается в другое вещество), содержание влаги может быть рассчитано, как показано на рисунке 9.

$$\% \text{Конечная влажность} = \frac{100(\text{Вода в сырых материалах} + \text{Вода, добавленная при смешивании})}{\text{Общий сухой вес материалов}}$$

Рисунок 9: Расчет конечной влажности продукта

Чтобы преобразовать непересчитанное значение датчика в показанное содержание влаги, необходимо рассчитать смещение, как показано на рисунке 10.

$$C = \text{Влажность}_{\text{целевая}} - \text{Непересчитанное}_{\text{целевое}} \cdot B$$

Рисунок 10: Вычисление смещения для калибровки

Затем можно показать влажность, используя уравнение на рисунке 2.

3.2 Реализация метода струйной подачи

Наиболее эффективный способ применения струйной подачи включает изменение расхода воды, так что в начале при добавлении воды используется высокий расход, но по мере того, как уровень влажности приближается к целевому значению, расход уменьшается, чтобы не превысить целевое значение. Чаще всего это достигается за счет пропорционально-интегрального дифференциального регулятора (ПИД-регулятор). Большинство систем ПЛК включают ПИД-регуляторы в виде встроенных функциональных блоков.

Более полное описание ПИД-регулятора приведено в разделе 3.3. главы 8 HD0456.

Если в смесительной системе установлен пропорциональный клапан, сделать это можно относительно просто. Система должна сохранять пропорциональный коэффициент усиления, интегральный коэффициент усиления и дифференциальный коэффициент усиления. Поскольку смесительные системы не могут восстановиться после переполнения (слишком много воды), значение производной должно быть равным 0.

Управляющий выход пропорционального клапана может быть затем настроен по следующему уравнению.

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

где:

K_p : Пропорциональный коэффициент усиления, параметр настройки

K_i : Интегральный коэффициент усиления, параметр настройки

K_d : Дифференциальный коэффициент усиления, параметр настройки

e : Ошибка = целевое значение (непересчитанное) – текущее значение (непересчитанное)

t : Время или текущее время (настоящее)

T : Переменная интеграции; принимает значения от времени 0 до настоящего времени t .

$MV(t)$ = управляемая переменная (или управляющий выход). Ограничена значениями 0–100 при использовании клапана.

Фактически пропорциональная часть является простым отношением ошибки, поэтому чем больше ошибка, тем больше ответ. Интегральная часть — это сумма ошибок с течением времени. Чем дольше присутствует ошибка, тем больше ответ на ошибку. Производная часть — это скорость изменения ошибки. При высокой скорости изменения ошибки воздействие дифференциального регулирования будет выше. Это наиболее сильно заметно при переполнении, когда скорость изменения ошибки увеличивается в неправильном направлении, снижая агрессивность контура.

Пример

Цель = 50, немасштабированное

Пропорциональный коэффициент усиления, $K_p = 5$

Интегральный коэффициент усиления, $K_i = 0,1$

дифференциальный коэффициент усиления, $K_d = 0$

Если время, $t = 0$

Текущее непересчитанное = 30

$$MV(t) = 5(50-30) + 0,1(50-30) + 0(50-30)$$

$$MV(t) = 100 + 2 + 0$$

$$MV(t) = 102$$

> $MV(t)$ поэтому ограничение управляющего выхода (C.O) = 100

При $t=1$

Текущее непересчитанное = 40

$$MV(t) = 5(50-40) + 0,1(50-40) + 0,1(50-30) + 0(50-40)$$

$$MV(t) = 50 + 1 + 2 + 0$$

$$MV(t) = 53$$

$$C.O = 53$$

При $t=2$

Текущее непересчитанное = 45 (повышение уменьшается, поскольку теперь C.O < 100)

$$MV(t) = 5(50-45) + 0,1(50-45) + 0,1(50-40) + 0,1(50-30) + 0(50-48)$$

$$MV(t) = 25 + 0,5 + 1 + 2 + 0$$

$$MV(t) = 28,5$$

$$C.O = 28,5$$

При $t=3$

Текущее непересчитанное = 50

$$MV(t) = 5(50-50) + 0,1(50-50) + 0,1(50-45) + 1(50-40) + 0,1(50-30) + 0(50-50)$$

$$MV(t) = 0 + 0 + 0,5 + 1 + 2 + 0$$

$$C.O = 3,5$$

В этот момент целевое значение достигается, и клапан можно отключить. Если интегральный коэффициент усиления не использовался, клапан был бы закрыт дольше, поскольку текущее значение приблизилось к цели, значительно замедляя увеличение. Это приводит к увеличению времени добавления воды, но с меньшей вероятностью вызывает переполнение. В тех процессах, где в результате попутных химических реакций возникают потери воды, интегральный коэффициент усиления повышает агрессивность контура с течением времени. Это позволяет устранить смещение, вызванное потерями.

Поскольку большинство смесительных систем не допускают переполнения, необходимо ввести зону нечувствительности. Обычно это смещение от истинной цели для предотвращения переполнения. Например, если цель составляла 5 % влажности, можно было бы установить смещение на 0,2 %, чтобы остановить контроллер на 4,8 %. Это компенсирует время между добавлением воды и временем, которое требуется для смешивания воды и измерения датчиком.

При использовании систем, которые имеют только цифровые клапаны, а не пропорциональные клапаны, необходимо как можно лучше имитировать пропорциональный клапан. Простой способ сделать это показан в приведенном ниже примере

Пример

1. *Определите период цикла, например время, необходимое для переключения клапана из выключенного во включенное положение, а затем обратно в выключенное положение*
2. *Определите контрольный период, например 5 циклов.*
3. *После каждого контрольного периода вычисляйте $MV(t)$.*
4. $80 < MV(t) \leq 100$ = Клапан включен в течение 5 циклов
 $60 < MV(t) < 80$ = Клапан включен в течение 4 циклов и выключен в течение 1 цикла
 $40 < MV(t) < 60$ = Клапан включен в течение 3 циклов и выключен в течение 2 циклов
 $20 < MV(t) < 40$ = Клапан включен в течение 2 циклов и выключен в течение 3 циклов
 $0 < MV(t) < 20$ = Клапан включен в течение 1 цикла и выключен в течение 4 циклов

Как и для всех ПИД-регуляторов, требуется проведение опытных работ, чтобы получить значения, позволяющие достичь оптимальной производительности системы смешивания.